

REPORTE MEXICANO DE CAMBIO CLIMÁTICO
Grupo III Emisiones y Mitigación de Gases Efecto Invernadero

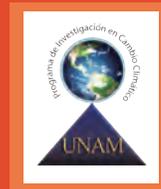
REPORTE MEXICANO DE CAMBIO CLIMÁTICO



Emisiones y Mitigación de Gases Efecto Invernadero

Grupo III

Libros: 1. 2. 3.





REPORTE MEXICANO
de Cambio Climático

GRUPO III

**EMISIONES Y MITIGACIÓN
DE GASES DE
EFECTO INVERNADERO**



Reporte Mexicano de Cambio Climático
GRUPO III EMISIONES Y MITIGACIÓN DE GASES DE EFECTO INVERNADERO

ISBN Obra Completa: 978-607-02-7369-8

ISBN Volumen: 978-607-02-7523-4

Universidad Nacional Autónoma de México/
Programa de Investigación en Cambio Climático

Impreso en México, D.F. el 15 de diciembre de 2015

Tiraje: 1000 libros

Coordinación General:

Carlos Gay y García/José Clemente Rueda Abad

Coordinación del volumen:

Xochitl Cruz Núñez

Edición:

Carlos Gay y García/Angelina Cos Gutiérrez/ Claudia Tatiana Peña Ledón

Diseño editorial y portada:

Alebrije Diseño: María Elena Vázquez Ávalos/Lydia Ruiz Alanis

Fotos de CFE, ciudad de noche y aviones José Clemente Rueda Abad

Fotos de paneles en Santa Fé Bernardo Moncada Rodríguez

Fotos de chimeneas: José Julio Carmona Collins

Fotos de la Ciudad de México de contraportada Guillermo Monroy Ochoa

Fotos 1 de contraportada: autos: Liga de internet: <http://www.evwind.com/2013/01/23/nissan-baja-el-precio-del-coche-electrico-leaf-en-europa/>

<http://fotos.starmedia.com/2012/03/ventajas-de-los-autos-electricos-160988.html>

<http://elperiodicodelaenergia.com/las-ventas-de-coches-electricos-suben-un-32-en-lo-que-va-de-ano/>

<http://autolibre.redtienda.net/index.php>

<http://www.evwind.com/wp-content/uploads/2015/02/evendesa.jpg>

Impresión:

Impresos Vacha, S.A. de C.V.

13 **INTRODUCCIÓN**

Carlos Gay y García^{1,2}, José Clemente Rueda Abad¹.

23 **DESARROLLO SUSTENTABLE Y EQUIDAD
EN EL CONTEXTO DE LA MITIGACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO**

Autores líderes:

Santiago López Ridaura^{4,45} y Cristian Alejandro Reyna Ramírez⁵.

Autor colaborador:

Luis Ricardo Fernández Carril¹.

43 **DIRECTRICES, TENDENCIAS Y MITIGACIÓN**

Autoras líderes:

Xochitl Cruz Núñez², Rosa María Bernabé Cabanillas⁷
y Mariana Hill Cruz⁸.

Autor colaborador:

José Luis Bravo Cabrera².

67 **SISTEMAS DE ENERGÍA**

Autores:

Carlos Amador Bedolla⁹, Ramón Muñoz Ledo Carranza⁴⁴.

81 **TRANSPORTE**

Autores líderes:

Xochitl Cruz Núñez² y Johanna Koolemans Beynen¹¹.

Autores colaboradores:

Angélica Velázquez Montero²⁷ y Arón Jazcilevich Diamant².

111 **EDIFICIOS**

Autor líder:

Juan Raymundo Mayorga Cervantes¹².

Autores colaboradores:

Liliana Eneida Sánchez Platas¹³ y Alejandra Traffon Díaz³.

Industria

Autores:

Ana María Gómez Solares¹⁴, Aída Viridiana Vargas Zavala¹⁴,
Emmanuel Gómez Morales¹⁴ y Eréndira Corral Zavala¹⁵.

Residuos

Autores líderes:

María Laura Ortiz Hernández^{16,17} Enrique Sánchez Salinas¹⁶,
Alexis Joavany Rodríguez Solís¹⁶ y María Luisa Castrejón Godínez¹⁷.

Autor colaborador:

José Luis Arvizu Fernández¹⁸.

Agricultura

Autor líder:

José Antonio Benjamín Ordóñez Díaz¹⁹.

Autores colaboradores:

Tomás Hernández Tejeda²⁰, María de Lourdes de la Isla de Bauer²¹,
Santiago López Ridaura⁴, Omar Rojas García¹¹
y Sandro Cervantes Núñez¹.

Silvicultura y otros usos del suelo

Autor líder:

José Antonio Benjamín Ordóñez Díaz¹⁹.

Autores colaboradores:

Jorge Escandón Calderón¹, Sandro Cervantes Núñez¹,
Tomás Hernández Tejeda²⁰, Ricardo Rivera Vázquez²⁰
y Fausto Quintana Solórzano²⁸.

Asentamientos Humanos y Mitigación Climática

Autor líder:

Gian Carlo Delgado Ramos⁶.

Autoras colaboradoras:

Ana de Luca Zuria²³, Verónica Vázquez Zentella²⁴
y Lilia De Diego Correa²⁵.

**PÁG 219 COOPERACIÓN INTERNACIONAL:
ACUERDOS E INSTRUMENTOS****Autores:**

Johanna Koolemans Beynen³⁰, Israel Felipe Solorio Sandoval³¹,
Irais Vázquez Cisneros¹⁵,
Zuelclady María Fernanda Araujo Gutiérrez³²,
Lucila María Balam de la Vega³³, Omar Rojas García¹¹
y Antonina Ivanova Boncheva³⁴.

PÁG 239 DESARROLLO REGIONAL Y MITIGACIÓN**Autores líderes:**

Antonina Ivanova Boncheva³⁴, Alfredo Sergio Bermudez Contreras³⁰,
Alejandro Chanona Burguete³⁵, Ana Bertha Cuevas Tello³⁶,
Silvia Guadalupe Figueroa González³⁷, Gabriela Muñoz Meléndez³⁸
y Rodrigo Serrano Castro³⁹.

Autores colaboradores:

Adolfo de la Peña Barrón³⁹, María Eugenia Chiapa Díaz⁴⁰,
Johanna Koolemans Beynen³⁰ y Antonio Martínez de la Torre³⁴.

PÁG 261 POLÍTICAS E INSTITUCIONES NACIONALES Y SUBNACIONALES**Autor líder:**

Fausto Quintana Solórzano²⁸.

Autores colaboradores:

Juan Antonio Le Clerq Ortega⁴¹ y Johanna Koolemans Beynen¹¹.

**PÁG 279 OPCIONES DE FINANCIAMIENTO
PARA LA MITIGACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN MÉXICO****Autor líder:**

José Clemente Rueda Abad¹.

Autores Colaboradores:

Armando Sánchez Vargas¹⁰, Ana Liz Herrera Merino¹⁰,
Zuelclady María Fernanda Araujo Gutiérrez³²,
Luis Ricardo Fernández Carril¹, Simone Lucatello⁴²
y Luis Fernando Macías García⁴³.

INSTITUCIONES PARTICIPANTES

1. UNAM PINCC Programa de Investigación en Cambio Climático, Universidad Nacional Autónoma de México.
2. UNAM CCA Centro de Ciencias de la Atmósfera.
3. UCCS Unión de Científicos Comprometidos con la Sociedad.
4. INRA Institut National de la Recherche Agronomique de Francia.
5. UAM Universidad Autónoma Metropolitana.
6. UNAM CEIICH Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades.
7. INECC Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático.
8. UWA University of Western Australia.
9. UNAM Facultad de Química.
10. UNAM IIEc Instituto de Investigaciones Económicas.
11. ITESM Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey.
12. IPN ESIA Tecamachalco Sección de Estudios de Posgrado e Investigación.
13. UTM Universidad Tecnológica de la Mixteca.
14. UNAM CIE Centro de Investigación en Energía.
15. UNAM Facultad de Economía.
16. Centro de Investigación en Biotecnología.
17. Programa de Gestión Ambiental Universitario, Universidad Autónoma del Estado de Morelos.
18. Instituto de Investigaciones Eléctricas.
19. UNAM Facultad de Ciencias.
20. SAGARPA INIFAP Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.
21. COLPOS Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo.
22. UNAM Centro de Investigaciones en Ecosistemas.
23. UNAM Posgrado en Ciencias Políticas y Sociales.
24. UNAM Posgrado en Pedagogía.
25. GreenMomentum-México.
26. IRD Instituto Francés de Investigación para el Desarrollo.
27. Consultoría en Ingeniería de Proyectos, S de RL.
28. UNAM CRIM Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias.
29. UACH Universidad Autónoma de Chapingo.
30. Consultor.
31. UACES Asociación Académica para Estudios Europeos Contemporáneos.
32. FAO Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
33. Consultora del proyecto Fortalecimiento REDD+ y Cooperación Sur-Sur.
34. Centro de Estudios APEC de la Universidad Autónoma de Baja California Sur.
35. UNAM FCPyS Centro de Relaciones Internacionales de la Facultad de Ciencias Políticas y Sociales.
36. UDG CUCSH Departamento de Estudios del Pacífico.



37. ITESM Campus Guadalajara Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey.
38. Departamento de Estudios Urbanos y del Medio Ambiente del Colegio de la Frontera Norte.
39. UABCS Universidad Autónoma de Baja California Sur.
40. PROFEPA Subdelegación Jurídica en Baja California Sur Procuraduría Federal de Protección al Ambiente.
41. UDLAP Universidad de las Américas Puebla.
42. Instituto Mora Programa de Investigación en Cooperación Internacional Desarrollo y Políticas Públicas.
43. Universidad de Guanajuato Campus León División de Ciencias Sociales y Humanidades.
44. Instituto de Investigaciones Eléctricas.
45. CIMMYT – CCAFS Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo – Climate Change and Food Security

Prologo

Los trabajos sobre el Reporte Mexicano de Cambio Climático iniciaron, de manera formal, en octubre de 2013 cuando se hizo pública la intención de llevarlo a cabo. Como elemento de inspiración se consideró la existencia del Quinto Reporte de Evaluación del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) de la Organización de las Naciones Unidas (ONU), de éste se analizaron sus contenidos temáticos para gestar el diseño general del Reporte Mexicano. Otro elemento retomado del IPCC fue la inclusión de académicos de múltiples instituciones y disciplinas. En el plano operativo este proyecto realizó sesiones de trabajo en diversos puntos de la geografía nacional para dar a conocer su existencia y sus grados de avance.

Como sucede con los reportes del IPCC, el Grupo de Trabajo III del Reporte Mexicano de Cambio Climático está dedicado a documentar los escenarios de emisión y las estrategias de mitigación de gases de efecto invernadero en México y que son la contribución nacional a las emisiones globales y que nunca han representado más del 1.5 % del total mundial.

Estamos conscientes que en el ámbito académico nacional, no se había emprendido un esfuerzo que tuviese como objetivo el poder documentar la mayor cantidad de información disponible, sobre lo que se ha escrito por mexicanos o extranjeros dentro y fuera de territorio nacional, que verse sobre México en un contexto de cambio climático. En ese sentido, al sentar las bases donde se desprenderán las actualizaciones subsecuentes, esta obra pionera deja lecciones para el futuro inmediato y de largo plazo.

De las primeras lecciones que vale destacar se encuentran, entre otras, las siguientes:

En la realización de este esfuerzo académico, sólo en este volumen, participan más de medio centenar de académicos adscritos a casi 50 dependencias académicas locales y nacionales, lo cual habla de la capacidad de convocatoria que generó el proyecto y en el que, indudablemente, la labor de los autores coordinadores de cada uno de los capítulos fue fundamental.

Al cotejar el contenido temático de este Grupo de Trabajo III del Reporte Mexicano de Cambio Climático con su homólogo del IPCC, resalta la diferencia en cuanto a la cantidad de temas. De ello se desprende el hecho de que en México no se está produciendo literatura, tanto indexada como gris, sobre todos y cada uno de los temas que son objeto de mucha atención del IPCC. En ese sentido, la ausencia de temas, significa de manera directa una agenda de investigación que los académicos mexicanos pueden comenzar a explorar.

Otro hecho a destacar, es que no todos los sectores académicos en México se han involucrado en la temática y ello genera que la redacción de informes basados en la metodología del IPCC– revisión de literatura indexada y gris, uso de lenguaje calibrado y análisis de metadatos – sea, incluso, una aventura académica. Como consecuencia de lo antes dicho, y buscando privilegiar la integridad de la obra, en este volumen se encuentran sólo los capítulos que más se acercan a los criterios antes mencionados.

Por lo que corresponde a los mecanismos de revisión de los capítulos; estos fueron sometidos a una evaluación externa realizada por académicos de la Universidad de Colima y, en paralelo, una lectura entre autores del mismo grupo (esto del 2 al 6 de Marzo del 2015). En el mes de abril, se realizó una segunda revisión interna a capítulos críticos en las instalaciones del Instituto Mora. Posterior a ello, todos y cada uno de los capítulos fueron enviados a arbitraje externo.

Al final de esta experiencia, sólo nos resta agradecer el apoyo que diversas personas e instituciones nos brindaron. En primera instancia, la Coordinación de la Investigación Científica de la UNAM que nos respaldó en todo momento para la cristalización de este proyecto. Al Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) que facilitaron los recursos para la realización de algunas reuniones foráneas para la elaboración de este reporte. A las autoridades, académicos, personal de apoyo y trabajadores del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM, a la Dirección de Ciencias Sociales y Humanidades del Campus León de la Universidad de Guanajuato, el personal de la Coordinación de la Investigación Científica que facilitó las instalaciones del Auditorio Nabor Carrillo para realizar sesiones de trabajo, la Universidad Veracruzana y la Universidad de Colima, porque sin su colaboración no se habrían podido desarrollar las reuniones de este grupo de trabajo.



Un reconocimiento especial en este volumen III de Emisiones y Mitigación de Gases de Efecto Invernadero, es para Xóchitl Cruz Núñez quien apoyó en la coordinación operativa del Grupo de Trabajo. Además, se debe reconocer el trabajo desempeñado por el personal administrativo del Programa de Investigación en Cambio Climático, a sus becarios: Bernardo Bastián, Dafne Carmona, Liliana López y Roberto Lorenzo porque todos, en diversos momentos y circunstancias, fueron involucrados en la realización del Reporte Mexicano de Cambio Climático. En lo particular, a Angelina Cos Gutiérrez y Claudia Tatiana Peña Ledón que han intervenido en la edición y formación del volumen.

Finalmente, destacar que esta obra ha sido financiada con una aportación específica del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.

Aunque este volumen cuenta con una coordinación general y una coordinación operativa, la responsabilidad final del contenido de cada uno de los capítulos es exclusiva de los autores involucrados en su elaboración.

Universidad Nacional Autónoma de México
Ciudad Universitaria, diciembre de 2015

Carlos Gay y García

José Clemente Rueda Abad



Introducción

José Clemente Rueda Abad¹, Carlos Gay y García^{1,2} y Liliana López Morales¹.

¹UNAM PINCC Programa de Investigación en Cambio Climático,

²UNAM CCA Centro de Ciencias de la Atmósfera.

El calentamiento en el sistema climático es inequívoco y, desde la década de 1950, muchos de los cambios observados no han tenido precedentes en los últimos decenios a milenios. La atmósfera y el océano se han calentado, los volúmenes de nieve y hielo han disminuido, el nivel del mar se ha elevado y las concentraciones de gases de efecto invernadero (GEI) han aumentado (IPCC, 2013, p.4). Este panorama tiene como causantes a las sustancias y los procesos naturales y antropogénicos que alteran el balance energético de la Tierra (IPCC, 2013, p.13).

Es necesario apuntar que gran parte del cambio climático antropogénico, resultante de las emisiones de CO₂, es irreversible en una escala temporal de entre varios siglos y milenios, (IPCC, 2013, p. 28). Por ello, para establecer un objetivo de calentamiento menor, o una probabilidad mayor de permanecer por debajo de un objetivo de calentamiento específico, será necesario que las emisiones de CO₂ acumuladas sean menores, (IPCC, 2013, p. 28).

Para lograr esa reducción de las emisiones es importante hablar de mitigación. De acuerdo con el Panel Intergubernamental de Cambio Climático de la ONU (IPCC, por sus siglas en inglés), la mitigación del cambio climático puede entenderse como la intervención humana encaminada a reducir las fuentes o potenciar los sumideros de gases de efecto invernadero, (IPCC, 2014, p. 135).

En el Resumen para responsables de políticas del Grupo de Trabajo III del Quinto Reporte de Evaluación del IPCC se refieren, entre otras cosas, las tendencias en los stocks y los flujos de GEI y sus causas; así como, las trayectorias y medidas de mitigación en el contexto del desarrollo sostenible.

Los puntos clave sobre las tendencias en los stocks y los flujos de los gases de efecto invernadero y sus causas son que las emisiones antropogénicas anuales de estos gases han aumentado en 10 Gt CO₂-eq entre 2000 y 2010, incremento que corresponde de forma directa a los sectores del suministro de energía (47 %), la industria (30 %), el transporte (11 %) y los edificios (3 %). La contabilización de las emisiones indirectas hace que crezcan las contribuciones de los sectores de los edificios y la industria, (IPCC, 2014a, p. 8). Alrededor de la mitad de las emisiones antropogénicas acumuladas de CO₂ entre 1750 y 2010 se han producido en los últimos 40 años, (IPCC, 2014a, p. 8), también que las emisiones de CO₂ procedentes de la quema de combustibles fósiles y los procesos industriales contribuyeron en alrededor del 78 % del aumento de las emisiones de GEI totales de 1970 a 2010, y la contribución porcentual para el periodo 2000 - 2010 fue similar, (IPCC, 2014a, p. 7). A nivel mundial, el crecimiento económico y demográfico continúan siendo los motores más importantes de los aumentos en las emisiones de CO₂ derivadas de la quema de combustibles fósiles, (IPCC, 2014a, p. 8). En los escenarios de referencia en que no se realiza una mitigación adicional se experimentan incrementos en la temperatura media global en superficie en 2100 de 3.7 °C a 4.8 °C en comparación con los niveles preindustriales, (IPCC, 2014a, p. 8).

Por lo que respecta a las trayectorias y medidas de mitigación en el contexto del desarrollo sostenible, específicamente a largo plazo, éstas pueden ser agrupadas en dos grandes bloques. Por un lado, se tienen los escenarios de mitigación y su impacto en la temperatura de donde se tiene que es probable que el cambio de temperatura, debido a las emisiones antropogénicas de GEI, pueda mantenerse por debajo de 2 °C con relación a los niveles preindustriales, que se caracterizan por concentraciones atmosféricas en 2100 de alrededor de 450 ppm de CO₂-eq (IPCC, 2014a, p.10), se consideran recortes sustanciales en las emisiones antropogénicas de GEI mediante cambios a gran escala en los sistemas energéticos y posiblemente en el uso del suelo (IPCC, 2014a, p.12); los escenarios de mitigación en los que se alcanzan alrededor de 450 ppm de CO₂-eq en 2100 normalmente conllevan umbrales temporales de las concentraciones atmosféricas, al igual que ocurre con muchos escenarios en los que se alcanzan aproximadamente entre 500 ppm y 550 ppm de CO₂-eq en 2100, (IPCC, 2014a, p. 2).

El segundo bloque refiere de manera directa a los costos económicos de las acciones de mitigación, donde lo único que se tiene claro es que mientras más se tardan los países en implementarlas, más altos serán los costos asociados a ellas. El Quinto Reporte de Evaluación (AR5, por sus siglas en inglés) del IPCC lo dice en los siguientes términos:

Las estimaciones de los costos económicos acumulados de la mitigación varían ampliamente y son muy sensibles al diseño y los supuestos de los modelos así como a la especificación de los escenarios, incluida la caracterización de



las tecnologías y el calendario de la mitigación, (IPCC, 2014a, p. 16).

Los escenarios de mitigación en los que se llega a alrededor de 450 o 500 ppm de CO₂-eq en 2100 presentan costos reducidos para lograr objetivos de calidad del aire y seguridad energética, con importantes cobeneficios relativos a salud humana, impactos ecosistémicos y suficiencia de recursos y resiliencia del sistema energético; estos escenarios no contabilizaron otros cobeneficios ni efectos colaterales adversos, (IPCC, 2014a, p. 17).

El Grupo de trabajo III del IPCC advierte dos cosas que son fundamentales: en primer lugar, que el retraso en realizar esfuerzos de mitigación adicionales a los ya desplegados actualmente hasta 2030, hará que se dificulte considerablemente la transición a niveles bajos de emisiones a más largo plazo y que se estreche el abanico de posibilidades compatibles con el mantenimiento del cambio de temperatura por debajo de 2 °C en relación con los niveles preindustriales, (IPCC, 2014a, p. 16). La segunda advertencia es que los niveles estimados de emisiones globales de GEI en 2020 basados en los Compromisos de Cancún no son coherentes con trayectorias de mitigación costo-efectivas a largo plazo para las que sea al menos tan probable como improbable que el cambio de temperatura se limite a 2 °C en relación con los niveles preindustriales (concentraciones en 2100 entre aproximadamente 450 y 500 ppm de CO₂-eq), pero no excluyen [...] la posibilidad de cumplir ese objetivo, (IPCC, 2014a, p. 12; IPCC, 2014a, p. 16).

En el caso mexicano, las tendencias de la emisiones y su potencial de mitigación se encuentran escritas en documentos de carácter oficial que son la base de la política nacional en la materia y que son dados a conocer a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático de la ONU (CMNUCC), a través de las Comunicaciones Nacionales.

Históricamente, México se encuentra ubicado dentro de los primeros 20 países generadores de GEI del mundo, sin embargo, su contribución nunca ha sido superior al 1.5 % del total mundial de las emisiones globales (CICC, 2007, p. 25), en ese sentido, vale señalar que los datos con los cuales se han desarrollado los criterios nacionales de mitigación se basan en Inventarios nacionales de GEI, que desde octubre de 2012 con la promulgación de la Ley General de Cambio Climático se encuentran regulados por ésta.

La política nacional de mitigación de GEI ha estado documentada en el instrumento antes referido. En ese sentido, es pertinente señalar, que la administración de 2006-2012 usó datos de emisiones por sectores de emisión y gases regulados por el Protocolo de Kioto. Con datos de 2002, la Estrategia Nacional de Cambio Climático señala que los sectores más emisores, en orden descendente, eran: generación de energía 24 %; transporte 18 %; cambio de uso de suelo y silvicultura 14 %; desechos 10 %; manufactura e industria de la construcción 8 %; procesos industriales 8 %; agricultura 7 %; emisiones fugitivas 6 %; otros consumos 5 %; En lo que respecta a los GEI, el bióxido de carbono representaba el 74 % de las emisiones; en segundo lugar estaba la producción de metano con el 23 %, en tercer lugar el óxido nítrico con el 2 %, en tanto que en conjunto los Hidrofluorocarbonos, los Perfluorocarbonos y el Hexafluoruro de Azufre sumaban el 1 % restante, (CICC, 2007, p. 35).

Con datos del año 2010, en la Quinta Comunicación Nacional de México presentada en 2012 ante la CMNUCC se reportan las emisiones de los GEI en México por fuentes correspondientes a: transporte 22.2 %; generación de energía 21.8 %; agricultura 12.3 %; emisiones fugitivas 11.1 %; procesos industriales 8.2 %; manufactura e industria de la construcción 7.6 %; uso de suelo, cambio de uso de suelo y silvicultura 6.3 %; desechos 5.9 % y otros consumos 4.6 %. Por lo que respecta a los GEI, el bióxido de carbono representaba el 65.9 % de las emisiones; en segundo lugar estaba la producción de metano con el 22.3 %, en tercer lugar el óxido nítrico con el 9.2 %, en tanto que en conjunto los Hidrofluorocarbonos, los Perfluorocarbonos y el Hexafluoruro de Azufre suman el 9.2 % restante, (SEMARNAT e INECC, 2012, p. 31).

Por su parte la Estrategia Nacional de Cambio Climático. Visión 10-20-40 señala que en 2010, en México se emitieron a la atmósfera gases de efecto invernadero equivalentes a 748 millones de toneladas de CO₂ (Mt CO₂e), esto representa un aumento del 33 % con respecto a las emisiones de 1990. En el periodo de 2001 a 2010, las emisiones de GEI presentan una tasa media de crecimiento anual (TMCA) de 2.6 % mientras que el PIB presentó una TMCA de 1.9 %. Las emisiones que mayor crecimiento han tenido son las que provienen de emisiones fugitivas, residuos y transporte, con una tasa media de crecimiento anual entre 1990 y 2010 de 5.3 %, 5.1 % y 4.1 %. Esto se debe principalmente al aumento del PIB per cápita, a la urbanización que se ha presentado en México en este periodo y al rápido crecimiento de la flota vehicular, (con una TMCA 6.3 % entre 2004 y 2009).

El sector energía es la mayor fuente de emisiones de GEI en México, con un crecimiento en emisiones de 58 % y una TMCA de 2.3 %, entre 1990 y 2010.

En el año 2012, el gobierno mexicano se comprometió voluntariamente a reducir 30 % de sus emisiones de gases de efecto invernadero al 2020. Eso significa que deberán mitigarse 261 Mt CO₂-eq y para lograrlo se necesitarán 138 mil millones de dólares. El dinero para lograr dicha meta puede venir de tres fuentes: 1) consumidores finales a través de normas de eficiencia energética y vehicular, correspondientes al 25 % del gasto con 31 mil millones de dólares; 2) el gobierno con un gasto de 43 mil millones de dólares, equivalente al 31 % del gasto requerido; por último, 3) el capital privado será el principal origen del financiamiento, correspondiente al 43 % del gasto, con 60 mil millones de dólares que desarrollará de forma independiente, o que puede incluir esquemas de Asociaciones Público-Privadas para el desarrollo de mercados verdes (SEMARNAT e INECC, 2012a, p. 92).

El dato más reciente que se tiene sobre la reducción de emisiones, fue entregado a la CMNUCC en el primer cuatrimestre de 2015, en éste, el gobierno mexicano dio a conocer su contribución prevista y determinada a nivel nacional (INDC, por sus siglas en inglés), y se comprometió a reducir de manera no condicionada el 25 % de sus emisiones de GEI y de Contaminantes Climáticos de Vida Corta (bajo business-as-usual) al año 2030. Este compromiso significa una reducción del 22 % de GEI y una reducción del 51 % de carbono negro, además implica un pico de emisiones al 2026, desacoplando las emisiones de GEI del crecimiento económico: la intensidad de emisiones por unidad de PIB reduce alrededor de 40 % en el periodo 2013-2030 (SEMARNAT, 2015, p. 2). El documento señala que la reducción de emisiones pueden ampliarse si se consiguen recursos financieros adicionales para su implementación.

Aunque se enuncia lo más reciente en la materia, y se considera que a nivel global “los esfuerzos realizados en la mitigación de gases de efecto invernadero (incluido el secuestro de carbono por la conservación de bosques) han sido insuficientes; (World Economic Forum, 2014, p. 28)”, aun así, como área de análisis, en México se han realizado esfuerzos por saber que se hace en el ámbito de la mitigación. En ese sentido, las cinco Comunicaciones Nacionales que ha entregado el gobierno mexicano a la CMNUCC han contado siempre con inventarios de emisiones y acciones de mitigación. Estos instrumentos se han creado con la finalidad de responder a los compromisos internacionales en la materia desde 1997, año en que se entregó la Primera comunicación Nacional.

Es necesario advertir que en los momentos previos a la entrega de la Primera Comunicación Nacional no existían planes ni programas de gobierno que tuvieran como objeto central la reducción de emisiones, y su análisis se gestó en el marco del Taller de Estudio País México ante el Cambio Climático. (Gay, 2000). En consecuencia, lo que se documentó en la Primera Comunicación Nacional fueron las acciones y programas que sin haber sido creadas con el objetivo de reducir los GEI en México, tenían esas características. La importancia de esa primera comunicación nacional es que terminó convirtiéndose en un paradigma en la estructura y tipo de contenido ya que ese ha sido el modelo usado en las cinco comunicaciones nacionales de México ante la CMNUCC (SEMARNAP, 1997, pp. 49-80; SEMARNAT e INE, 2001, pp. 127-250; INE y SEMARNAT, 2006, pp. 121-168; SEMARNAT e INE, 2009, pp. 63-112 y 121 y pp. 177-232 y SEMARNAT e INECC, 2012, pp. 189-354).

Como parte de una ampliación de la agenda de investigación académica derivada de la adhesión de México a la CMNUCC, en 1992, se tiene que los primeros avances en la creación de herramientas y recursos humanos se dieron a partir de la celebración de los Talleres de Estudio País México ante el Cambio Climático (Gay et ál., 1995; Gay, 1996). Algunos de los autores participantes en Cuernavaca en el año de 1994 contribuyen a la realización de este Volumen. Mucho del trabajo académico y de investigación elaborado durante el periodo de 1994 al 2015 se encuentra recopilado en este libro. Aun así, el perfeccionamiento de los inventarios, la creación de escenarios de tendencia y de reducción de emisiones, acciones y costos de mitigación forman parte de una, sumamente activa, agenda de investigación. (Rueda, Gay y López, 2015).

En este volumen III, parte del Reporte Mexicano de Cambio Climático, se documenta la mayor cantidad de información disponible en el contexto de la mitigación de GEI en territorio nacional. La información disponible puede leerse en bloques. El primero de ellos puede ser de carácter introductorio en el sentido de que se presenta la discusión del desarrollo sustentable y la



equidad en el contexto de la mitigación en México. Un segundo bloque que revisa los sectores que más GEI emiten y, finalmente, un tercer bloque que da cuenta de los arreglos institucionales que hacen posible la mitigación en nuestro país.

En el capítulo 1 denominado *“Desarrollo sustentable y equidad en el contexto de la mitigación del cambio climático”*, partiendo de la noción de *“fronteras planetarias”* (se verifican efectos irreversibles o difíciles de estimar) y aportando elementos de las principales corrientes filosóficas que abordan la relación entre la sociedad y el medio ambiente, presenta los elementos teóricos del desarrollo sustentable (DS), la sustentabilidad y la equidad en el contexto de la mitigación al cambio climático desde la perspectiva de las instituciones internacionales, el gobierno mexicano, así como de su comunidad científica.

El capítulo 2 *“Directrices, tendencias y mitigación”* se centra en analizar la evolución de la generación de gases de efecto invernadero en México. En ese sentido se considera que un inventario de emisiones no es sólo un instrumento que ayuda a conocer la cantidad y tipo de gases vertidos a la atmósfera, sino que, permite generar criterios de política pública encaminados a la mitigación de los mencionados gases. En México el crecimiento anual desde 1990 hasta 2010 es de 2.3 % en promedio y aunque en el bienio 2008-2010 se tuvo una disminución del 0.15 %, la tendencia al incremento es constante y de seguir así, en el 2020 las emisiones nacionales de GEI alcanzarían mil millones de toneladas de dióxido de carbono equivalente. En el año 2012, las emisiones de México totalizaron 748,252.2 Gg CO₂-eq. Y significaron el 1.4 % de las emisiones mundiales.

En este volumen, del capítulo 3 al capítulo 10 se analizan algunos de los sectores y su contribución a la emisión de gases de efecto invernadero. En este segmento se encuentra la información sobre sistemas de energía, transporte, edificios, industria, residuos, agricultura, silvicultura y asentamiento humanos.

En el capítulo 3 *“Sistemas de energía”*, se muestra que un sistema de energía es aquel que muestra todas las acciones empleadas para proporcionar energía final a los sectores consumidores: extracción; conversión; almacenamiento; transmisión y distribución. En el caso mexicano los principales contribuyentes para la generación de GEI son la conversión, almacenamiento, transmisión y distribución a través de la energía eléctrica y la extracción de combustibles fósiles —petróleo, gas natural y carbón—. Se pondera el uso de energías renovables y la generación privada de energía con biocombustibles como estrategia de reducción de emisiones en el sector. La contribución de este sector a nivel mundial es del 35 % en tanto que en el caso nacional el 39 % de las emisiones totales proviene de la energía.

En el capítulo 4, denominado *“Transporte”* se señala que en el año 2010, la población urbana era de 77.8 % del total y esa tendencia se mantendrá hacia el 2020, eso aunado al incremento de la población genera el escenario de que hacia el 2030 la cantidad de vehículos aumentará en dos y media veces la flota del 2002, lo que muy probablemente se traducirá en un incremento en las emisiones del sector. Para 2008, por ejemplo, el consumo del sector transporte representaba el 47 % del total de la energía consumida en el país y dentro de éste, el autotransporte consumió el 91 %. En el año 2010 las emisiones de GEI provenientes del sector Transporte contribuyen con 39 % del total.

En el capítulo 5 *“Edificios”*, se refiere que el consumo de energía en México por los edificios representa casi el 19 % de la demanda total nacional de los que el 16 % es por el consumo de energía residencial y el 3 % se reportó para el consumo comercial en los edificios, sin embargo dada la clasificación por consumo que implementa la Comisión Federal de Electricidad (CFE), es imposible saber con certeza el consumo de energía en el sector de la construcción, por lo que es necesario hacer estudios más precisos sobre las características de los inmuebles y sus consumos. En lo que se refiere a los hogares urbanos por la cantidad de electrodomésticos, consumen más energía que sus contrapartes rurales, además se espera que hacia el 2030 existan 50 millones de unidades de viviendas. Una estrategia de mitigación de GEI en el sector es que se establezcan programas de eficiencia energética. Con programas de este tipo México puede reducir en 5,650 MW la capacidad de generación del sistema eléctrico nacional, que es evitar la quema de 40.35 millones de barriles de petróleo.

En el capítulo 6 denominado *“Industria”*, se analizan las emisiones de la industria que proceden de: productos minerales; industria química; producción de metales; producción y consumo de halocarbonos y hexafluoruro de azufre. Las principales

fuentes de emisión son los procesos de transformación de materias por métodos químicos o físicos. Además, se utilizan hidrofluorocarbonos en refrigeradores, extintores, y latas de aerosol. Análogamente, el hexafluoruro de azufre se emplea en productos utilizados por la industria o por los consumidores finales. Las emisiones globales de GEI provenientes de la industria, manejo de residuos, y aguas residuales se incrementaron de 10.42 Gt de CO₂-eq en 1990 a 12.98 Gt de CO₂-eq en 2005, y a 15.51 Gt de CO₂-eq en 2010. Por subcategorías las emisiones presentaron la siguiente distribución: productos minerales 57.1 % (35,233.7 Gg); consumo de halocarbonos y hexafluoruro de azufre 24.3 % (14,919.0 Gg); producción de metales 9.3 % (5,709.6 Gg); producción de halocarbonos y hexafluoruro de azufre 6.4 % (3,897.8 Gg), e industria química 2.5 % (1,548.9 Gg). Respecto a 1990 se obtuvo una Tasa de Crecimiento Media Anual de 3.6 %.

El capítulo 7 se denomina “Residuos” y en él se señala que el proceso de los residuos comprende la generación, almacenamiento, transporte y tratamiento, hasta su disposición final en algún sitio. En México, es necesario decir que al no existir técnicas que ayuden a la solución de esta problemática frecuentemente los residuos se vierten sobre depresiones naturales del terreno. Al momento, la opción más utilizada es la de los rellenos sanitarios. En la actualidad pocas entidades cuentan con este tipo de instalaciones operando en condiciones sanitarias adecuadas. En México de 1995 a 2012 el número de rellenos sanitarios se incrementó de 30 a 260 y la cantidad de residuos sólidos urbanos (RSU) que se depositaron en ellos aumentó de 5.95 millones de toneladas para el año 1995 a 27.98 millones de toneladas para el 2012. En lo que se refiere a las emisiones de GEI, en el 2010 estas representaban el 5.9 % de las emisiones nacionales.

En el capítulo 8, que se llama “Agricultura”, entre otras cosas, se reporta que las emisiones de GEI provenientes del sector equivalen al 12.3 % del total de las emisiones nacionales. Las acciones de mitigación identificadas en este sector versan en la conservación y uso sustentable de suelo, agua y vegetación, la reconversión productiva en agricultura, el uso eficiente de fertilizantes, la aplicación de la labranza de conservación o cero; existen otras medidas que pueden impulsarse, como el fomento a proyectos para la captura de carbono y reducción de las emisiones de óxido nitroso en la agricultura, la eliminación del uso del fuego, la gestión de los suelos agrícolas, manejo de fertilizantes, técnicas de cultivo, así como el control y la disminución de emisiones por fermentación entérica y manejo de estiércol. Este es un sector en el que no sólo se requiere hablar de emisiones y mitigación porque se requieren implementar programas de gobierno encaminados a aliviar la pobreza y detener la degradación ambiental de manera simultánea.

El Capítulo 9, denominado “Silvicultura y otros usos del suelo” describe a México como un país cultural y biológicamente megadiverso; en el país, el 73 % de las 190 millones de hectáreas de suelo, que abarca el territorio mexicano, cuentan con vegetación forestal. En el sector forestal, se reconocen dos opciones básicas de mitigación de carbono: a) conservación de biomasa forestal y b) reforestación. Mediante la Reducción de emisiones por Deforestación y Degradación de los bosques (REDD) es posible que México mejore su balance de emisiones de bióxido de carbono. Se reconoce que, sin haber una estrategia de mitigación de GEI, la tasa de deforestación nacional ha disminuido de forma muy importante durante los últimos años; ya que del año 2000 en adelante se observa una tendencia en la estabilización de la tasa de deforestación, reduciendo por consiguiente, las emisiones provenientes de la Agricultura, Silvicultura y Otros Usos de Suelo.

El Capítulo 10 denominado “Asentamientos Humanos y Mitigación Climática”, señala que en el mundo se están buscando opciones para reducir las emisiones de GEI en las urbes. La importancia de las ciudades en México radica en que la población urbana en el 2010 era del 72.3 % de la población total. En lo que respecta a la mitigación en las ciudades, el diagnóstico es que, debido a la ausencia de lineamientos mínimos obligatorios para la elaboración de planes de acción climática locales, estos no contemplan fechas y presupuesto definido, mientras que otros no hacen estimaciones de la mitigación que se espera lograr con las medidas propuestas. Todos usan datos de diferentes años para conformar sus inventarios, hay una falta de contabilidad de sectores completos, la omisión de indicadores medibles y verificables, hasta la débil sistematización e integración de las acciones propuestas, así como la nula o poca coordinación con los Programas Estatales de Cambio Climático.

Los capítulos del 11 al 14 en conjunto, el tercer componente de este volumen, en este se explora un área diferente dentro de la mitigación y tienen que ver con los arreglos institucionales y el diseño de estrategias de implementación en diferentes ámbi-



tos de acciones mundial, regional y nacional. Se tratan los temas relativos a la cooperación internacional, el desarrollo regional, el diseño de instituciones nacionales y subnacionales, así como los retos en el ámbito del financiamiento de la mitigación.

En el Capítulo 11 denominado *“Cooperación Internacional: Acuerdos e Instrumentos”*, se menciona que las políticas internacionales de mitigación han influido sobre las políticas nacionales de México, sobre todo a través de sus compromisos bajo la CMNCC e incluso el país ha ido más lejos que sus obligaciones en este marco, mismos que quedan plasmados en el Plan Nacional de Desarrollo, su Estrategia Nacional de Cambio Climático, su Programa Especial de Cambio Climático, y en su Contribución Prevista y Determinada a Nivel Nacional (INDS, por sus siglas en inglés). Por lo anterior, México se ha posicionado como un país líder en la materia, lo que lo compromete a seguir siendo un actor relevante, responsable y activo en las negociaciones multilaterales, además de continuar fortaleciendo sus relaciones bilaterales de cooperación.

El Capítulo 12 *“Desarrollo regional y mitigación”*, se enfoca a revisar los acuerdos y vínculos que colocados en el ámbito de la cooperación regional han significado áreas de oportunidad para México. Se enfatiza que el país se encuentra inmerso en estos compromisos regionales, mismos que lo han llevado a tomar medidas internas que a lo largo de estos años han presentado avances discretos pero constantes. Se pone especial atención al desarrollo de la cooperación lograda en las regiones de Norteamérica, América Latina, Asia-Pacífico y Europa. De todo lo contenido, señala dos recomendaciones: primero, promover la inclusión de cláusulas ambientales en los nuevos acuerdos regionales o bien introducirlas en los convenios existentes que permiten una revisión periódica, y, el fomento a estudios y publicaciones sobre la evaluación de los efectos de los acuerdos regionales en materia ambiental y en acción climática.

El Capítulo 13 dominado *“Políticas e instituciones nacionales y subnacionales”*, parte de la premisa de que la existencia de instituciones robustas y un sistema de gobernanza multinivel facilita a los países la construcción de andamiajes burocráticos y marcos jurídicos para enfrentar dilemas de acción colectiva como los generados por el cambio climático. En este sentido, la mitigación tiene como objetivo central la creación y fortalecimiento de los instrumentos nacionales de políticas en el tema. En el caso nacional, centra su atención en la revisión de los instrumentos políticos técnicos para medir el éxito de las acciones en materia de mitigación de GEI.

El capítulo 14, *“Opciones de financiamiento para la mitigación del cambio climático en México”* se refiere a que México enfrenta diferentes desafíos por alcanzar en materia de financiamiento, principalmente en cuestiones de la coordinación institucional. Señala en el Programa Especial de Cambio Climático 2014 - 2018, en su visión de largo plazo, que para que México pueda cumplir con sus metas de reducción de emisiones se requiere del acceso a recursos financieros internacionales que coadyuven a cristalizar la política de mitigación del Gobierno Federal. En este mismo sentido, la Ley General de Cambio Climático, que entró en vigor en octubre de 2012, hace también referencia a los tipos de esquemas de financiamiento nacionales e internacionales enfocados a la mitigación de GEI. Aun así México debe trabajar mucho en el tema de la transparencia del origen y destino de los recursos que se destinan a la mitigación debido a que existen vacíos en la información.

Referencias

- Comisión Intersecretarial de Cambio Climático** (2007) Estrategia Nacional de Cambio Climático 2007, México, CICC.
- Gay, C. et ál.,** Editores. (1995). Primer Taller de Estudio de País: México. México ante el cambio climático. Memorias, Cuernavaca, Mor. 18 al 22 de abril de 1994, México; Instituto Nacional de Ecología, US Country Studies Program. Support for Climate Change Studies, Coordinación de la Investigación Científica, Centro de Ciencias de la Atmósfera.
- Gay, C.** (1996). Segundo Taller de Estudio de País: México. México ante el cambio climático. Memorias, Cuernavaca, Mor. 8 al 11 de mayo de 1995, México; Instituto Nacional de Ecología, US Country Studies Program. Support for Climate Change Studies, UNAM.
- Gay, C.** (Comp.). (2000). *México: Una visión hacia el siglo XXI. El cambio climático en México*. México: INE /UNAM/Country Studies Program.
- Instituto Nacional de Ecología y Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales** (2006) Tercera Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático — México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- IPCC.** (2013) Cambio climático 2013 Bases físicas. Resumen para responsables de políticas Informe del Grupo de trabajo I del IPCC, IPCC, Ginebra, Suiza, Disponible en: http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_SummaryVolume_FINAL_SPANISH.pdf
- IPCC** (2014) Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo principal de redacción, R.K. Pachauri y L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 157 págs. Disponible en: http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/SYR_AR5_FINAL_full_es.pdf
- IPCC.** (2014a) Cambio Climático 2014 Mitigación del cambio climático Resumen para responsables de políticas, IPCC, Ginebra, Suiza, 33p. Disponible en: http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg3/WG3AR5_SPM_brochure_es.pdf
- Rueda, J.C., Gay, C. y López, L.** (2015) Apuntes para la agenda de investigación de cambio climático en México, México, Universidad Autónoma de Chiapas, ESPACIO I+D, *Innovación más Desarrollo* • Vol. IV, No. 9, Octubre 2015 • ISSN: 2007-6703, pp. 9-34
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales e Instituto Nacional de Ecología** (2001) México: Segunda Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático — México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales e Instituto Nacional de Ecología** (2009) México: Cuarta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático — México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) e Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC)** (2012) Quinta Comunicación Nacional de México ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, México, CICC.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático.** (2012a). Bases para una estrategia de desarrollo bajo en emisiones. México, SEMARNAT-INECC.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.** (2015). Contribución prevista y determinada a nivel nacional de México. Disponible en: http://www.semarnat.gob.mx/sites/default/files/documentos/mexico_indc_espanolv2.pdf
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y Pesca** (1998) Primera Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático — México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- World Economic Forum.** (2014). *Climate Adaptation: Seizing the Challenge*. Ginebra: World Economic Forum.



Capítulo 1

DESARROLLO SUSTENTABLE Y EQUIDAD EN EL CONTEXTO DE LA MITIGACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO

Autores líderes:

Santiago López Ridaura^{4,45}, Cristian Alejandro Reyna Ramírez⁵.

Autores colaboradores:

Luis Ricardo Fernández Carril¹

¹ UNAM PINCC Programa de Investigación en Cambio Climático, Universidad Nacional Autónoma de México.

⁴ INRA Institut National de la Recherche Agronomique de Francia.

⁵ UAM Universidad Autónoma Metropolitana.

⁴⁵ CIMMYT – CCAFS Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo – Climate Change and Food Security.

Palabras clave: Desarrollo sustentable, sustentabilidad, mitigación, equidad, cambio climático, indicadores, ética.

Resumen

Se presentan los elementos teóricos del desarrollo sustentable (DS), la sustentabilidad y la equidad en el contexto de la mitigación con respecto al cambio climático desde la perspectiva de las instituciones internacionales, el gobierno mexicano, así como de su comunidad científica, a partir de una revisión de literatura para nuestro país. En México existen esfuerzos gubernamentales tanto para el cambio climático en mitigación como para el DS. Las leyes del Programa Nacional de Desarrollo (PND) y el Programa Especial de Cambio Climático (PECC) están alineados a través de sus objetivos y metas y esto permite un marco legal de acciones. A pesar de ello, existen algunos vacíos sectoriales, hoy en día se cuenta con suficiente información en algunos sectores de importancia para México (p. ej. transporte y manejo forestal) sobre las emisiones de Gases Efecto Invernadero (GEI) y las posibilidades de su mitigación, y los vacíos se observan en el sector energético, el cual es de suma importancia.

El concepto de desarrollo sustentable y el de sustentabilidad, con sus especificaciones en el contexto del cambio climático y de mitigación, debe determinarse mediante procesos que busquen una articulación adecuada entre las diferentes escalas de análisis, desde lo local a lo nacional. Así mismo, los más recientes debates sobre la mitigación y el desarrollo de políticas climáticas sugieren que para diseñar políticas exitosas se requiere ir más allá de un estrecho enfoque sobre la mitigación de la captura de GEI, donde se contemplen los co-beneficios de la política sobre el clima e integrar el DS en los niveles locales y regionales. Esta apertura del análisis de mitigación implica incluir aspectos relacionados entre el desarrollo socio-económico, la equidad y la conservación de los recursos naturales.



Introducción

Cambio Climático y Mitigación

• Cambio climático y mitigación en el ámbito internacional

La sociedad actual enfrenta uno de los mayores retos en la historia de la humanidad, el desarrollo global que inicia en la Revolución Industrial (1700) ha llevado al planeta a un proceso de desarrollo económico y social sin precedentes, acompañado de un deterioro del medio ambiente que ha repercutido en su entorno afectando al clima, generando el proceso del cambio climático. (Vijaya, Iniyar y Goic, 2012). Este cambio climático ha provocado un incremento en la temperatura del planeta tierra en los últimos 50 años, las evidencias indican que son las actividades humanas, principalmente la quema de combustibles fósiles y la deforestación los que ocasionan estos cambios debido a la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) (Panel Intergubernamental de Cambio Climático [IPCC por sus siglas en inglés], 2007).

Los procesos de transformación y alteración de la naturaleza se han estudiado recientemente desde la noción de “fronteras planetarias”, a partir de la cual se verifican efectos irreversibles, o difíciles de estimar. Tales fronteras derivan de aplicar el principio precautorio, por lo que han de ser vistas como el espacio de operación de relativa seguridad para el ser humano, definido a partir de las fronteras de los procesos biofísicos que regulan la estabilidad del sistema Tierra (ciclos biogeoquímicos: principalmente, ciclos de nitrógeno, fósforo y biodiversidad genética) así como otras cuestiones cuyos impactos son mayores para soportar la vida tal y como la conocemos. Tales impactos como el cambio de uso de suelo, la pérdida de biodiversidad (que contribuye a la resiliencia de los ecosistemas), la contaminación química y otros contaminantes emergentes. En este contexto se identifican dos fronteras centrales que por sí mismas nos pueden alejar de las condiciones que caracterizan al Holoceno: el cambio climático y la integridad de la biósfera (Steffen et ál., 2015).

En el contexto global desde 1950, el país que más produce GEI es Estados Unidos. En el informe del grupo de trabajo III (WGIII), se realizó un análisis de las emisiones de GEI, contemplando todos los sectores y su emisión en el lapso de una década (1990-2010) donde se observa que EE. UU. ha producido el 17.9 %, seguido por China (14.9 %), Rusia (5.8 %), Indonesia (5.3 %), Japón (4 %), Brasil (3.6 %), siendo estos países los que contribuyen al 50 % de las emisiones globales en esa década, así México se ubica en el lugar 11 en el contexto global con 1.6 % (IPCC, 2014a). A partir de este contexto global, la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) incorporó una línea muy importante en uno de los tratados multilaterales sobre medio ambiente que más éxito han tenido en toda la historia: desde el Protocolo de Montreal (1987), hasta el Protocolo de Kyoto (1997) se han establecido y reconoció documentos marco para enmendarse y desarrollarse esfuerzos colectivos que enfrente al calentamiento atmosférico y el cambio climático, así como políticas para su mitigación. (IPCC, 2007).

La mitigación del cambio climático (CC) es una intervención humana, que permite capturar GEI mediante la regulación de las fuentes de emisión y de la conservación de los sumideros de carbono (IPCC, 2014c).

Como continuidad a los reportes realizados por el IPCC sobre el grupo de trabajo I (WGI), donde se ofrece evidencia científica sobre el cambio climático, y el grupo de trabajo II (WGII), donde se enfatizó en un análisis en el marco del territorio como lo urbano y lo rural, así como las características de los continentes. El grupo de trabajo III (WGIII) centró la atención en las implicaciones de sus resultados para la generación de políticas y examinó los resultados de la investigación científica en cuanto a la mitigación con una atención especial, para ver cómo el conocimiento ha evolucionado desde el Cuarto Informe de Evaluación (AR4) del 2007. Los autores en WGIII se guiaron por los siguientes principios al montar esta evaluación: 1) ser explícito acerca de las opciones de mitigación, 2) ser explícito acerca de sus costos, los riesgos y oportunidades bis-à-bis (en relación) prioridades de desarrollo, 3) y ser explícito acerca de los criterios subyacentes, conceptos y métodos para la evaluación de políticas alternativas (IPCC, 2014c).

• Cambio climático y mitigación en México

En este contexto global México estableció un Plan Nacional de Desarrollo (PND) del periodo 2013-2018 con una serie de líneas de acción donde se puntualizan los objetivos y estrategias para cada Meta Nacional. Las metas para este sexenio son: México en Paz, México Incluyente, México con Educación de Calidad, México Próspero, y México con Responsabilidad Global (PND, 2013). De estas metas nacionales; México en Paz y México Próspero salvaguardan una relación directa con la mitigación de GEI, el desarrollo sustentable y el cambio climático. La meta de México Próspero con el objetivo 4.4 establece: *Impulsar y orientar un crecimiento verde incluyente y facilitador que preserve nuestro patrimonio natural, al mismo tiempo que genere riqueza, competitividad y empleo*. La meta de México en Paz, con el objetivo 1.6 establece: *Salvaguardar a la población, a sus bienes y a su entorno ante un desastre de origen natural o humano*. Son estos dos objetivos la base y el marco para establecer el Programa Especial del Cambio Climático 2014 - 2018 (PECC) (PECC, 2014).

El PECC es el referente marco más importante en México donde se establecen el estado actual del país con respecto al cambio climático y las líneas de acción para enfrentarlo, como mitigación y adaptación, además establece qué secretarías ejecutarán las acciones. La interacción entre las secretarías (Sistema de Información de la Agenda de Transversalidad del Programa Especial de Cambio Climático) tiene el fin de cumplir los objetivos y los indicadores establecidos (PECC, 2014).

México desde 1980, con apoyo de la Universidad de Edimburgo, con su programa de manejo de carbono, y el Colegio de la Frontera sur, establecieron proyectos forestales piloto. El gobierno mexicano apoyó, junto con la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), la Secretaría de Energía (SENER), el Instituto de Ecología (INE), la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), asociaciones civiles y otros centros de investigación para la creación del Fondo Bioclimático. Los proyectos forestales establecidos en el Fondo Bioclimático tomaron como base, la sustentabilidad de los Mecanismos del Desarrollo Limpio (MDL), fomentados en Chiapas y otras regiones. Su mitigación se realizó entre 450, 000 (Brown y Corbera, 2003a) y 375,500 hectáreas, (Klooster y Masera, 2000), a partir de la reforestación y conservación: han mitigado 64.1 Millones de toneladas de carbono tomando en cuenta la preservación de recursos y especies naturales (Brown y Corbera, 2003a). Sin embargo, las comunidades no reciben compensación financiera alguna directamente por esta mitigación (Klooster y Masera, 2000).

1. Consideraciones éticas en contexto del cambio climático

La ética tiene como objetivo la reflexión sobre el quehacer humano en búsqueda de la justicia, la igualdad, la virtud y la utilidad de las acciones humanas. Durante el siglo XX se desarrolló la ética ambiental como una derivación de la disciplina filosófica enfocada a la reflexión de las acciones que tienen un impacto en los derechos, delimitaciones y responsabilidades de los seres humanos frente al medioambiente.

Históricamente se pueden ubicar dos corrientes filosóficas fundamentales que abordan la relación entre la sociedad y el medio ambiente: 1) La visión antropocéntrica, donde el ser humano aparece como el centro del universo y donde la naturaleza es sólo una fuente de recursos para el desarrollo del ser humano. Esta visión se sustenta en una ética utilitaria. 2) La visión eco-céntrica, denominada también bio-centrismo, donde toda la naturaleza y cada uno de sus elementos, tiene un valor intrínseco, incluido el ser humano como especie. Esta posición se sustenta en una ética igualitaria. El ser humano en su relación con la naturaleza, se diferencia de otros seres vivos por ser un productor del desarrollo socio-económico-cultural, esto a su vez lo transforma en un ser social que establece relaciones aún más complejas y crea nuevos conceptos de relación, como el del desarrollo sustentable, la sustentabilidad, equidad y la mitigación. (Castro, 1998b).

Estas reflexiones han impactado el derecho internacional a través de cartas, declaraciones y tratados vinculantes para la protección del medioambiente. De esta manera, en la Conferencia de Estocolmo de Medio Humano en 1972, se firmó una declaración que fincó los principios éticos comunes y criterios para la negociación de tratados de protección del medioambiente. Otras declaraciones internacionales que resultaron clave para la elaboración de criterios para la protección del medioambiente y el desarrollo sustentable son la Carta de la Naturaleza de 1982 y el informe Brundtland en 1987. Los principios y criterios de-



sarrollados a través de estas declaraciones tuvieron una gran influencia en la elaboración de la declaración de la Conferencia de Río en 1992, de donde surgen diversas convenciones con sus respectivos tratados para la protección del medio ambiente, y cabe resaltar el surgimiento de la CMNUCC (CMNUCC, 1992). En la convención se ven reflejados numerosos principios y criterios básicos que buscan garantizar; la equidad, la responsabilidad y los derechos de las naciones con respecto a la mitigación del cambio climático y frente al desarrollo sustentable.

Con respecto a la mitigación del cambio climático se consideran las siguientes premisas básicas con implicaciones éticas importantes: 1) De cara a la mitigación del cambio climático, tenemos el dilema ético de encontrarnos frente a la opción de actuar o de no actuar ante un riesgo, porque no actuar también es una decisión (Luhmann, 1993). 2) Mitigar el cambio climático es una decisión que se justifica como actuar para evitar un suceso no deseable, en términos de impactos, consecuencias naturales y sociales. El ser humano como causante directo del cambio climático adquiere una responsabilidad de acción distinta que si se tratara de un fenómeno fortuito, como el impacto de un meteorito. El ser humano cuenta con las capacidades científicas y tecnológicas para prevenir o aminorar ciertos daños. De esta última aseveración se desprende que también existe el reconocimiento de que la inactividad resulta más costosa que la inversión requerida para prevenir los impactos climáticos (IPCC, 2014c; Stern, 2007).

Frente al cambio climático tratamos por un lado, con un problema común, pero con consecuencias desiguales a nivel global; también existe una desigualdad en cuanto a la responsabilidad histórica de las naciones desarrolladas frente a aquellas en vías de desarrollo, debido a la acumulación de GEI en la atmósfera desde la revolución industrial es mayor en los países desarrollados.

En el derecho ambiental internacional, dichas consideraciones éticas se concretizan a través de diferentes principios rectores que se pueden identificar en la CMNUCC que buscan garantizar la prevención, la equidad y el derecho de las naciones al desarrollo. El principio de precaución que se define como aquellas acciones que un riesgo determinado se concrete, que en este caso se trata de los impactos que conllevan el cambio climático. En la CMNUCC, el principio se establece en el artículo 3, párrafo 3 donde se menciona que: “Las Partes deberían tomar medidas de precaución para prever, prevenir o reducir al mínimo las causas del cambio climático y mitigar sus efectos adversos” (CMNUCC, 1992).

De esta manera, y como lo señala Gardiner (2006), el cambio climático se puede observar como una “tormenta moral perfecta” ya que las condiciones particulares que dan origen al fenómeno, asociado a las actividades de producción, transporte y consumo de bienes y servicios en el presente, y sus efectos sobre futuras generaciones, retan a la capacidad del ser humano para enfrentarlo. Incluso si las implicaciones éticas del fenómeno puedan ser contestadas a nivel teórico, resulta sumamente complejo concretar acciones que puedan garantizar la justicia, el derecho al desarrollo, la equidad y las responsabilidades de todas las partes involucradas (Gardiner, 2006). Es por este motivo que el análisis de los distintos caminos hacia la mitigación y el desarrollo sustentable tienen consideraciones éticas relevantes para la toma de decisiones.

2. Desarrollo sustentable y la sustentabilidad

2.1. El desarrollo sustentable y la sustentabilidad

Ante los niveles de pobreza y rezago de algunos sectores de la sociedad y la degradación, agotamiento o contaminación de los recursos naturales en el contexto global, la Organización de las Naciones Unidas a través de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, incorporó la definición de DS (Cuadro 1) en los procedimientos de elaboración de políticas públicas en el año 1987, y lo plasmó en el informe titulado como “Nuestro Futuro Común”. La Comisión Brundtland describe al DS como: “el desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades” (ONU, 1987). Al mismo tiempo los investigadores desarrollan el concepto de la sustentabilidad (Cuadro 2) como un enfoque similar resaltando que el motor no es el desarrollo económico, sino la sinergia entre los componentes (sociales–económicos y ambientales), tomando en cuenta que las actividades humanas de hoy no agoten el patrimonio ambiental constituido por la capacidad de los sistemas naturales para renovarse si no son sobreexplotados (desarrollo ambiental) (Castro,

Cuadro 1. Desarrollo Sustentable

El concepto de desarrollo sustentable (DS) como el proceso mediante el cual se cubriría de manera permanente las necesidades materiales y espirituales de todos los habitantes del planeta, sin deterioro o incluso mejora de las condiciones socio-ambientales que les dan sustento. De esta manera el desarrollo sustentable puede considerarse como un proceso de cambio dirigido, donde son tan importantes las metas trazadas como el camino para lograrlas. Las nociones de permanencia (en cuanto al cuidado adecuado del entorno socio-ambiental) y de equidad (en cuanto a la justa distribución intra e intergeneracional de costos y beneficios) del proceso son partes indispensables de la definición de desarrollo sustentable. Asimismo, las metas no son estáticas, se redefinen continuamente como producto mismo del devenir social y de su interacción con el medio ambiente.

Entre los objetivos particulares que se deben perseguir se encuentran, desde el punto de vista sociocultural, promover la diversidad y el pluralismo culturales y reducir las desigualdades entre y al interior de los países, regiones o comunidades. Ambientales, se perseguiría la adecuada conservación y restauración de los recursos naturales y se trataría de promover sistemas tecnológicos que propiciarían el uso eficiente y sinérgico de los recursos, mientras que desde el punto de vista económico se buscaría generar estructuras productivas que proporcionan los bienes y servicios necesarios a la sociedad, garantizando el empleo pleno y un trabajo con sentido.

Las estrategias para lograr estos grandes objetivos (y en algunos casos la definición misma de los objetivos) llevan a argumentaciones de tipo social, político, económico y ambiental, pues está claro que el concepto de necesidades y los medios para satisfacerlas difieren radicalmente según el grupo en cuestión. Sin embargo, en términos generales, se pueden definir dos grandes grupos o líneas de trabajo: quienes enfatizan estrategias de tipo correctivo, es decir, estrategias mediante las cuales el proceso de desarrollo sustentable se lograría simplemente modificando las instituciones y el marco sociopolítico actuales sin alterar el status quo, mientras el segundo grupo hace hincapié en estrategias transformadoras, es decir, estrategias que se basan en un cambio profundo en las instituciones, patrones de uso de los recursos y políticas actuales. Dentro del segundo grupo, las estrategias de cambio incluyen generalmente una democratización efectiva, mayor participación y control local y la redistribución de la riqueza y recursos productivos. Se trataría también de reorientar el desarrollo científico y tecnológico hacia aplicaciones no bélicas, para que contribuyan más efectivamente a la resolución de los problemas y a la creación de un orden económico internacional más justo, entre otros puntos importantes.

Tres aspectos centrales que hay que tener en cuenta en la discusión sobre desarrollo sustentable son: a) Las necesidades humanas se satisfacen dinámicamente y se tendrán que redefinir continuamente en el mismo curso del desarrollo; b) No es posible maximizar todos los objetivos deseados simultáneamente, y c) Desarrollo sustentable es un concepto genérico, por lo que su especificidad y concentración debe determinarse a escala local y regional (Masera et ál., 1999).



Cuadro 2. Sustentabilidad

En cuanto al concepto de la sustentabilidad, las definiciones van desde las más específicas y precisas hasta las más nebulosas. Pezzey (1989) lista más de 27 diferentes definiciones de este concepto, mientras Hansen (1996) obtiene una veintena de definiciones exclusivamente en el contexto de la sustentabilidad agrícola.

Dixon y Fallon (1989) identifican, sin embargo, tres distintas nociones del concepto de sustentabilidad: a) como un concepto puramente biofísico para un recurso natural determinado, b) el biofísico usado para un grupo de recursos o un ecosistema, y c) como un concepto biofísico, social y económico.

La primera definición de sustentabilidad se creó con la finalidad definir límites físicos para la explotación de una clase de recursos renovables biológicos, como los bosques o los recursos pesqueros. En este contexto, el enfoque se limita a recursos renovables particularmente considerados de forma aislada. Sustentabilidad (o, más correctamente, cosecha sostenida) significa utilizar el recurso sin reducir su stock físico. Esto es análogo a usar los intereses generados en una cuenta de ahorro del banco, dejando el capital para que continúe generando mayores beneficios en el futuro.

El concepto de sustentabilidad se puede ampliar a un sistema mayor que abarque varios recursos naturales. En esta acepción más extensa, la sustentabilidad se mide en términos físicos, pero en lugar de enfocarse en un solo componente, toma en cuenta las diferentes entradas y salidas del ecosistema. Como resultado de las interacciones del sistema, lo que se hubiera considerado un manejo sustentable de un recurso determinado o de un subsistema podría encontrarse no sustentable dentro del contexto del sistema en su conjunto. Por ejemplo, una determinada producción sostenida de un bosque puede tener impactos negativos tales como erosión de suelos, asolvamiento, cambios en cuerpos de agua y reducción en la diversidad de hábitats silvestres y de especies, sin que esto sea evidente ni repercuta directamente en la sustentabilidad del manejo forestal propiamente dicho. Debido a la naturaleza y la complejidad de los componentes del ecosistema y de sus interacciones, surgen preguntas como cuáles serían los trade-offs asociados al desarrollo de alternativas. Por lo tanto, determinar claramente los límites del sistema en cuestión constituye una tarea indispensable para este segundo tipo de análisis.

La definición de sustentabilidad se complica más cuando se incluyen los aspectos sociales y económicos que influyen, imposibilitan o favorecen la sustentabilidad ambiental de un determinado sistema o cuando se habla llanamente de la sustentabilidad de un sistema socio ambiental. Entendida en este sentido amplio, la sustentabilidad puede definirse como el mantenimiento de una serie de objetivos (o propiedades) deseados a lo largo del tiempo. Es, por tanto, un concepto esencialmente dinámico y parte necesariamente de un sistema de valores. Por estos motivos, aunque ha habido intentos de llegar a una definición universal de sustentabilidad, esto es claramente imposible. En este caso es fundamental responder tres grandes preguntas: 1) ¿qué se va a sostener?, 2) ¿durante cuánto tiempo? y 3) ¿En qué escala espacial?

La sustentabilidad aparece como una característica multidimensional de un sistema socio-ambiental. La sustentabilidad se convierte así en un concepto que debe ser analizado de acuerdo al contexto social en que se lleva a cabo el análisis y la implementación de alternativas. Las tres preguntas fundamentales planteadas anteriormente no se pueden responder sin hacer referencia a las preguntas complementarias ¿sustentabilidad para quién?, ¿quién la llevará a cabo?, y ¿cómo? (en otras palabras quién decide, a través de qué proceso sociopolítico, quién lleva a la práctica el concepto y de qué manera). Hacer operativo el concepto de sustentabilidad involucra entonces entender e incorporar la pluralidad de preferencias, prioridades y percepciones en los objetivos de lo que se va a sostener (Maser et ál., 1999).

El DS es un concepto dinámico de aspectos sociales, económicos, tecnológicos y ambientales, que hacen que los países avancen hacia una vida mejor. Debido a que las generaciones futuras, con mayor conocimiento, más tecnología, diferentes retos y necesidades, definirán metas de DS en sus propios puntos de vista, culturas y valores, no hay condición alguna sostenible fija final o estado de un sistema. Algunos autores sostienen que el DS tiene que tomar elementos de la sustentabilidad, sobre el logro de un equilibrio entre las dimensiones de cada sistema (ambientales, económicas y sociales) sobre los horizontes temporales y espaciales y que esto requiere la acción multidisciplinaria en el proceso de la toma de decisiones (Castro, 1998a), Así, el DS

también se entiende como un patrón sostenible de la producción y el consumo, sobre todo en los países industrializados como una medida preventiva importante del deterioro de medio ambiente mundial (Meyar y Vaez, 2012).

En la Cumbre del Milenio de la ONU en 2000, los países miembros se comprometieron a trabajar juntos para reducir la pobreza extrema con una serie de objetivos y metas conocidos como los objetivos de desarrollo del Milenio. Uno de estos objetivos menciona explícitamente la sustentabilidad ambiental y propone incluir los principios del DS en la formulación de políticas y programas. En particular en una de las metas se plantea reducir las emisiones de carbono y aumentar la superficie forestal. (ONU, 2014). Desde entonces, En México la generación de políticas públicas ha priorizado el concepto de DS, y a partir de un estudio, con el fin de evaluar la aplicación Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) con su doble objetivo de reducir las emisiones y promover el desarrollo sustentable, se evaluaron tres proyectos (prevención de metano, gas de relleno sanitario y energía eólica) se demostró el conflicto entre la asociaciones público-privadas, falta de enfoques participativos en proyectos de diseño aprovechamiento y eficiencia tecnológica como transferencia de conocimiento, se observó la limitación en los beneficios ambientales y sociales (Corbera y Jover, 2012) Es decir, el enfoque en los proyectos ha sido visto como el desarrollo económico enmascarado con el DS como eje rector y no se han priorizado las sinergias entre los componentes de la sustentabilidad, por lo que México aún requiere esfuerzos de integración de sinergias entre los componentes del DS o la sustentabilidad.

2.2. Equidad, desarrollo sustentable y cambio climático

El concepto de equidad se introduce en el contexto de cambio climático y del DS como un intento por parte de los países en desarrollo para inculcar una “conciencia” en las economías del “daño” que han causado durante su desarrollo económico y el progreso desde la revolución industrial (Matto y Subramanian, 2011).

En la literatura se ha desarrollado extensivamente la relación entre equidad, cambio climático y la mitigación. Generalmente, se pone en relieve las consecuencias en términos de emisiones futuras (equidad inter-generacional), sin embargo la equidad en la literatura sobre emisiones es más amplio e incluye: la equidad en las emisiones per cápita, la responsabilidad histórica de las emisiones, la capacidad de pago por emisiones, la preservación futura y oportunidades de desarrollo, los ajustes en los costos, la soberanía, las necesidades básicas, asignación en las emisiones y la equidad entre individuos y/o países (Matto y Subramanian, 2011).

Para asegurar la equidad para las partes implicadas en la mitigación del cambio climático se establecieron el principio de responsabilidades comunes pero diferenciadas y el principio el que contamina paga. De esta manera, la Convención señala en el artículo 3.1 que: “Las Partes deberían proteger el sistema climático en beneficio de las generaciones presentes y futuras, sobre la base de la equidad y de conformidad con sus responsabilidades comunes pero diferenciadas y sus respectivas capacidades”. En consecuencia, las partes que son países desarrollados deberían tomar la iniciativa en lo que respecta a combatir el cambio climático y sus efectos adversos (CMNUCC, 1992).

La Convención reconoce la responsabilidad histórica, dadas las emisiones de GEI desde la Revolución Industrial por parte de las naciones industrializadas:

...históricamente como en la actualidad, la mayor parte de las emisiones de GEI del mundo, han tenido su origen en los países desarrollados, las emisiones per cápita en los países en desarrollo son todavía relativamente reducidas, la proporción del total de emisiones originada en esos países aumentará para permitirles satisfacer sus necesidades sociales y de desarrollo (CMNUCC, 1992).

Para proteger el derecho a la equidad y al desarrollo sustentable de las naciones en vías de desarrollo y aquellas más vulnerables al cambio climático, la Convención establece en el artículo 3, párrafo 5 lo siguiente:

... Las Partes deberían cooperar en la promoción de un sistema económico internacional abierto y propicio que condujera al crecimiento económico y desarrollo sustentable de todas las Partes, particularmente de las Partes que son países en desarrollo, permitiéndoles de ese modo hacer frente en mejor forma a los problemas del cambio climático. (CMNUCC, 1992).



Las medidas adoptadas para combatir el cambio climático, incluidas las unilaterales, no deberían constituir un medio de discriminación arbitraria o injustificable, ni una restricción encubierta al comercio internacional (CMNUCC, 1992). De esta manera podemos observar que para garantizar la cooperación, el desarrollo sustentable y la equidad entre las partes para la mitigación del cambio climático, se cuentan con directrices basadas en principios éticos claramente identificables. Sin embargo, las diversas perspectivas de estos principios por parte de las naciones desarrolladas y aquellas en vías de desarrollo provocan conflictos en su interpretación.

La CMNUCC fue firmada en 1992, y el mundo ha cambiado notablemente desde entonces. China, India y Brasil se han transformado en economías sumamente fuertes y también se han convertido en países con emisiones de GEI, incluso superiores a algunos países desarrollados. De esta manera el principio contaminador-pagador no tiene por qué ser interpretado con respecto al pasado, sino a una situación presente.

Lo que se considera justo es interpretado desde dos perspectivas: 1) Las naciones en vías de desarrollo consideran justo progresar económicamente como lo hicieron en el pasado los países desarrollados sin adquirir responsabilidades con respecto a la mitigación del cambio climático. Sin embargo, las naciones desarrolladas argumentan que con base en el Principio Contaminador-Pagador, la situación presente obliga a estas naciones a adquirir compromisos y responsabilidades iguales. Ambos puntos de vista pueden ser considerados como “justos” dando como consecuencia un choque continuo entre ambas perspectivas (CMNUCC, 1992). 2) Por otro lado, el principio de el que contamina paga puede ser interpretado como un derecho adquirido para contaminar. Las empresas o los países pueden pagar una cuota por sus inmensas emisiones de GEI y así, justificar su derecho a contaminar. El pago no es una medida de mitigación y mucho menos de resarcimiento de los daños provocados que en general son intangibles o difícilmente cuantificables.

El IPCC hace hincapié a la relación entre cambio climático y mitigación con el DS y la equidad. En el informe del WGIII, se plantean que el DS y la equidad puede apoyar y permitir una respuesta social eficaz al desafío del cambio climático, mediante el establecimiento de la capacidad de mitigación y de adaptación, tomando en cuenta tres elementos generales: 1) Consumo, las disparidades, y el bienestar: este tema se relaciona con el bienestar - consumo, y la equidad entre estos, 2) La equidad en las escalas nacionales e internacionales; donde distingue la importancia de las políticas nacionales e internacional con un fin común el del desarrollo sustentable equitativo; y 3) La creación de instituciones y la capacidad para la gobernanza efectiva, en donde se destaca que la participación en la toma de las decisiones para un fin común, como la mitigación, en donde se busca generar que los Estados y actores de la sociedad civil, busquen el apoyo más amplio posible y que este sea equitativo entre los actores. El principal mensaje es que el diseño de la política climática de éxito requiere ir más allá de un estrecho enfoque sobre la mitigación y la adaptación, donde se contemplen los co-beneficios de la política sobre el clima, en las cuestiones climáticas, el diseño de estrategias integrales DS en los niveles locales y regionales, en la educación y el género (IPCC, 2014b).

Si bien el DS plantea un nuevo modelo de producción más equilibrado entre la sociedad, la economía y el medio ambiente, en el contexto de la mitigación toma a la equidad como un componente importante dentro de la nueva economía de bajo carbono, en este ámbito la equidad se entiende como un instrumento y como un derecho, que se ocupa tanto de la justicia distributiva y de procedimiento, tomando tres principios: 1) la equidad en el acceso de diferentes actores sociales a los recursos y los mercados de esta nueva economía de carbono, 2) la equidad y legitimidad en las instituciones y en la toma de decisiones a diferentes escalas y 3) la distribución equitativa de los resultados de esta nueva economía del carbono. (Brown y Corbera, 2003b).

3. Evaluación del Desarrollo sustentable y el uso de indicadores

En México, varios trabajos de investigación han enfocado sus esfuerzos al desarrollo y medición de monitoreo de sustentabilidad y DS en el contexto del cambio climático. En términos específicos para la mitigación, ejemplos de estudios de caso han considerado el uso de indicadores para evaluar los esfuerzos de mitigación y su relación con el DS a través de estudios de caso en sectores específicos o regiones específicas (Klooster y Masera, 2000, Nelson y De Jong, 2003; De Jong et ál., 2007; Chávez y Sheinbaum, 2014; Sosa, 2014).

3.1. Metodologías para determinar indicadores de DS

Un indicador internacionalmente aceptado para equiparar el desarrollo económico y la conservación del medio ambiente es el PIB ecológico (o PIB verde). Este indicador es resultado del impacto al medio ambiente y los recursos naturales como consecuencia de las actividades antrópicas, vinculándolos a las principales variables macroeconómicas del país y obteniendo el Producto Interno Neto Ajustado Ambientalmente (PINE), a través de la determinación del monto de los costos por el agotamiento de los recursos naturales y la degradación del medio ambiente. Este indicador ha sido utilizado desde el 2003, y se reporta en millones de pesos, en el 2003 se reportaba un PIB de \$ 7'696, 035, con un PIB ecológico de \$ 7'043,365, con un costo total por agotamiento y degradación ambiental (CTADA) de \$ 652,670. Diez años después en el 2013 el PIB fue de \$16'082.510, un PIB ecológico de \$ 909,968, con un CTADA de \$909,968, el costo de CTADA representa el 3.3 % del PIB, siendo mayor la contaminación del aire, principalmente contaminación de CO₂. Este indicador nos dice que en México se ha incrementado el costo al deterioro ambiental, teniendo costos cada vez mayores las emisiones de GEI, sin embargo se considera un indicador muy general como para poder ser utilizado a nivel de los sectores o de escalas regionales y locales (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 2015)

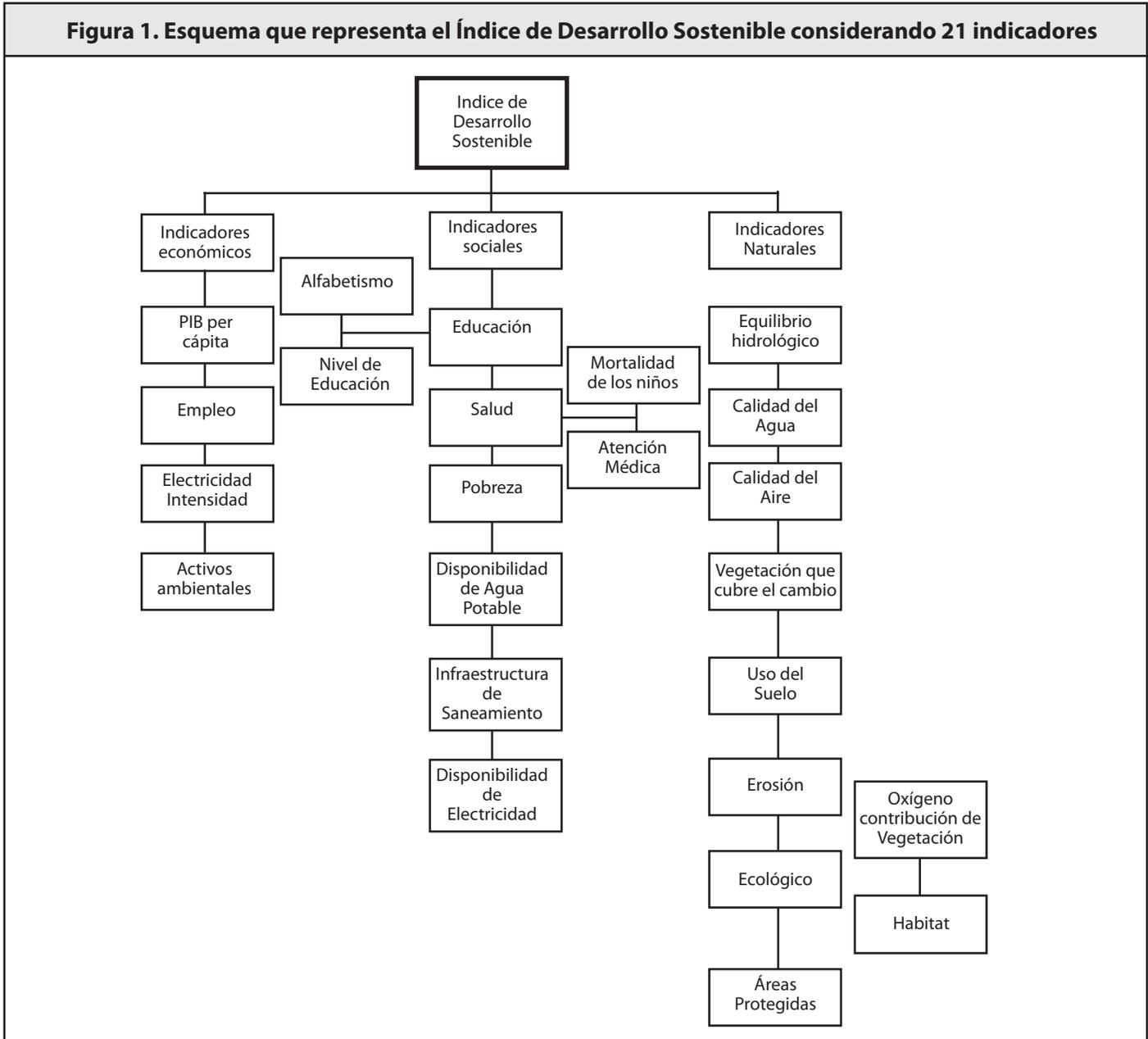
Desde un punto de vista más amplio y tomando en cuenta diferentes criterios y posibles relaciones causales en la relación desarrollo y conservación de recursos, la OECD desarrolló un modelo que es uno de los métodos más adoptados internacionalmente. El modelo de Presión-Estado-Respuesta (PER) se basa en una lógica y un marco integral de las relaciones acción-respuesta donde la información-presión entre la economía, la sociedad y el medio ambiente, responden a las siguientes preguntas: ¿existen impactos ambientales? ¿Cuál es el estado actual del medio ambiente? ¿Qué se está haciendo para mitigar y resolver problemas ambientales y socioeconómicos? El modelo PER ha sufrido varias modificación, también se ha llamado fuerza motor-estado-respuesta (MSR) por la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo Sostenible (CDS) en el 2001 o Presión-Estado-Impacto-Respuesta (PEIR) por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (Barrera y Saldívar, 2002).

En México, de acuerdo con las propuestas de la Agenda 21 y la metodología de la OCDE, Barrera y Roldan (2002) desarrollaron una batería núcleo, con indicadores principales y relevantes de acuerdo con los siguientes criterios 1) disponibilidad y la fiabilidad de la fuente de datos de la información, 2) los datos estadísticos más actuales, 3) representantes en el análisis de los tres sistemas: naturales, sociales y económicos, así como la importancia regional y 4) un enfoque integral que incluye términos cualitativos y cuantitativos.

Con estos criterios desarrollaron una serie de 21 indicadores de DS (Figura 1). Así las dependencias de gobierno adoptaron esta metodología para generar un documento denominado "Indicadores de Desarrollo Sustentable en México", el cual establece los indicadores DS desde la metodología de PER (INEGI, 2000).



Figura 1. Esquema que representa el Índice de Desarrollo Sostenible considerando 21 indicadores



Fuente: (Barrera y Saldívar, 2002)

En el desarrollo de indicadores de DS, algunos investigadores mexicanos han buscado representar las interacciones entre los indicadores de las diferentes esferas de las sustentabilidad. Estudios como los de Rodríguez y Lewis (2012), establecen indicadores de DS para el sector forestal tomando como ejemplo un estudio en Puebla, además estos autores ampliaron a un total de 64 indicadores buscando identificar sus interacciones (Rodríguez y Lewis, 2013), sin embargo no contemplan la mitigación de GEI. Brown y Corbera (2003) proponen una serie de indicadores para los procesos forestales donde sí se contempla la mitigación de GEI y se enfoca en la proyectos forestales con una visión que fomente el DS y la mitigación (Cuadro 3), estos indicadores son parte de la evaluación del Fondo Bioclimático y son basados en un análisis de multicriterio (Brown y Corbera, 2003b).

Cuadro 3. Criterios e indicadores para evaluar los proyectos de carbono forestal

Carbono	Ecológico	Desarrollo social
Secuestra carbono neto	Valor de la región ecológica	El ingreso del hogar
Tasa interna de retorno	La riqueza de especies	Clarificación de los derechos de propiedad
Riesgo de fuga y riesgos naturales	Impacto en la hidrología	Los recursos forestales acceso a los hogares más pobres
La elegibilidad para el MDL	Procesos de erosión	Participación de las organizaciones formales y no formales basados en la comunidad en el diseño del proyecto, la gestión y la toma de decisiones
	Fertilidad del suelo	Número de personas locales que participan en las actividades del proyecto y los que perciben beneficios
	Impacto en la continuidad del habitat	La inversión en educación, servicios de salud y desarrollo de capacidades

Fuente: (Brown y Corbera, 2003b)

En el sector transporte en México se han realizado indicadores DS, con 6 categorías. Tres de ellas consideran cuestiones de transporte; aire, carretero y ferrocarril y 3 que toma en cuenta las categorías sociales, medio ambientales y economías, generando un total de 24 indicadores, donde se contempla la medición de CO₂ (Cuadro 4), (Rassafi y Vaziri, 2005).

El desarrollo de IDS con base en el multicriterio para otros sectores aún no se ha desarrollado en México; en el ramo energético no existe aún literatura científica respecto a indicadores que contemplen la mitigación y el DS, en este sentido México ha quedado rezagado.



Cuadro 4. IDS en Transporte para México

Categoría	Descripción	Dimensión
Transporte, aire	Total de pasajeros-kilómetro transportados	millones
Transporte, aire	Total toneladas -kilómetros	millones
Transporte, aire	Kilómetros totales volados	millones
Transporte, por carretera	Mercancías Transportadas	millones ton-km
Transporte, por carretera	Vehículos de dos ruedas	Por cada 1,000 personas
Transporte, por carretera	Número de pasajeros cuando se usa un auto	Mil unidades
Transporte, por carretera	Los vehículos comerciales en uso	Mil unidades
Transporte, por carretera	Número de autobuses	1,000
Transporte, por carretera	Total de la red	km
Transporte, ferrocarril	Ferrocarril ton - km	Millones ton - km
Transporte, ferrocarril	Pasajeros – kilómetros	Millones
Transporte, ferrocarril	Longitud de las líneas de ferrocarril	Km
Transporte, ferrocarril	Número de vagones para mercancías	#
Transporte, ferrocarril	Número de locomotoras	#
Transporte, ferrocarril	Número de coches de pasajeros	#
Transporte, ferrocarril	Las mercancías cargadas del mar internacional	Millones ton
Transporte, ferrocarril	Las mercancías descargadas en marítimo internacional	Millones ton
Transporte, ferrocarril	La marina mercante : flotas-total	Mil de registro bruto
Social	La esperanza de vida al nacer -total	Años
Social	El total de mano de obra	
Social	Población Urbana	% del total
Social	El agua potable	% de la población con
Social	Cama de hospital	Por cada 1,000 personas
Social	Tasa de analfabetismo, total de adultos	% de las personas mayores de 15 años
Medio ambiente	La tierra cultivable	Hectáreas
Medio ambiente	Uso de energía comercial	kg por equivalente
Medio ambiente	Las emisiones de CO ₂	1000 toneladas de carbono
Economía	Gasto, total	% De PIB
Economía	PIB a precios de mercado	constante 1987 US \$
Economía	Inflación, precios al consumidor	% anual
Economía	Los pagos de intereses	% Del gasto total
Economía	El consumo total	constante 1987 US \$
Economía	Líneas telefónicas	por cada 1,000 personas

Fuente: (Rassafi y Vaziri, 2005)

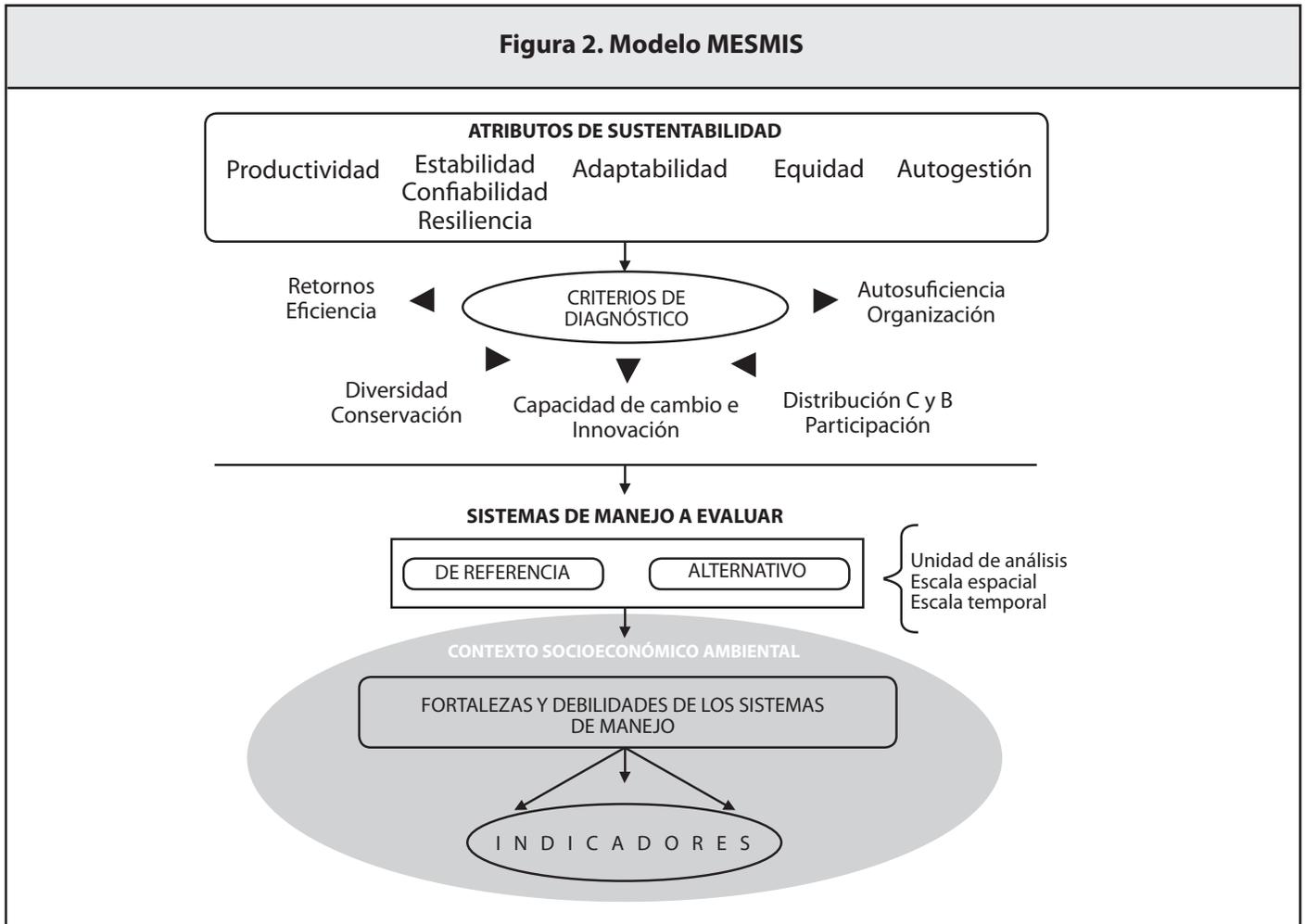
3.2. Un enfoque de sistemas para la utilización de indicadores de sustentabilidad

Así mismo, la elaboración de índices con información de diferentes indicadores de sustentabilidad ha sido también criticada por proveer una calificación y no necesariamente proveer guías para el fortalecimiento de la sustentabilidad. Ante estas limitaciones se ha propuesto un enfoque de sistemas para la evaluación de sustentabilidad y el DS. El Marco para la evaluación de sistemas de manejo de recursos naturales incorporando indicadores de sustentabilidad (MESMIS) ha sido desarrollado e implementado en una gran variedad de estudios de caso (López, Masera y Astier, 2002; Speelman et ál., 2007). Este enfoque permite comprender las interacciones entre diferentes componentes y, por tanto, sus sinergias y relaciones de compromiso.

Existe una cantidad importante de marcos de evaluación que proponen una serie de características, atributos o propiedades de la sustentabilidad para la derivación de indicadores. Para la definición de dichas propiedades básicas, el enfoque de sistemas ha demostrado ser de gran utilidad pues permite entender a los sistemas como un todo, haciendo explícito su funcionamiento a partir de las relaciones entre los subsistemas que los componen y su relación con el entorno donde se encuentran y los otros sistemas con los que interactúan. La definición y la comprensión de las propiedades sistémicas esenciales para la sustentabilidad han sido temas de intensa investigación, sobre todo teórica, que ha brindado las bases para la evaluación de la sustentabilidad, ya que ahí se recogen principios básicos de la ecología, la economía y las ciencias sociales en el análisis de sistemas complejos (Figura 2) (Masera et ál., 1999).



Figura 2. Modelo MESMIS



Fuente: (Maser et ál., 1999)

En términos prácticos, los atributos relacionados a la sustentabilidad de los sistemas se refieren a la capacidad de estos para proporcionar los bienes y los servicios económicos, sociales o ambientales esperados para satisfacer los objetivos de los diferentes actores (productividad); hacerlo sin degradar los recursos base naturales, económicos o sociales de los cuales dependen para la realización de dichos objetivos (estabilidad), y mantener una productividad estable ante cambios de los subsistemas o los sistemas sociales, económicos o ambientales con los que interactúa, ya sean variaciones normales en su ambiente (confiabilidad), variaciones extremas —shock o stress— (resiliencia), o perturbaciones que los afectan de manera permanente (adaptabilidad)¹ (Maser et ál., 1999). Estos son los elementos que los indicadores de DS deben de ser sometidos, la visión de sistemas complejos ayuda en el contexto de la mitigación de GEI a evaluar los proyectos para generar políticas con una visión más amplia (Maser et ál., 1999).

¹Estas cinco propiedades de la Sustentabilidad y manejo de recursos naturales (SMRN) pueden examinarse desde cualquier disciplina (p. ej., analizar la productividad, la estabilidad, la confiabilidad, la resiliencia y la adaptabilidad biofísicas o socioeconómicas); desde cualquier escala de análisis (p. ej., analizarlas a escala local, como en una parcela o un hato ganadero, o continental), y a diferentes escalas temporales (p. ej., a corto, mediano o largo plazo).

En las evaluaciones de sustentabilidad, la equidad es considerada como un aspecto de la productividad y la estabilidad social de los SMRN, y la autogestión es considerada como un mecanismo para responder ante perturbaciones en el ambiente donde éstos se desarrollan. En el marco MESMIS, sin embargo, se ha optado por hacer explícitos estos atributos, pues son muy importantes y se tiende a excluirlos.

Conclusiones

En México existen esfuerzos gubernamentales tanto para el cambio climático en adaptación y mitigación y el DS. En el país las leyes y programas como PND y el PECC están bien alineados a través de sus objetivos y metas, esto permite un marco legal de acciones. A pesar de ello existen algunos vacíos sectoriales, hoy en día existe suficiente información en algunos sectores de importancia para México p. ej. transporte y manejo forestal y sus emisiones de GEI y las posibilidades de mitigación, lo mismo sucede en el área de energía donde no se han realizado estudios sobre su DS y sus posibles alcances de mitigación, siendo un tema de debate importante en el contexto internacional.

El concepto de desarrollo sustentable y de sustentabilidad, y sus especificaciones en el contexto del cambio climático y de mitigación, debe determinarse localmente, mediante procesos que busquen una articulación adecuada entre las diferentes escalas de análisis, de lo local a lo nacional. Además los más recientes debates sobre la mitigación y el desarrollo de políticas climáticas sugieren que para diseñar políticas exitosas se requiere ir más allá del enfoque estrecho de la mitigación y la captura de GEI, donde se contemplen los co-beneficios de la política sobre el clima e integren el DS en los niveles locales y regionales. Esta apertura del análisis de mitigación implica incluir aspectos relacionados entre el desarrollo socio-económico, la equidad y la conservación de los recursos naturales.

En México existen avances metodológicos importantes para el análisis multicriterio de la sustentabilidad a través del uso de indicadores o índices compuestos, sin embargo, es en escasas ocasiones que se incluyen explícitamente indicadores relacionados a la mitigación del cambio climático. Para comprender las interacciones entre los diferentes aspectos relacionados a la mitigación y adaptación al cambio climático y el desarrollo sustentable, es necesario un enfoque sistémico. Este enfoque sistémico no solo permitirá comprender la mitigación en un contexto más amplio, sino también identificar y cuantificar las interacciones entre diferentes componentes y, por tanto, las sinergias y relaciones de compromiso que puedan surgir en el desarrollo e implementación de políticas climáticas.



Referencias

- Astier**, M., Speelman, E., López, S., Masera, O., & Gonzalez, C. (2011). Sustainability indicators, alternative strategies and trade-offs in peasant agroecosystems: analysing 15 case studies from Latin America. *International journal of agricultural sustainability*, 9(3), 409-422.
- Barrera**, A. & Saldívar, A. (2002). Proposal and application of a Sustainable Development Index. *Ecological Indicators*, 2(3), 251-256. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S1470-160X\(02\)00058-4](http://dx.doi.org/10.1016/S1470-160X(02)00058-4)
- Brown**, K. & Corbera, E. (2003). Exploring equity and sustainable development in the new carbon economy *Climate Policy*, 3S1, 41-56.
- Castro**, M. E. (1998a). El mito del desarrollo sustentable y la de la sustentabilidad urbana. *Diseño y Sociedad*, 8, 3-7.
- Castro**, M. E. (1998b). Globalización y desarrollo sostenible vs Autodesarrollo y sustentabilidad *Diseño y Sociedad*, 9, 55-60.
- Chávez**, C. & 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(0), 624-634. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2013.12.047>
- Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático** [CMNUCC]. (1992). <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf>.
- Corbera**, E. & Jover, N. (2012). The undelivered promises of the Clean Development Mechanism: insights from three projects in Mexico. *Carbon Management*, 3(1), 39-54.
- De Jong**, B., Masera, O., Olguín, M., & Martínez, R. (2007). Greenhouse gas mitigation potential of combining forest management and bioenergy substitution: A case study from Central Highlands of Michoacan, Mexico. *Forest Ecology and Management*, 242(2-3), 398-411. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2007.01.057>
- Delgado**, G. C. (2014). Buena vida, Buen vivir: Imaginarios alternativos para el bien común de la humanidad. *Universidad Nacional Autónoma de México*, 1, 21-125.
- Delgado**, G. C. (2015). Complejidad e interdisciplina en las nuevas perspectivas sociológicas: la ecología política del metabolismo urbano. *Letras Verdes. Revista Latinoamericana de Estudios Socioambientales*, 17, 1-21.
- Dixon**, J. A. & Fallon, L. A. (1989). The concept of sustainability: origins, extensions, and usefulness for policy. *Society & Natural Resources*, 2(1), 73-84.
- Edenhofer**, O., Pichs, R., Sokona, Y., Kadner, S., Minx, J. C., Brunner, S., ... & Zwickel, T. (2014). *Technical Summary. In: Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel & J.C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Fleurbaey**, M., Kartha, S., Bolwig, S., Chee, Y. L., Chen, Y., Corbera E., ... & Sagar, A. D. (2014). *Sustainable Development and Equity. In: Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel & J.C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Gardiner**, S. (2006). A Perfect Moral Storm: Climate Change, Intergenerational Ethics and the Problem of Moral Corruption. *Environmental Values* 15, 397-413.
- Hansen**, J. W. (1996). Is agricultural sustainability a useful concept?. *Agricultural systems*, 50(2), 117-143.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (2000). *Indicadores de Desarrollo Sustentable en México*. 213.
- INEGI**. (2015). *PIB y Cuenta: Económicas y Ecológicas*. <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/cn/ee/>.
- Panel Intergubernamental de Cambio Climático** [IPCC]. (2007). *Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, Pachauri, R.K & Reisinger, A. (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 104 pp.
- IPCC**. (2014). *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel & J.C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Klooster, D., & Masera, O. (2000). Community forest management in Mexico: carbon mitigation and biodiversity conservation through rural development. *Global Environmental Change*, 10(4), 259-272. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0959-3780\(00\)00033-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0959-3780(00)00033-9).
- López**, S., Masera, O., & Astier, M. (2002). Evaluating the sustainability of complex socio-environmental systems. The MESMIS framework. *Ecological Indicators*, 2, 135-148.

- Luhmann, N.** (1993). *Risk: A Sociological Theory* New York: *De Gruyter*.
- Masera, O., Astier, M., & Ridaura, S. L.** (1999). Sustentabilidad y manejo de recursos naturales (El marco de evaluación MESMIS). Mundi-Prensa-GIRA-UNAM. Mexico 109 p.
- Matto, A. & Subramanian, A.** (2011). Equity in Climate Change: An Analytical Review. *World Development*, 40, 1083-1097.
- Meyar, H. & Vaez, S.** (2012). Sustainable development based energy policy making frameworks, a critical review. *Energy Policy*, 43(0), 351-361. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2012.01.012>
- Nebel, B. J. & Wright, R. T.** (1999). *Ciencias ambientales: ecología y desarrollo sostenible*. Pearson Educación.
- Nelson, K. C. & De Jong, B.** (2003). Making global initiatives local realities: carbon mitigation projects in Chiapas, Mexico. *Global Environmental Change*, 13(1), 19-30. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0959-3780\(02\)00088-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0959-3780(02)00088-2)
- Organización de las Naciones Unidas [ONU].** (1987). Informe de la Comisión Internacional del Medio Ambiente y el Desarrollo. *Informe Brundtland*. ONU. (2014). The Millennium Development Goals Report 2014. 59.
- Programa Estatal de Cambio Climático [PECC]** (2014). *Diario Oficial, Segunda Sección* 1-96.
- Pezzey, J.** (1989). Definitions of sustainability. UK Centre for Economic and Environmental Development.
- Plan Nacional de Desarrollo [PND]** (2013). Plan Nacional de Desarrollo *Gobierno de la República*, 184.
- Pojman, L. & Fieser, J.** (2011). *Cengage Advantage Books: Ethics: Discovering Right and Wrong*. Cengage Learning.
- Rassafi, A. A. & Vaziri, M.** (2005). Sustainable transport indicators: Definition and integration. *International Journal of Environmental Science & Technology*, 2(1), 83-96. doi: 10.1007/bf03325861
- Rodríguez, S. & Lewis, D. K.** (2013). Analysis and deliberation as a mechanism to assess changes in preferences for indicators of sustainable forest management: A case study in Puebla, Mexico. *Journal of Environmental Management*, 128(0), 52-61. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.04.051>
- Sosa, F.** (2014). From federal to city mitigation and adaptation: climate change policy in Mexico City. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 19(7), 969-996. doi: 10.1007/s11027-013-9455-1
- Speelman, E., López, S., Aliana, N., Astier, M., & Masera, O.** (2007). Ten years of sustainability evaluation using the MESMIS framework. Lessons learned from its application in 28 Latin American case studies. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 14, 345-361.
- Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Cornell, S. E., Fetzer, I., Bennett, E. M., ... & Folke, C.** (2015). Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science*, 347(6223), 1259855.
- Stern, N.** (2007). *The economics of climate change: the Stern review*. Cambridge University press.
- Vijaya, S., Iniyar, S., & Goic, R.** (2012). A review of climate change, mitigation and adaptation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(1), 878-897. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2011.09.009>
- Watkins, K.** (2008). Informe sobre Desarrollo Humano 2007-2008. La lucha contra el cambio climático: Solidaridad frente a un mundo dividido. *DELOS: Desarrollo Local Sostenible*, 1(1), 10.



Capítulo 2

DIRECTRICES, TENDENCIAS Y MITIGACIÓN

Autoras líderes:

Xochitl Cruz Núñez², Rosa María Bernabé Cabanillas⁷ y Mariana Hill Cruz⁸.

Autor colaborador:

José Luis Bravo Cabrera².

²UNAM CCA Centro de Ciencias de la Atmósfera.

⁷INECC Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, ⁸UWA University of Western Australia.

Palabras clave: Inventario de emisiones, tendencias de emisiones, gases de efecto invernadero, carbono negro, escenarios de mitigación.

Resumen

Se analiza el inventario de emisiones de contaminantes de efecto invernadero en México y sus tendencias históricas. El promedio de crecimiento anual en el periodo 1990 – 2010 es de 2.3 %. El periodo con un mayor crecimiento anual promedio fue de 2005 a 2008 con un 4.0 %. Para el inventario de 2010, sus fuentes clave, las que emiten en conjunto el 95 % del total de las emisiones son, las industrias de generación de energía con 21.7 % de las emisiones totales; el transporte es segundo con 20.5 %; siguen las categorías de emisiones evaporativas del petróleo y gas natural con 10.2 %, la industria manufacturera y de la construcción 7.6 % y el manejo de suelos agrícolas con 6.2 %. Además, las categorías de emisión que emergen y crecen más rápido que el resto del inventario son las de los tiraderos y rellenos sanitarios con 3 % y las emisiones de las plantas de tratamiento de aguas residuales con 2.4 %. Los compromisos de México por reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero y contaminantes de vida corta se presentan a la luz de la tendencia del inventario de emisiones.



Introducción

Las emisiones a la atmósfera de los gases de efecto invernadero (GEI), principalmente CO₂, han crecido desde la revolución industrial, de 280 ppmv (parts per million by volume) (Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 1990) a niveles superiores a las 400 ppmv (National Oceanic and Atmospheric Administration [NOAA], 2015) a principios de 2015. Los GEI se emiten a la atmósfera por diferentes actividades entre las que se encuentran la quema de combustibles fósiles, el cambio de uso de suelo, la agricultura, entre otros (Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 1990).

El Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero, permite conocer la cantidad y tipo de contaminantes que se emiten a la atmósfera y es una herramienta necesaria para la toma de decisiones de mitigación. Los países han comprometido la reducción de sus emisiones para amortiguar su aumento y estabilizar la temperatura de la Tierra en 2 °C por encima de los niveles preindustriales.

De acuerdo con el IPCC (2013), para incrementar las probabilidades de no sobrepasar el umbral de 2 °C las emisiones de dióxido de carbono equivalente deberán estar, para 2050, en cerca del 55 % debajo de los niveles de 2010. De acuerdo con la tendencia actual, para 2030 las emisiones deberán estar un 10 % debajo de las emisiones de 2010 (United Nations Environment Programme [UNEP], 2014). Sin embargo, la probabilidad de alcanzar la estabilización de la temperatura global en 2 °C es de apenas el 50 % con la reducción de emisiones propuesta (UNEP 2014).

El Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en México es realizado y reportado por el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), a través de publicaciones ex profeso y en las comunicaciones nacionales que se presentan a la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (UNFCCC, por sus siglas en inglés) de acuerdo con los artículos 4 y 12 de la Convención, así como con las *Directrices* para la presentación de las comunicaciones nacionales. El primer inventario nacional de emisiones se publicó en 1995 con información de 1990; estos resultados fueron presentados ante la UNFCCC en 1997 como parte de la Primera Comunicación Nacional de México. Posteriormente, en la Segunda Comunicación Nacional (2001), los cálculos se realizaron con base en la metodología IPCC 1996 (IPCC, 1997), para los años 1994, 1996 y 1998. En 2006 se presentó la Tercera Comunicación Nacional (Instituto Nacional de Ecología [INE] - Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT], 2006) incluyendo un re-cálculo 1990–2002. La Cuarta Comunicación Nacional se presentó en 2009 (SEMARNAT, 2009) y la Quinta en 2012 (INECC, 2012).

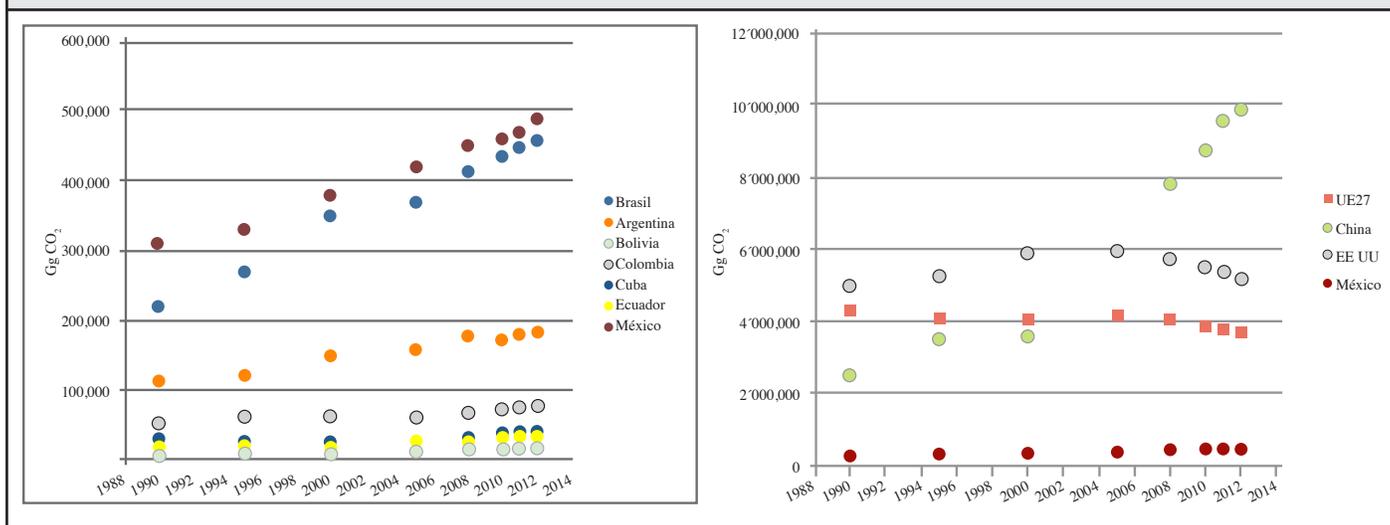
1. Inventario de emisiones, tendencias nacionales de existencias y flujos de gases de efecto invernadero

1.1 Gases de efecto invernadero

Las emisiones de gases de efecto invernadero en el año 2010 totalizaron 748,252.2 Gg CO₂-eq (INECC 2013). Las emisiones de dióxido de carbono equivalente de México contribuyeron, en 2012, con 1.4 % de las emisiones mundiales, a la par de Corea del Sur, con 1.8 % e Indonesia, con 1.4 % (Oliver et ál., 2014). El crecimiento anual, desde 1990 hasta 2010, es de 2.3 % en promedio. El periodo con un mayor crecimiento anual promedio fue de 2005 a 2008 con un 4.0 %. Las emisiones totales de gases de efecto invernadero tuvieron una disminución del 0.15 % del 2008 al 2010 de acuerdo con las cifras oficiales (INECC, 2014). Sin embargo, la tendencia de crecimiento de las emisiones es contundente: "...de seguir con este escenario tendencial, se calcula que en el 2020 las emisiones nacionales de GEI alcanzarían mil millones de toneladas" (Programa Especial de Cambio Climático-PECC, 2014) de dióxido de carbono equivalente.

En la Figura 1, se muestran, en el panel izquierdo, las emisiones de dióxido de carbono de México en comparación con otros países de Latinoamérica; en el panel derecho, los principales emisores, Estados Unidos y China y el bloque de 27 países de la Unión Europea. En general se observa la magnitud de las emisiones. En la Figura 2, en la que se presentan las emisiones de CO₂ por habitante provenientes de las actividades de combustión, se observa la diferencia entre los países desarrollados (Estados Unidos, Australia, Arabia Saudita), que emiten más de 5 y hasta casi 25 toneladas de CO₂ por habitante, respecto de los países en desarrollo (Brasil, México, India, China) que emiten menos de 5 Toneladas métricas de CO₂ por habitante. Llama la atención la emisión per cápita de China, con un cambio de pendiente a partir del año 2000.

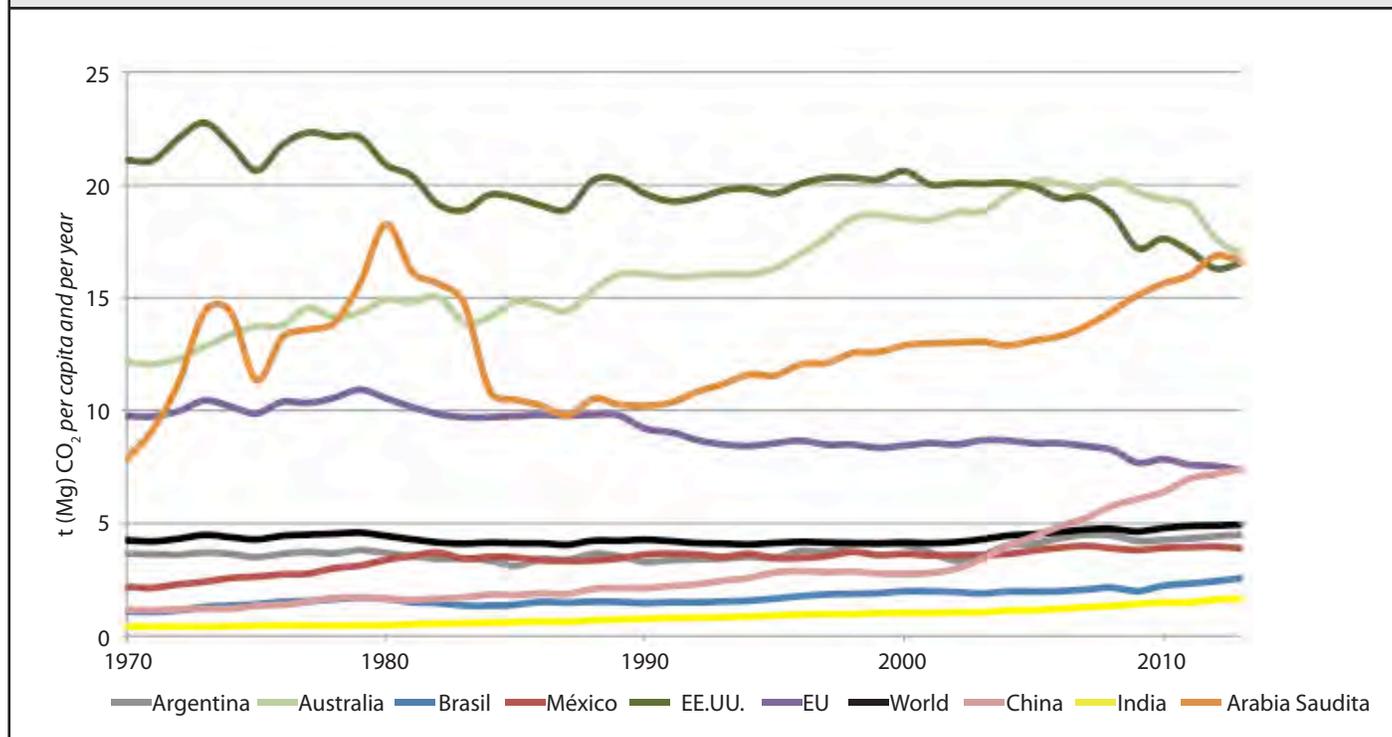
Figura 1. Emisiones de dióxido de carbono de México y otros países de Latinoamérica (izquierda) y de México en comparación con los principales emisores (derecha)



Fuente: Elaboración propia con información de la Base de Datos de Emisiones para la Investigación Global Atmosférica [EDGAR], 2015



Figura 2. Emisiones históricas de CO₂ por habitante provenientes de la quema de combustibles fósiles de diferentes países



Fuente: Elaboración propia con información de EDGAR, 2015

A escala nacional, en 1998 el 71.7 % de las emisiones correspondía al CO₂, 18.45 % al CH₄ y 9.1 % al N₂O. Ya en 2010 el CO₂ representó 65.9 % de las emisiones totales y el CH₄ y el N₂O aumentaron a 22.3 % y 9.2 % respectivamente. Las emisiones atribuidas a otros gases de efecto invernadero aumentaron de 0.7 % en 1998 a 2.5 % en 2010.

Las fuentes clave son aquellas categorías de emisión que en conjunto contribuyen con 95 % de las emisiones totales de un sistema (IPCC, 1997). México estima sus inventarios de emisiones con una frecuencia de tres años, aproximadamente. Se sabe que sus fuentes clave, las que emiten en conjunto el 95 % del total de las emisiones (Cruz et ál., 2008; INECC, 2012), son para el inventario de 2010 las industrias de generación de energía (principalmente operadas por la Comisión Federal de Electricidad), con 21.7 % de las emisiones totales; el transporte es segundo con 20.5 %; siguen las categorías de emisiones evaporativas del petróleo y gas natural, la industria manufacturera y de la construcción y el manejo de suelos agrícolas entre otros. Además, las categorías de emisión que emergen y crecen más rápido que el resto del inventario son las de los tiraderos y rellenos sanitarios y las emisiones de las plantas de tratamiento de aguas residuales. (Ver Cuadro 1). El establecimiento de las fuentes clave permite a los tomadores de decisiones planear y establecer prioridades acerca de las categorías que deben abordarse para la mitigación de sus emisiones.

Cuadro 1. Fuentes clave en el inventario nacional de gases de efecto invernadero 2010

Fuente de emisión	Categoría de emisión	Tipo de gas	Contribución al total nacional (%)	Acumulativo al total nacional (%)
Generación de energía	Energía	CO ₂	21.7	21.7
Transporte	Energía	CO ₂	20.5	42.2
Petróleo y gas natural	Energía	CH ₄	10.2	52.4
Manufactura y construcción	Energía	CO ₂	7.5	60.0
Manejo de suelos agrícolas	Agricultura	N ₂ O	6.2	66.2
Conversión de bosques y pastizales	Uso de suelo	CO ₂	6.1	72.2
Fermentación entérica	Agricultura	CH ₄	5.1	77.3
Industria de los minerales	Procesos	CO ₂	4.7	82.0
Otros sectores	Energía	CO ₂	4.4	86.4
Eliminación de desechos sólidos	Desechos	CH ₄	3.0	89.4
Tratamiento y eliminación de aguas residuales	Desechos	CH ₄	2.5	91.8
Consumo de halocarbonos y hexafluoruro de azufre	Procesos	HFC	2.0	93.8
Emisiones y remociones de CO ₂ de los suelos	USCUS	CO ₂	1.7	95.5

Fuente: (INECC, 2014)

El sector de energía generó en 2010 el 67.3 % de las emisiones de gases de efecto invernadero, seguido por Agricultura con un 12.3 %. El crecimiento porcentual de 1990 a 2010 del sector de energía fue del 25.5 %. Este sector pasó de producir el 62.5 % de las emisiones en 1998 al 67.3 % en 2010. (Figura 3). En 1998 el sector de Uso de suelo, cambio de uso de suelo y silvicultura (USCUS) era el tercer sector con mayor producción de emisiones con 13.4 % y en 2010 produjo el 6.3 % de las emisiones siendo rebasado por los procesos industriales que produjeron el 8.2 %. Todos los sectores, salvo USCUS y emisiones de CO₂ por quema de biomasa, muestran una tendencia de aumento en sus emisiones en el periodo de 1998 al 2010 (Figura 4).

La generación de energía eléctrica en México se realizaba principalmente en las centrales termoeléctricas de la Comisión Federal de Electricidad (CFE). La apertura del sector energético a la iniciativa privada tendrá un efecto incierto en la tendencia de las emisiones pues aún no se sabe cuántos proyectos y de qué tipo serán, en la práctica, colocados en el mercado nacional. El capítulo 3 Sistemas de Energía explica este sector.

El subsector Transporte es uno de los dos que genera más emisiones GEI y forzantes de vida corta del inventario nacional, con una contribución de 21 % (INECC, 2014) y forma parte de las denominadas fuentes clave por tendencia del inventario nacional hasta 2010 lo que implica que su tasa de crecimiento es importante.

El sector Desechos generó 44,131 Gg. Las emisiones de éste representan el 5.9 % de las emisiones nacionales en 2010, mientras que en 1990 fueron de 2.9 %; desde 1990 este sector ha mostrado un incremento del 167 % asociado específicamente a la subcategoría de residuos sólidos urbanos con una tasa de crecimiento media anual de 6.2 % y un aumento en la generación per cápita del 180 %. El principal gas de efecto invernadero emitido por esta fuente es el metano (CH₄) generado por la desintegración microbiana de la materia orgánica presente en los desechos, corresponde al 93.6 % (41,323 Gg) del CO₂-eq, seguido del N₂O con 5.1 % (2,238 Gg) y del CO₂ con 1.3 % (569.4 Gg) (INECC, 2013).



La subcategoría Residuos Sólidos Urbanos pasó de generar 21,967 Gg de residuos en 1992 a 40,058.8 Gg en 2010 que representa un incremento del 182 % en 18 años, en tanto que la tasa de generación de residuos sólidos urbanos per cápita se incrementó hasta 106 kg anuales para un total de 356 kg al final del periodo. Esto representa una emisión de 1,053 Gg CH₄ para 2010 que, en comparación con 317 Gg emitidos en 1990, representa un aumento del 232 %.

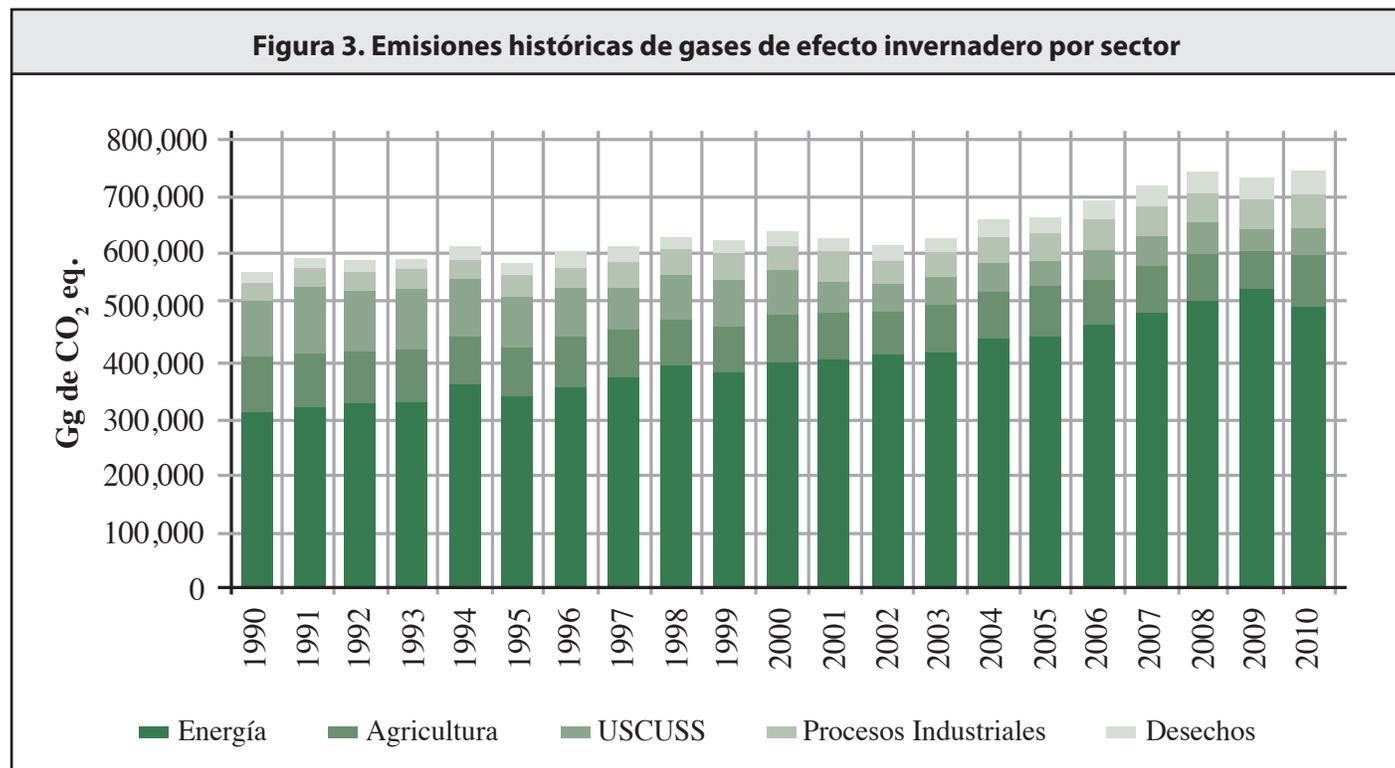
Otro sector que presenta una tendencia incremental es el de los Procesos Industriales en el que el CO₂ es el principal GEI con el que contribuye: Entre 1990 y 2010, se presentó un incremento de 102.3 %, pasando de 30,266 Gg de CO₂-eq a 61,227 Gg de CO₂-eq en 2010. El incremento se asocia principalmente a un aumento en el uso de los hidrofluorocarbonos (HFC) así como a una mayor intensidad de la actividad de la industria cementera, producción de cal viva entre otros. La industria química mostró una disminución de 66.2 % en el mismo periodo, específicamente por la reducción en la producción de petroquímicos básicos y secundarios. Las emisiones procedentes de la producción y consumo de HFC se incrementaron en 2,307 %, pasando de 776.5 Gg de CO₂-eq en 1990 a 18,692 en 2010 (SEMARNAT, 2013).

Las emisiones de los perfluorocarbonos (PFC) provenientes de la producción de aluminio primario totalizaron 128.4 Gg de CO₂-eq, aproximadamente el 0.2 % de la emisión total de la categoría, en tanto que en 1990 contribuyeron con 0.09 % al total (PNUD, 2013).

Las emisiones de CH₄ y N₂O del sector industrial representan el 0.1 y 0.2 % del total de emisiones de CO₂-eq respectivamente, presentando en ambos casos tasas de crecimiento negativas en el periodo 1990-2010, a razón de entre 1 y 7 % anual.

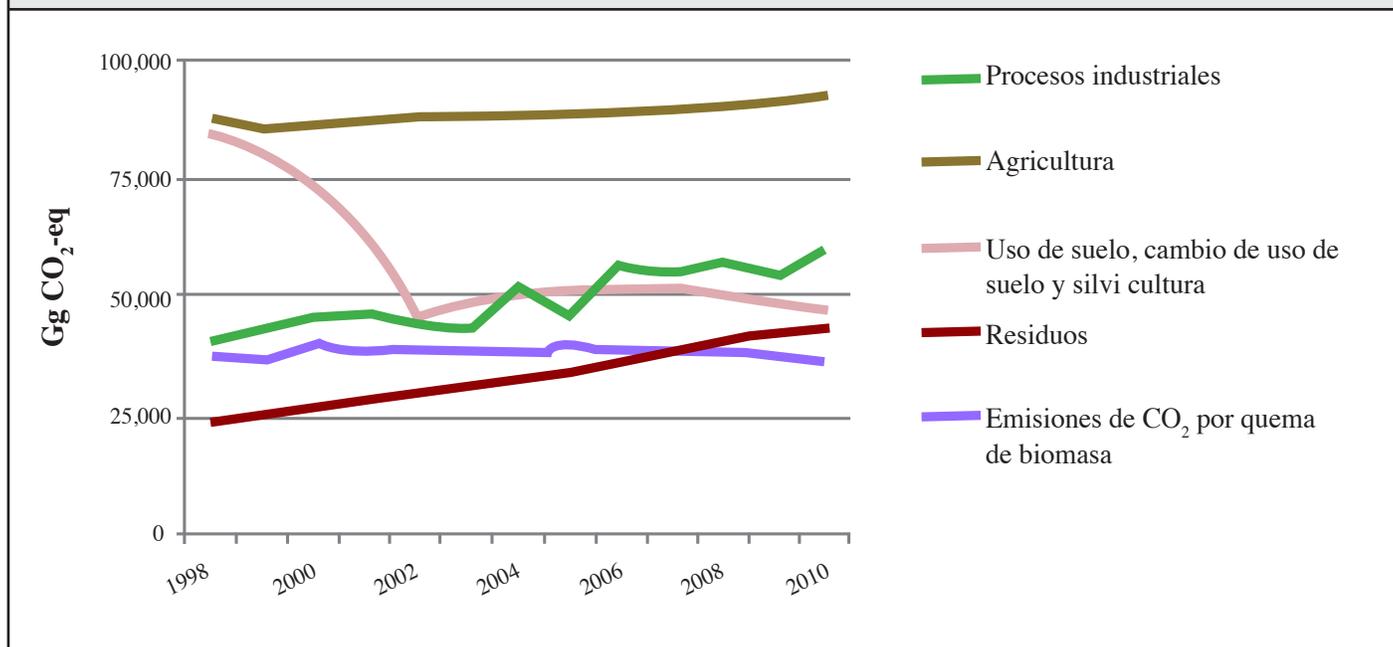
El sector agrícola, pese a ser la principal fuente de emisión de GEI diferente de la combustión, no muestra un incremento significativo en la emisión desde 1990 al 2010, con un promedio de 89,129 Gg de CO₂-eq con una variación máxima de ± 7 % atribuible a la dinámica de las poblaciones ganaderas así como a cambios en la metodología de análisis. El óxido nitroso es el principal GEI con el 57 % y, el restante es metano.

Figura 3. Emisiones históricas de gases de efecto invernadero por sector



Fuente: (INECC, 2013)

Figura 4. Emisiones de gases de efecto invernadero por sectores diferentes de la energía



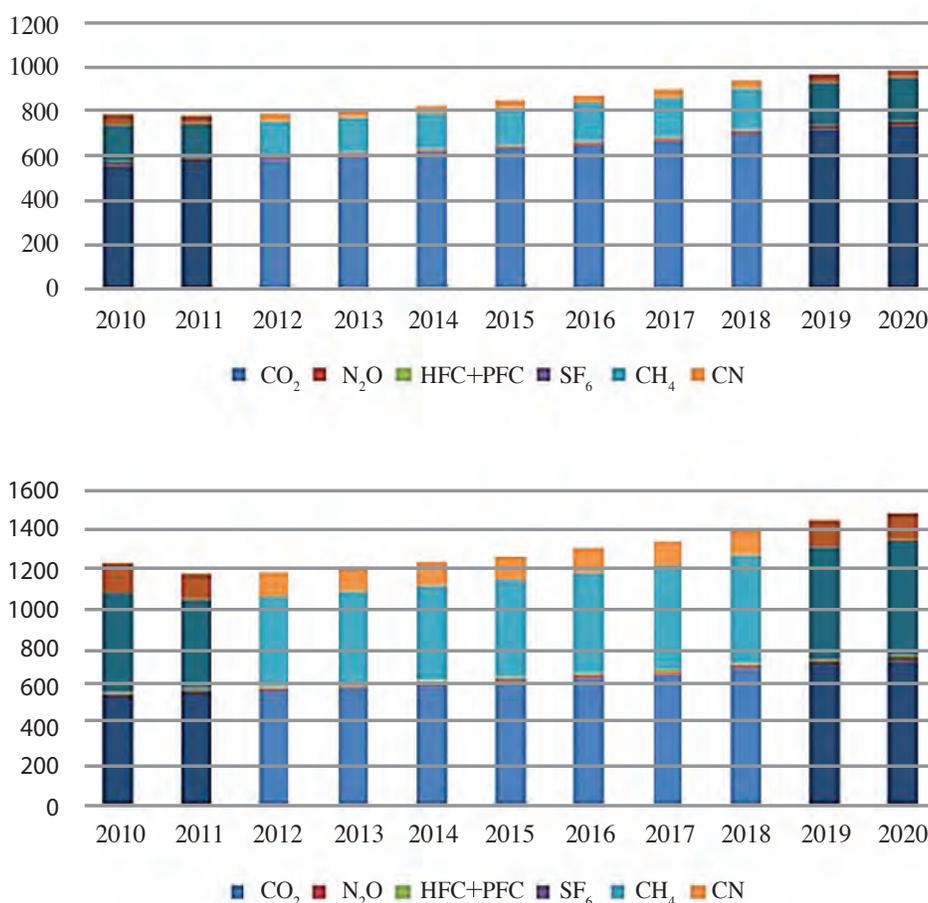
Fuente: (INECC, 2013)

1.2 Carbono negro y forzantes climáticos de vida corta

Las emisiones de los contaminantes de efecto invernadero de vida corta (SLCF por sus siglas en inglés) se han estimado recientemente en México (Shores et ál., 2013, Cruz 2014, Cruz et ál., 2014, INECC 2014) y su concentración ha sido medida, principalmente en el norte del país (Takahama et ál., 2014). En los instrumentos de política pública se plantea reducir primero los contaminantes de vida corta a través de reducciones del carbono negro, y después los de vida larga, como el CO₂. La razón de esta política se asocia con los potenciales globales de calentamiento (GWP, por sus siglas en inglés) (Harvey 1993; Ramanathan y Carmichael, 2008) que es la relación entre los forzamientos radiativos del gas entre el de un gas de referencia integrados sobre la vida de los contaminantes o un horizonte temporal dado. En este caso, los horizontes son 20 o 100 años. (Figura 5). Debido a su corto tiempo de residencia en la atmósfera el carbono negro responde rápidamente a las reducción de sus emisiones (Lund, 2014).

Figura 5. El efecto de la inclusión del GWP en la estimación de las emisiones

(Arriba, las emisiones nacionales con un GWP a 100 años; abajo, con un GWP a 20 años. Se observa cómo el carbono negro, un contaminante de vida corta, ejerce una contribución importante en el corto plazo).



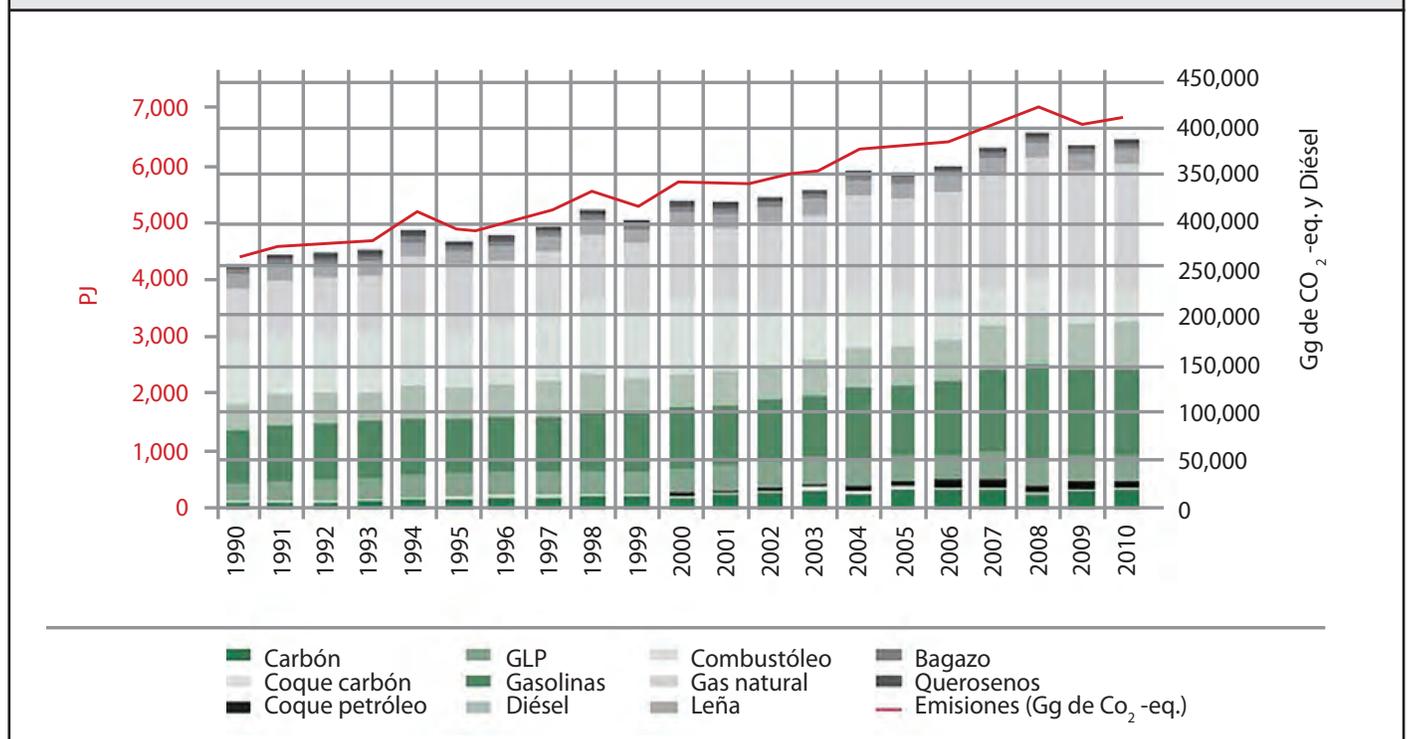
Fuente: (PECC, 2014)

La reducción de carbono negro estimada en el PECC para 2018 es de 2,157 toneladas por año. Las principales fuentes de emisión de este contaminante son los vehículos a diésel y la quema de biomasa (Cruz et ál., 2014; Takahama et ál., 2014). Los incendios silvestres y forestales aportaron de 2000 a 2012, en promedio anual, 5,955 toneladas de carbono negro (Cruz et ál., 2014).

2. Patrones de producción, consumo y comercio

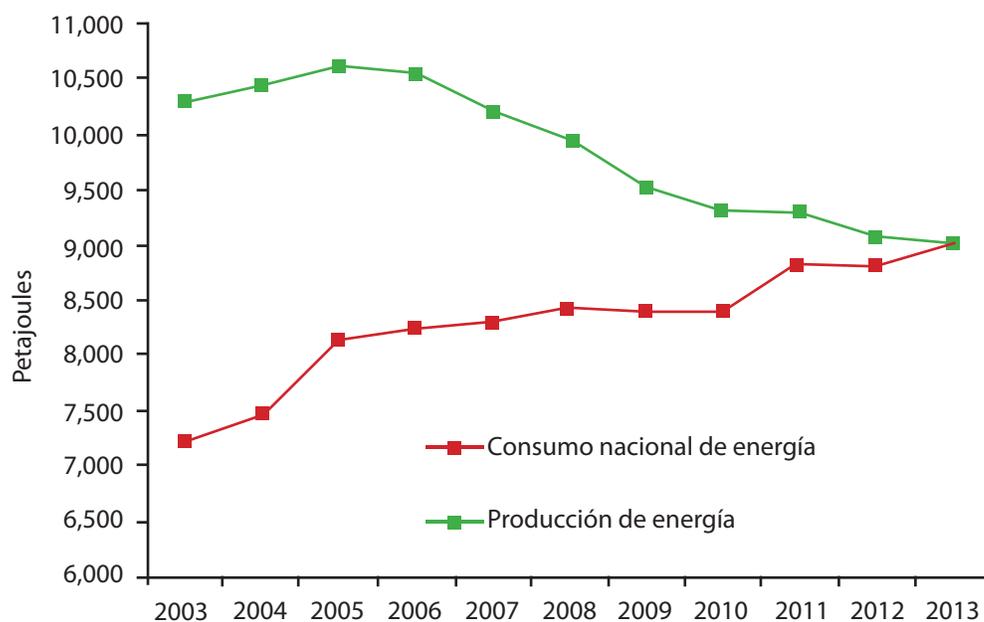
Las emisiones del sector energético están fuertemente ligadas a la tasa de crecimiento de los diferentes sectores que la integran. En México, la generación nacional de emisiones de este sector y el consumo energético están fuertemente acoplados. La Figura 6 muestra la tendencia.

Figura 6. El consumo energético y la generación de dióxido de carbono asociada, 1990 – 2010



Fuente: (INECC, 2012)

En el año 2013, se alcanzó en México una relación de 1.0 entre el consumo nacional de energía y su producción. (Secretaría de Energía [SENER], 2014) (Figura 7). Esto se debe a la reducción en la producción energética, a un ritmo de 0.5 % desde 2005 y al crecimiento en el consumo, a una tasa de 2.3 % anual (SENER, 2014). De seguir la tendencia, el consumo próximamente deberá ser satisfecho con energía importada.


Figura 7. Intensidad energética


Fuente: (SENER, 2014)

Además, tres indicadores relacionados con la generación de emisiones asociada a la quema de combustibles fósiles, en el Cuadro 2, se muestran: a) un aumento en las emisiones que generan los mexicanos de 14 % en 19 años; b) el segundo indicador, que mide la eficiencia con la que se emiten emisiones por unidad de energía, sólo ha aumentado un 6 % y en el tercer indicador, que mide la relación entre las emisiones y el producto interno bruto, se observa una disminución de 6.8 %, asociada con la importación de alimentos básicos y productos industriales (Straffon, 2012).

Cuadro 2. Indicadores socioeconómicos para México

Indicador	1990	2009	$\Delta(1990 - 2009)$
Emisiones CO ₂ /per cápita/año (t CO ₂)	3.26	3.72	+14 %
Emisiones CO ₂ /TPES/año (t CO ₂ /Tjoule)	51.6	54.7	+6 %
Emisiones CO ₂ /PIB (kg CO ₂ /USD)	0.59	0.55	-6.8 %

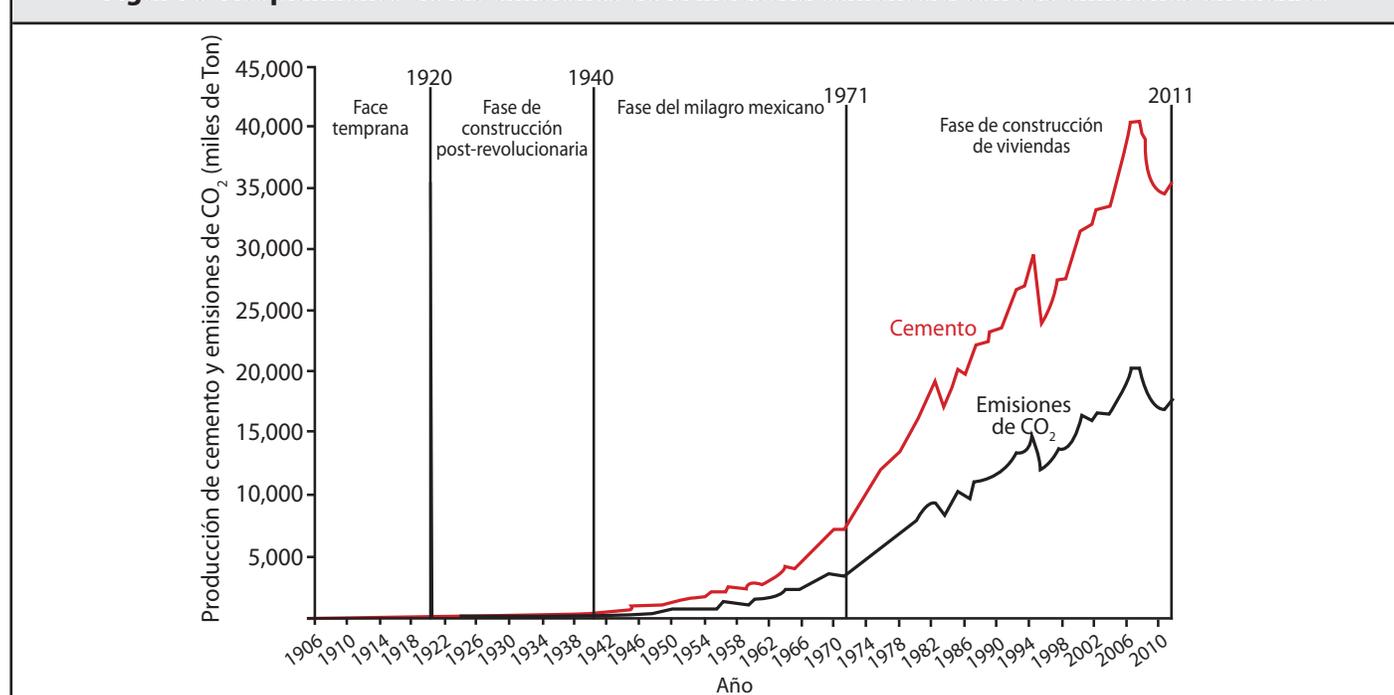
Fuente: (Straffon, 2012)

Durante el periodo de 1990 al 2010, la actividad del sector industrial en el país ha presentado un incremento en la intensidad en subsectores selectos de la industria ligera (manufactura) y la pesada (la industria cementera, la producción y consumo de hidrofluorocarbonados (HFC). La industria cementera en México tiene un papel importante en la generación de emisiones de gases de efecto invernadero -y contaminantes criterio- desde dos fuentes, la de combustión para la generación de energía y, la emisión en el proceso del *cracking*. Las emisiones de este sector crecen rápidamente debido al explosivo incremento de la construcción en el sector habitacional, que sigue usando cemento como unidad básica de cimentación y estructura. El acoplamiento

del crecimiento de la industria cementera con sus emisiones se observa en la Figura 8. Las emisiones de este sector, mostraron un incremento mayúsculo de 1970 a 2008, directamente asociado con la explosiva actividad de la industria de la construcción nacional, principalmente habitacional, en la actualidad el sector ha sufrido variaciones de 2008 a la fecha (Cámara Nacional de Cemento [CANACEM], 2015).

El aumento en la emisión en el subsector de producción y consumo de los compuestos HCFC, es resultado directo y fácil de la sustitución de los clorofluorocarbonos (CFC) en los sectores de refrigeración y aire acondicionado: De 2 mil toneladas métricas que se consumían en México en 1990, para 2007 se consumieron 25,897 Toneladas (Centro Mario Molina [CMM], 2008).

Figura 8. Acoplamiento de las emisiones de la industria cementera con sus emisiones en México



Fuente: Traducción de la imagen de Fry (2013)

La actividad del sector agrícola a escala nacional ha mostrado variaciones en su intensidad a lo largo del periodo, asociadas principalmente con factores económicos y sociales que inciden de manera directa en la inversión y el crecimiento. En México, este sector está enfocado a satisfacer los requerimientos nacionales, sin embargo, pese al crecimiento en la demanda de alimentos, la producción nacional ha crecido moderadamente desde 1990, lo cual ha propiciado la importación de una gran cantidad de productos agrícolas y ganaderos. Por ello, las emisiones generadas en el territorio nacional no han aumentado significativamente.

3. Mitigación de las emisiones en México

México ha comprometido una reducción en sus emisiones de gases de efecto invernadero en 30 % de la línea tendencial para 2020, condicionado a un apoyo apropiado tanto financiero como tecnológico, como parte de un acuerdo global. Para 2050, México también prometió reducir las emisiones en un 50 % de los valores del año 2000. La proyección tendencial a 2020 será de 884 MtCO₂-eq, de acuerdo con SEMARNAT (2009) (Figura 9), como se estableció en la Conferencia de Bangkok (2011) de la Naciones Unidas para el Cambio Climático¹. La importancia de México como parte del grupo de los países más emisores del No-

¹http://unfccc.int/files/meetings/ad_hoc_working_groups/lca/application/pdf/mexico_ws.pdf

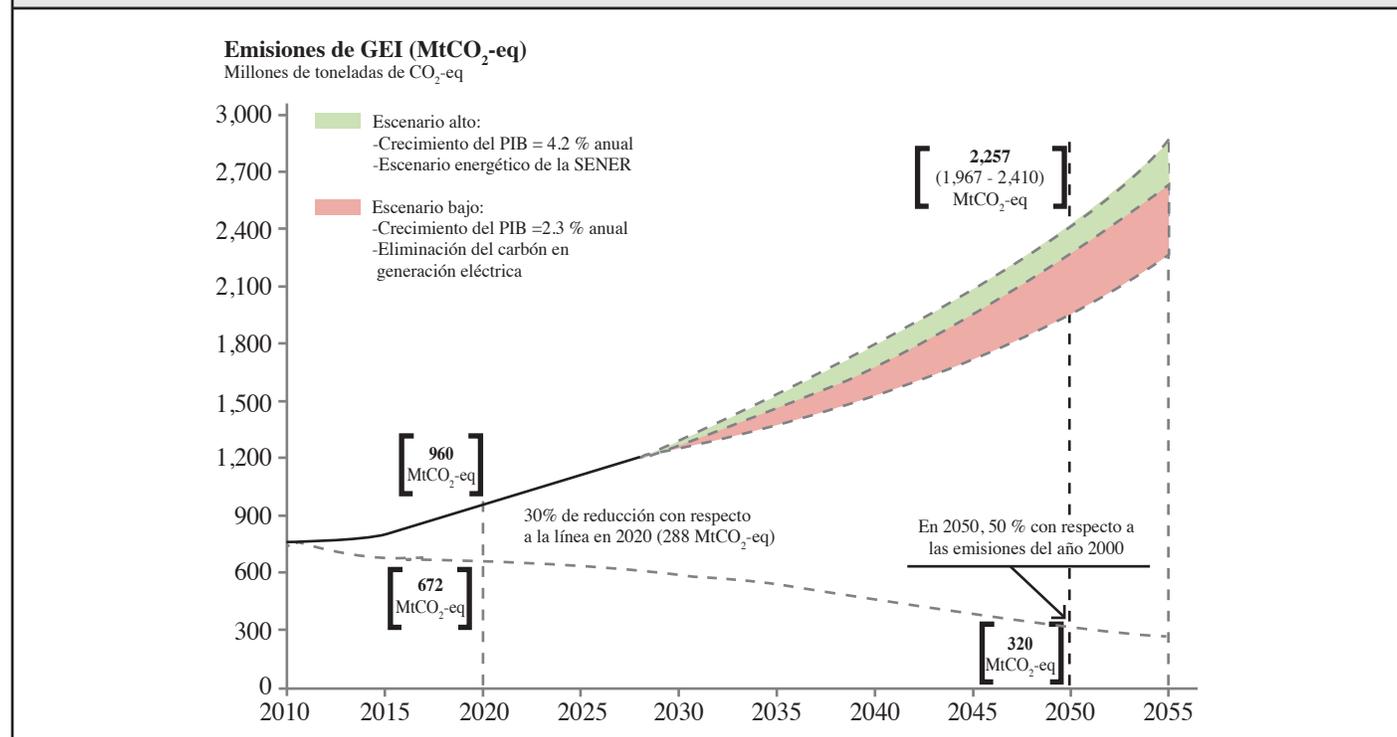
Anexo I (Brasil, China, Corea del Sur, India, Indonesia), se hace relevante cuando se consideran las acciones de mitigación, pues para 2020, este grupo será el responsable de más de dos tercios de las emisiones del No-Anexo I (Den Elzen et ál., 2013). Por supuesto, estas acciones están condicionadas y es altamente incierto si se llevarán a cabo las reducciones prometidas.

La Ley General de Cambio Climático, estableció la obligatoriedad de dar prioridad en la mitigación a las emisiones menos costosas que tengan mayores beneficios en la salud (LGCC, 2013); para reducir las emisiones, la Estrategia Nacional para el Cambio Climático (2013) establece cinco ejes estratégicos:

- M1- Acelerar la transición energética hacia fuentes de energía limpia.
- M2- Reducir la intensidad energética mediante esquemas de eficiencia y consumo responsable.
- M3- Transitar a modelos de ciudades sustentables con sistemas de movilidad, gestión integral de residuos y edificaciones de baja huella de carbono.
- M4- Impulsar mejores técnicas agropecuarias y forestales para incrementar y preservar los sumideros naturales de carbono.
- M5- Reducir las emisiones de los contaminantes climáticos de vida corta y propiciar co-beneficios de salud y bienestar.

En principio, la M1 considera la introducción de tecnologías que permitan la transición hacia fuentes renovables de energía. Esto, aunado a la promesa de una reforestación a escala nacional, constituyen los pilares de la política de mitigación de emisiones en México (Roelfsema et ál., 2014). Con respecto a la transición energética, el gobierno ha establecido que "...en 2018 el 34 % de la capacidad de generación de electricidad sea a partir de energías renovables y tecnologías limpias y con ello más de una cuarta parte de toda la energía eléctrica del país provenga de fuentes bajas en carbono" (UN Climate Summit, 2014). Sin embargo, la nueva reforma energética -promulgada el 18 de diciembre de 2013- privilegia la explotación de hidrocarburos con un gran impacto ambiental. (Ramos et ál., 2013).

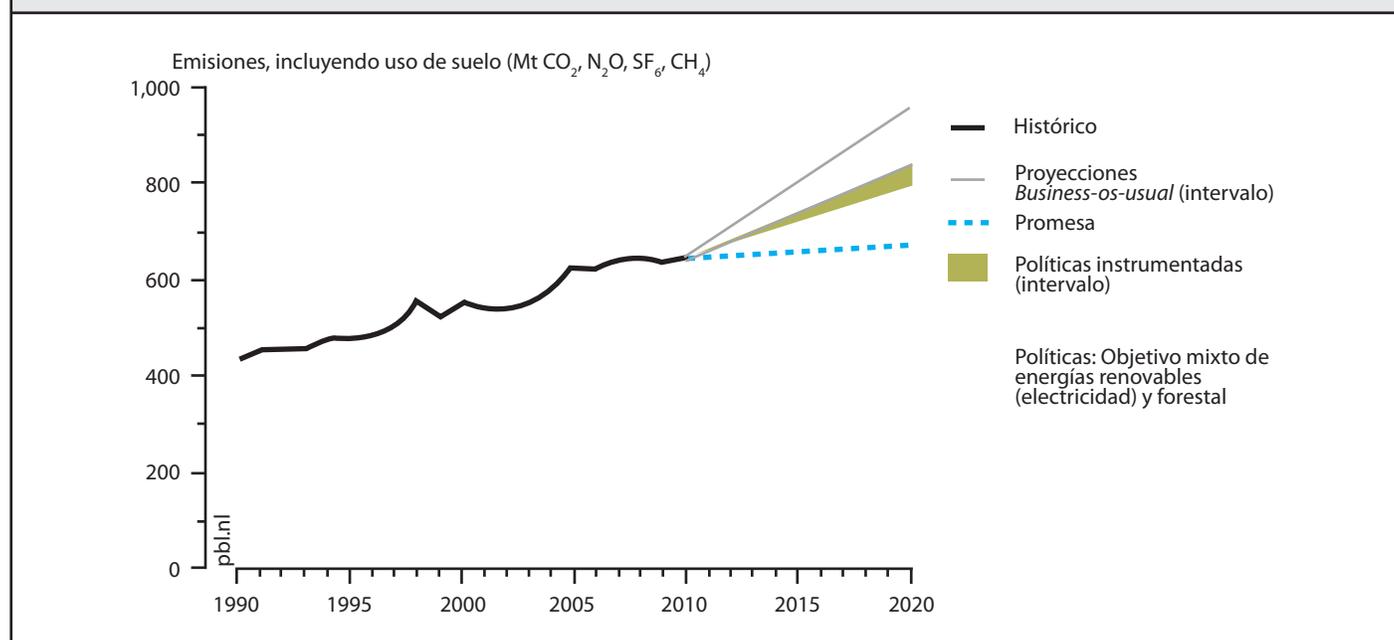
Figura 9. Las metas de reducción comprometidas por México ante la UNFCCC1



Fuente: (ENCC, 2014)

Las acciones de México de acuerdo con Roelfsema et ál., (2014), pueden generar una reducción de emisiones aunque se estima que no al grado que se ha comprometido, la Figura 10, muestra la diferencia entre la reducción de emisiones prometida por México para 2020 (línea discontinua en azul), respecto de las políticas de reducción planeadas (en verde). Se observa la diferencia de casi 200 Mt CO₂-eq anuales. Por su parte, la organización *Climate Action Tracker* (CAT) concluye en su estudio que la reducción de emisiones que se lograría si se instrumentaran al 100 % las acciones comprometidas por México, estaría aún por encima de los compromisos contraídos tanto para 2020 como para 2050 (CAT, 2015). Den Elzen et ál. (2013) concluyen, que para lograr el objetivo de no rebasar los 2 °C algunos países del No-Anexo 1, deberán reducir para 2020 sus emisiones en 50 % respecto de los niveles de 1990.

Figura 10. Compromisos de reducción expresados por México



Fuente: Traducción de la figura de Roelfsema et ál., 2013

El Gobierno de la República Mexicana, en el año 2015 ha expresado el compromiso incondicional de reducir 25 % de sus gases de efecto invernadero y contaminantes de vida corta respecto del escenario tendencial (BAU, siglas en inglés de *business-as-usual*) para el año 2030, que corresponde a 22 % de reducción de GEI y 51 % de carbono negro. Declara que el pico de emisiones se alcanzará para el 2026. Además, como parte de su *Intended Nationally Determined Contribution* (Contribución Nacional Prevista y Determinada) se comprometió a una reducción incondicional de 30 % en GEI y CCVC (contaminantes climáticos de vida corta), respecto de la tendencia para 2030; para ello, es necesario que se establezcan instrumentos técnicos y financieros sostenibles para el soporte de los programas climáticos.

El Programa Especial de Cambio Climático, PECC, (2013), estableció cinco objetivos de mitigación de las emisiones y adaptación y reducción de la vulnerabilidad. Los objetivos son:

- Objetivo 1: Reducir la vulnerabilidad de la población y sectores productivos e incrementar su resiliencia y la resistencia de la infraestructura estratégica.
- Objetivo 2: Conservar, restaurar y manejar sustentablemente los ecosistemas garantizando sus servicios ambientales para la mitigación y adaptación al cambio climático.



- Objetivo 3: Reducir las emisiones de los gases de efecto invernadero para transitar a una economía competitiva y un desarrollo bajo en emisiones.
- Objetivo 4: Reducir las emisiones de contaminantes climáticos de vida corta propiciando co-beneficios en la salud y bienestar.
- Objetivo 5: Consolidar la política nacional de cambio climático mediante instrumentos eficaces y en coordinación con entidades federativas, municipios, poder legislativo y sociedad.

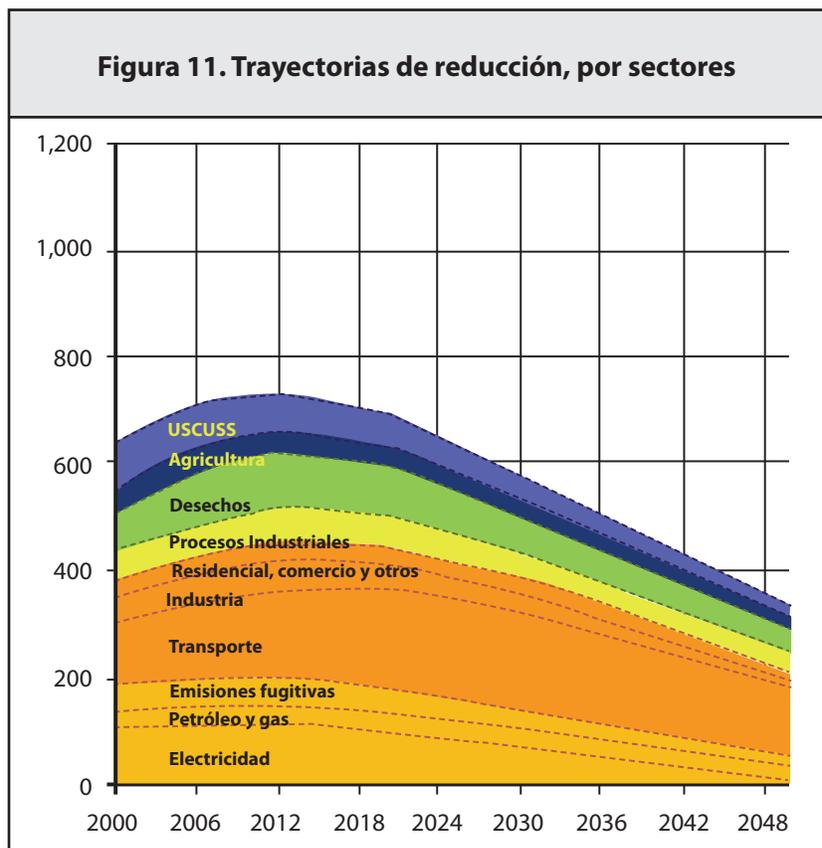
A cada uno de los objetivos se le asignaron estrategias y a estas acciones específicas, algunas de las cuales tienen asignados indicadores de avance. Estos objetivos fueron integrados -o extraídos- de los programas gubernamentales existentes. Por ejemplo, para promover la conservación de los bosques y los beneficios (en términos de cambio climático, el secuestro de carbono), el PECC integra las estrategias del programa de las Áreas Naturales Protegidas de 1996, el Programa de Desarrollo Forestal de 1997, el Programa de Plantaciones Comerciales, y el programa de Conservación y Restauración de los Bosques, así como el Programa ProÁrbol de 2007 (Sosa, 2014). La SEMARNAT ha publicado el primer documento de avances, entre los logros reportados en un año del PECC, se encuentran la reducción de 657 toneladas de carbono negro por la “reducción de las emisiones al evitar la quema de caña de azúcar mediante cosecha en verde” y la reducción de las emisiones de metano por el “incremento en la cobertura de tratamiento de las aguas municipales” en 36,960 toneladas de metano (SEMARNAT, 2014).

Por su parte, la generación de energía cuenta con sendas leyes para la transformación de la manera de generar energía en el país, de acuerdo con la cuadro siguiente:

Cuadro 3. Metas del sector energético y sus instrumentos normativos		
Ley	Meta	Año
Ley para el Aprovechamiento de las Energías Renovables	65 % máximo de generación con fuentes de energía fósiles.	2024
	60 % máximo de generación con fuentes de energía fósiles.	2035
	50 % máximo de generación con fuentes de energía fósiles.	2050
Ley General de Cambio Climático	35 % mínimo de generación con fuentes limpias.	2024
	Constitución de un sistema de incentivos que promueva y haga rentable la generación de electricidad a través de energías renovables como la eólica, la solar y la mini hidráulica.	2020
	Desarrollo y construcción de infraestructura en residuos sólidos que no emitan metano a la atmósfera en centros urbanos de más de cincuenta mil habitantes y, cuando sea viable, instrumentarán la tecnología para la generación de energía eléctrica a partir de las emisiones de metano.	2018

Fuente: (SENER, 2014)

Por último, mientras en el PECC 2009-2012 se estableció que el pico de emisiones nacionales se alcanzaría en la segunda década del siglo presente (ver Figura 11), la Contribución Nacional Prevista y Determinada de México (2015), pospone a 2026 este compromiso. Lo anterior pese a que la Ley General de Cambio Climático, promulgada en 2012, instituye un principio progresivo (Art. 61) que textualmente indica que “En ningún caso las revisiones y actualizaciones se harán en menoscabo de las metas, proyecciones y objetivos previamente planteados, o promoverán su reducción.”



Fuente: (PECC, 2009-2012)

4. Co-beneficios y compensaciones de la mitigación, incluyendo la contaminación del aire

México reconoció, desde los años de la década de 1970, la importancia de mejorar la calidad del aire por los efectos encontrados en diferentes grandes ciudades, principalmente la Ciudad de México (Programa Integral Contra la Contaminación Atmosférica [PICCA], Departamento del Distrito Federal [DDF], 1990). Algunos contaminantes de la calidad del aire en la troposfera son también elementos de efecto invernadero de forma que, al ser regulados por las medidas contra la contaminación ambiental en las ciudades (mediante instrumentos diagnóstico-regulatorios denominados genéricamente como “Proaire”) se contribuyó, en tiempo, a controlar el cambio climático. La aprobación de regulaciones para controlar la concentración de contaminantes criterio permitió con el tiempo reducir sus niveles en la atmósfera. Reducir las emisiones tiene incontables beneficios adicionales a la mejoría del cambio climático. La mitigación de las emisiones es factible. Seis ciudades de Estados Unidos y Europa han reducido sus emisiones en un promedio de 0.27 t CO₂-eq/per cápita por año (Kennedy, 2012). La mitigación de las emisiones de los contaminantes de efecto invernadero tiene, además de los beneficios directos en la estabilización de la temperatura global, algunos importantes co-beneficios como a la salud de las personas y animales, mejoría del paisaje, reducción de riesgos, mejoría de la calidad del aire, mejoría en la percepción de las personas acerca de su entorno, entre otros. (IPCC, 2014).

El valor de los impactos sociales por mejorar la eficiencia energética en medidas del transporte, los edificios y la industria se refleja en la reducción de riesgos de salud pública y contaminación que podría prevenir cerca de 100 000 muertes prematuras en Brasil, China, la Unión Europea, India, México y EE. UU. (UNEP, 2014). En México, Jazcilevich et ál. (2012), ponderaron los beneficios de la reducción de las emisiones en el sector transporte por la actualización de algunas unidades de transporte público, de basura y de carga a diésel en el Distrito Federal. En los tres escenarios evaluados se encontraron mejorías sustanciales en la admisión hospitalaria por enfermedades respiratorias. Cifuentes et ál. (2001), recopilaron los diferentes efectos de mejorar las emisiones

de gases de efecto invernadero en cuatro ciudades de América, encontrando co-beneficios en los efectos en la mortalidad, morbilidad, en las admisiones hospitalarias, en la reducción de la actividad diaria, entre otros. Por su parte, Crawford-Brown et ál. (2012), encontraron co-beneficios significativos de la adopción de una política de reducción de gases de efecto invernadero en las zonas urbanas del país. Las reducciones simuladas para 2050 son las que siguen: reducción de emisiones de CO₂ en 77 % lo que implica reducciones de emisiones para el caso base en 2050 de 20 % para dióxido de azufre (SO₂), 57 % para óxidos de nitrógeno (NOx), 36 % para monóxido de carbono (CO) y 50 % de los compuestos orgánicos volátiles (COV). Los principales resultados son los de la Cuadro 4.

Cuadro 4. Algunos co-beneficios de la asunción de políticas contra el cambio climático en zonas urbanas mexicanas. Los ahorros en dólares estadounidenses, promediados entre 2010 y 2050.

	Ozono	PM	Total
Muertes prematuras	466/año	2,252/año	2,718/año
Enfermedades no letales	27,385/año	389,489/año	416,874/año
Ahorros por los costos de la enfermedad	\$246 M/año	\$351 M/año	\$597 M/año

Fuente: (Crawford-Brown et ál., 2012)

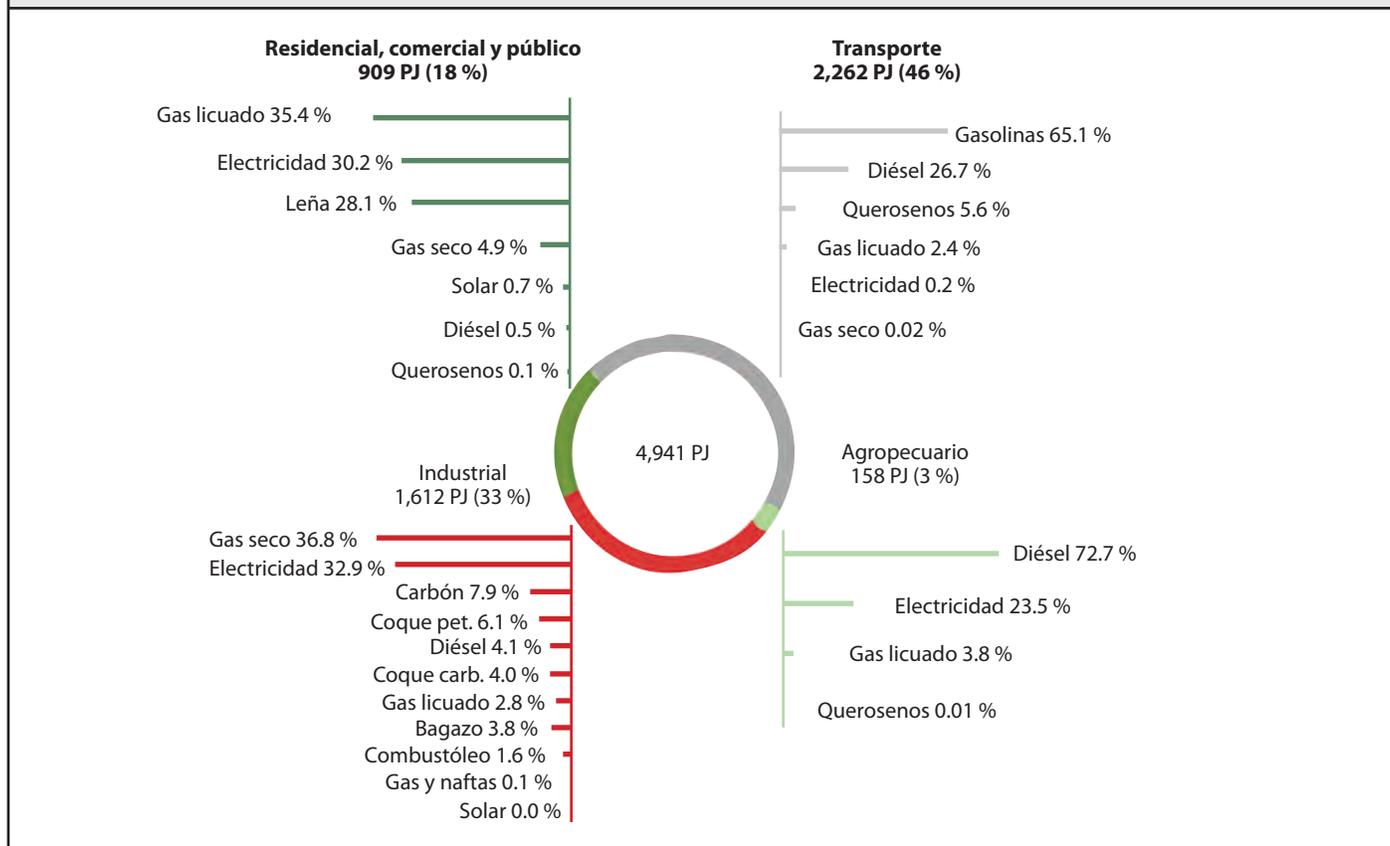
5. La perspectiva del sistema: vinculación de los sectores, las tecnologías y pautas de consumo

El desarrollo sustentable de los sistemas energéticos requiere la consideración obligada de las tres dimensiones sustentables: ambiental, económica y social (Sheinbaum et ál., 2012; Santoyo y Azapagic, 2014) y la institucional (Roldán et ál., 2014). Reducir las emisiones de gases y otros contaminantes de efecto invernadero dentro de un desarrollo sustentable permitirá crecer en un estilo de vida digno y cumplir con la Declaración del Milenio (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 2000), firmada por México que, entre otros, establece, como Objetivo 7, *Garantizar la sustentabilidad del medio ambiente*.

Las emisiones de GEI en 2010, estimadas a un horizonte de 100 años, fueron de 749 millones de toneladas de CO₂ equivalente (INECC, 2013). De continuar la tendencia para 2020 serán de mil millones de toneladas (ENCC, 2014). En estas estimaciones no se ha hecho el uso del potencial de calentamiento global a 20 años ni la contribución del carbono negro. Seguir con la tendencia actual de crecimiento de emisiones conducirá, para 2050, a una duplicación de GEI en México, pero además, exacerbará otros indicadores ambientales y de salud nacionales (Santoyo, Stamford y Azapagic, 2014).

El consumo energético en el país estuvo regulado en 2013 por la distribución del uso de los combustibles de acuerdo con la Figura 12. En el sector residencial tres fuentes de energía sobresalen, la quema de madera y leña con un 28 % del total del sector, el gas licuado y la electricidad. El uso de gasolina, por su parte, es mayoría en el sector transporte que es también el más consumidor de combustible.

Aunque la biomasa es la principal fuente de alimento, se usa también para calentamiento y cocción. Los países en desarrollo usan esta fuente energética extensivamente en las zonas rurales (Chum et ál., 2011 y sus referencias). La biomasa como fuente de energía, se clasifica en dos grupos, la de baja eficiencia y la bioenergía moderna de alta eficiencia que puede producir combustibles como el etanol o el biodiésel (Delgado et ál., 2013). García et ál. (2015), han estimado que para 2035 las opciones bioenergéticas sustentables propuestas podrían reemplazar el 16 % de los combustibles fósiles y mitigar 17 % las emisiones de gases de efecto invernadero tanto en las cocinas rurales (con bajos costos de mitigación, Berrueta et ál., 2015) como en la generación de bioenergía de forma industrial.

Figura 12. Consumo energético por sectores en 2013

Fuente: (SENER, 2014)

Los países en desarrollo son, en general, los más vulnerables a los efectos del cambio climático (IPCC, 2012; IPCC, 2014). La mitigación es una oportunidad de amortiguar dichos efectos. Sin embargo, la mitigación no es su prioridad debido a que predominan otros intereses como el crecimiento económico (Bansha y Akbar, 2013; Sosa, 2013). Por ello, se alienta a los países en desarrollo como México, aprovechar y explotar el potencial de los recursos propios en las energías renovables (Aleman, 2014; García et ál., 2015) como la solar (Rivas et ál., 2013; Santillán et ál., 2013; Valdés et ál., 2014; Matsumoto et ál., 2014; Mundo et ál., 2014; Hernández, et ál. 2015), la eólica, la biomasa y demás (Foroughbakhch et ál., 2006; García-Frapolli et ál., 2010; 2013; Pine et ál., 2011; Aldana et ál., 2014), evitar la dependencia con otros países para el abasto de combustibles fósiles. México tiene un gran potencial en energías renovables. De ellas, en la actualidad la hidroeléctrica es la que tiene la mayor capacidad instalada con 11,603 MW mientras que la geotérmica tiene instalados 958 MW (Aleman et ál., 2014).

El desarrollo tecnológico en México en materia de generación de energía es incipiente y débil. La Comisión Federal de Electricidad (CFE) con el Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE), trabajan en tres rubros de innovación tecnológica (SENER, 2014), a saber:

1. Técnicas de canal parabólico, que permiten concentrar la radiación solar para aportar calor a distintas operaciones de los procesos industriales.
2. Generación de energía eléctrica a partir de excretas de animales y otros residuos orgánicos.
3. Desarrollo de reactores o biogásificadores para la recuperación de metano para la generación eléctrica a partir de biomasa de nopal y bagazo de caña.



Es claro es que el desarrollo sustentable y los objetivos de reducción de cambio climático son complementarios y sinérgicos. Los resultados de once escenarios desarrollados para 2050 aplicados al sector electricidad demuestran que el escenario BAU, basado primordialmente en combustibles fósiles, no es sustentable tanto por los altos costos, como por los impactos al medio ambiente del uso de dichos combustibles. Aunque los escenarios de generación energética con diferentes tipos de energía renovable pueden ser costosos en inversión inicial, la variabilidad, el tipo de combustible y los impactos ambientales y sociales siempre son más benignos que la economía basada en combustibles fósiles (Santoyo y Azapagic, 2014). Un análisis de Roldán et ál. (2014), mostró que del portafolio energético disponible para México, el de la generación eólica se perfila como el más sostenible.

Conclusiones

El inventario de emisiones de México se ha desarrollado hasta un cierto nivel de confianza y es uno de los pocos a escala mundial que incorpora la estimación de las emisiones de carbono negro. La promoción de los programas estatales de acción climática, fortalecerán el inventario de emisiones nacionales a través de sus inventarios *bottom-up*.

Se realiza investigación en fuentes alternas de energía como la biomasa, la solar y la eólica. Sin embargo, en la práctica persisten los modelos tradicionales de generación y consumo, siendo el petróleo y sus derivados los combustibles más extendidos en el país junto con la quema de leña en las cocinas rurales.

Las acciones de México pueden producir una reducción de emisiones, aunque varios autores estiman que no al grado que se ha comprometido. No hay metas claras que tengan indicadores de evaluación y seguimiento; además, diferentes instrumentos de política pública suelen ser inconsistentes en las metas de reducción, principalmente a mediano y largo plazos. Se requerirán acciones claras con metas precisas, el seguimiento y evaluación de los resultados y, definitivamente, debe incorporarse el sector privado en la asignación de recursos para la mitigación.

Las emisiones de contaminantes de efecto invernadero en México crecen a la par del crecimiento económico. México ha comprometido ante las Naciones Unidas una serie de metas aspiracionales (condicionadas e incondicionales), para mitigar el cambio climático, aunque muchas de ellas están basadas en los programas gubernamentales existentes. La situación política de México, la caída de los precios del petróleo, la reforma energética, entre otros, no propician un ambiente favorable para la inversión ni la educación en materia de mitigación del cambio climático; por el contrario, el gobierno mexicano abre sus recursos naturales a la explotación de los combustibles fósiles, en lugar de propiciar la apertura de proyectos de las abundantes energías renovables del país y que abrirían la oportunidad de brindar una fuente de recursos a las comunidades originarias.

Referencias

- Aldana, H., Lozano, F. & Acevedo J.** (2014). Evaluating the potential for producing energy from agricultural residues in Mexico using MILP optimization. *Biomass and Bioenergy*, 67, 372-389.
- Alemán, G., Casiano, V., Cárdenas, D., Díaz, R., Scarlat, N., Mahlke, J., Dallemand, J. & Parra, R.** (2014). Renewable energy research progress in Mexico: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 32, 140-153.
- Banco Mundial [BM].** (2009). *Low Carbon Development for Mexico*. Washington: World Bank (MEDEC).
- Bansha, H., & Akbar, S.** (2013). Greenhouse gas emission reduction options for cities: Finding the “Coincidence of Agendas” between local priorities and climate change mitigation objectives. *Habitat International*, 38, 100-105.
- Berrueta, V., Serrano, M., García, C. & Astier, M.** (2015). Promoting local development of rural communities and mitigating climate change: the case of Mexico’s *Patsari* improved cookstove project. *Climatic Change* DOI 10.1007/s10584-015-1523-y.
- Cámara Nacional del Cemento [CANACEM].** (2015). *Producción y consumo*. Cámara Nacional del Cemento. México Disponible en: <http://canacem.org.mx/produccion-y-consumo/>
- Climate Action Tracker [CAT].** (2015). Climate Action tracker México. Disponible en: <http://climateactiontracker.org/countries/mexico.html>
- Chum, H., Faaij, A., Moreira, J., Berndes, G., Dhamija, P., Dong, H., (...), Pingoud, K.** (2011). *Bioenergy*. En *IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation*. In: O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, K. Seyboth, P. Matschoss, S. Kadner, (...) C. von Stechow (Eds.). United Kingdom: Cambridge University Press.
- Cifuentes, L., Borja, V., Goveia, N., Thurston, G. & Davies, D.** (2000). Assessing the health benefits of urban air pollution reductions associated with climate change mitigation (2000–2020) Santiago: *Environ Health Perspect*, 109 (3) 419-425.
- Centro Mario Molina [CMM].** (2008). *Evaluación de los usos de HCFCs en México en el sector de refrigeración y aire acondicionado*, México: Centro Mario Molina.. Disponible en: http://centromariomolina.org/wp-content/uploads/2012/05/4_Evaluaci%C3%B3nUsosHCFCsM%C3%A9xico_fin.pdf
- Crawford, D., Barker, T., Anger, A. & Dessens, O.** (2012). Ozone and PM related health co-benefits of climate changes in Mexico. *Environmental Science and Policy*, 17, 33-40.
- Cruz, X.** (2014). An approach to a black carbon emission inventory for Mexico by two methods. *Science of the Total Environment*, 479-480, 181-188
- Cruz, X., Villers, L. & Gay, C.** (2014). Black carbon and organic carbon emissions from wildfires in Mexico *Atmosfera*, 27(2) 165 – 172.
- ClimateWorks Network [CWF].** (2010). *Low-carbon growth plans: A sectoral approach to climate protection*. ClimateWorks Network Knowledge Series, 15 pp. Disponible en: http://www.climateworks.org/imo/media/doc/ClimateWorks_KS_Issue1.pdf
- Departamento de Distrito Federal [DDF] y Programa Integral Contra la Contaminación Atmosférica [PICCA].** (1990). Programa integral contra la contaminación atmosférica Un compromiso común. Departamento del Distrito Federal, México. 78 pp. Disponible en: http://www.semarnat.gob.mx/archivosanteriores/temas/gestionambiental/calidaddelaire/Documents/Calidad%20del%20aire/Proaires/Proaires_Anteriores/1_Programa%20Integral%20Contra%20la%20Contaminacion%20Atmosferica%201990.pdf
- Delgado, G., de Diego, L., Campos, L. y Castillo, E.** (2013). **Biocombustibles en México cambio climático, medio ambiente y energía**. Colección Debate y Reflexión, CEIICH, PINCC, UNAM. 174 pp.
- Den Elzen, M., Hof, A. & Roelfsma, M.** (2013). Analysing the greenhouse gas emission reductions of the mitigation action plans by non-Annex I countries by 2020. *Energy Policy*, 56, 633-643.
- Emission Database for Global Atmospheric Research [EDGAR]** (2015) <http://edgar.jrc.ec.europa.eu/>
- Estrategia Nacional de Cambio Climático [ENCC].** (2013). *Estrategia Nacional de Cambio Climático. Visión 10–20–40*. México: Gobierno de la República.
- Fry, M.** (2013) Cement, carbon dioxide, and the ‘necessity’ narrative: A case study of Mexico. *Geoforum*, 49, 127-138.
- García, C., Riegelhaupt, E., Ghilardi, A., Skutsch, M., Islas, J., Manzini, F. & Masera, O.** (2015). Sustainable bioenergy options for Mexico: GHG mitigation and costs. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 43, 545-552.
- García, E., Schilman, A., Berrueta, V., Riojas, H., Edwards, R., Johnson, M., (...), Masera, O.** (2010). Beyond fuelwood savings: Valuing the economic benefits of introducing improved biomass cookstoves in the Purépecha region of Mexico. *Ecological Economics*, 69 (12) 2598-2605.
- Foroughbakhch, R., Alvarado, M., Hernández, J., Rocha, A., Guzmán, M. & Treviño, E.** (2006). Establishment, growth and biomass production of 10 tree woody species introduced for reforestation and ecological restoration in northeastern Mexico. *Forest Ecology and Management* 235 (1–3), 194-201.

- García, E., Schilman, A., Berrueta, V., Riojas, H., Edwards, R., Johnson, M., (...)** Masera, O. (2013). Estimating the spatial distribution of woody biomass suitable for charcoal making from remote sensing and geostatistics in central Mexico. *Energy for Sustainable Development*, 17(2), 177-188
- Godínez, J.** (2013). *Propuesta de mejora del nivel metodológico de estimación de las emisiones generadas por la subcategoría de Consumo de halocarbonos del Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero*, México: Reporte técnico presentado por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo para el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, 41 pp.
- Harvey, D.** (1993). A guide to global warming potentials (GWPs). *Energy Policy*, 21 (1), 24-34.
- Hernández, Q., Rodríguez, E., R. Saldaña, R., Fernández, A. & Manzano, F.** (2015). Solar energy resource assessment in Mexican states along the Gulf of Mexico. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 43, 216-238.
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua [IMTA].** (2012). *Estudio de políticas, medidas e instrumentos para la mitigación de gases de efecto invernadero en el sector aguas residuales en México* TC1241.3
- Instituto Nacional de Ecología [INE].** (2006). *México Tercera Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático*. México D.F.: Instituto Nacional de Ecología y Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Disponible en: <http://unfccc.int/resource/docs/natc/mexnc3.pdf>
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático [INECC].** (2012). *México Quinta Comunicación Nacional ante la Comisión Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático*. México: INECC-SEMARNAT, México. 440 pp.
- INECC** (2012a). *Actualización del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero 1990-2010, para el sector de Desechos*.
- INECC** (2013). *Inventario Nacional de emisiones de GEI 1990- 2010*. Distrito Federal: Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. Disponible en: <http://www.inecc.gob.mx/cpcc-lineas/1165-inem-1990-2010>
- Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC].** (1990). *Climate Change The IPCC Scientific Assessment* En J. Houghton, G. Jenkins & J. Ephraums (Eds.), World Meteorological Organization United Nations Environmental Programme Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press.
- IPCC** (1997a). *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories The Reporting Instructions (Volume 1)*, Ginebra: Intergovernmental Panel for Climate Change y World Meteorological Organization. Disponible en: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs1.html>
- IPCC** (1997b). *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories The Workbook (Volume 2)* Intergovernmental Panel for Climate Change y World Meteorological Organization, Ginebra Disponible en: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs1.html>
- IPCC** (1997c). *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories The greenhouse gas inventory Reference Manual (Volume 3)*. Ginebra: Intergovernmental Panel for Climate Change & World Meteorological Organization. Disponible en: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs1.html>
- IPCC** (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Summary for Policymakers*. En T. Stocker,, D. Qin, G. K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, (...) P. Midgley (Eds.), *Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. United Kingdom & New York: Cambridge University Press.
- IPCC** (2014). *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change*. En O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, (...) J.C. Minx (Eds.), *Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, & New York: Cambridge University Press.
- Johnson, M., Edwards, R., Alatorre, C. & Masera, O.** (2008). In-field greenhouse gas emissions from cookstoves in rural Mexican households. *Atmospheric Environment*, 42 (6), 1206-1222
- Jazcilevich, A., Cruz, X., Rojas, A., Ruiz, L., Tripp M. y García J.** (2012). *Programa de acción para reducir las emisiones a diesel en la Ciudad de México. Informe técnico no CPSG/0109A/2012 para la Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal, México* DF. Disponible en: https://www.academia.edu/4242789/Programa_de_accion_para_reducir_las_emisiones_a_diesel_en_la_Ciudad_de_Mexico
- Kennedy, C., Demoullin, S. & Mohareb, E.** (2012) Cities reducing their greenhouse gas emissions. *Energy Policy*, 49, 774-777.
- Ley General de Cambio Climático [LGCC].** (2012). México: Diario Oficial de la Federación, Gobierno de la República.
- Lund, M., Berntsen, T., Heyes, C., Klimont, Z. & Samset, B.** (2014). Global and regional climate impacts of black carbon and co-emitted species from the on-road diesel sector. *Atmospheric Environment*, 98, 50-58.
- Matsumoto, Y., Valdés, M., Urbano, J., Kobayashi, T., López, G. & Peña, R.** (2014). Global Solar Irradiation in North Mexico City and Some Comparisons with the South. *Energy Procedia*, 57, 1179-1188.
- Mundo, J., de Celis B., Hernández, J. & De Celis, B.** (2014). An overview of solar photovoltaic energy in Mexico and Germany. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 31, 639-649.
- National Oceanic and Atmospheric Administration [NOAA].** (2015). Disponible en: <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/>

- Oliver J.**, Janssens, G., Muntean, M. & Peters, J. (2013). *Trends in global CO2 emissions; 2013 Report*, The Hague: PBL Netherlands Environmental Assessment Agency; Ispra: Joint Research Centre. http://edgar.jrc.ec.europa.eu/news_docs/pbl-2013-trends-in-global-co2-emissions-2013-report-1148.pdf
- Ordóñez, J.** y Hernández, T. (2005). *Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero 1990-2002, Sector Agricultura*. México D.F: Instituto Nacional de Ecología / Fundación México-Estados Unidos para la Ciencia, A.C.
- Organización de las Naciones Unidas [ONU]**. (2000). *Objetivos del Desarrollo del Milenio*. Organización de las Naciones Unidas. Disponible en: http://www.onu.org.mx/objetivos_de_desarrollo_del_milenio.html
- Orta, A.** (2011). *Mexico: Cement Industry Overview 2011*. U.S. Commercial Service. United States of America Department of Commerce.
- Programa Especial de Cambio Climático [PECC]**. (2014). *Programa Especial de Cambio Climático 2014 – 2018 (PECC)*. México: Gobierno de la República y Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 151 pp.
- Pine, K.**, Edwards, R., Masera, O., Schilman, A., Marrón, A. & Riojas H. (2011). Adoption and use of improved biomass stoves in rural Mexico. *Energy for Sustainable Development*, 15(2), 176-183.
- Ramanathan, V.** & Carmichael, G. (2008). Global and regional climate changes due to black carbon. *Nature Geoscience*, 1, 221–227.
- Ramos, L.**, Mugica, V., Hernández, A., Torres, M. & Figueroa, J. (2013). *Assessment of climate change mitigation actions in Mexico*. 106th Air and Waste Management Association Annual Conference and Exhibition, ACE 2013; Chicago, IL; United States, 25 June 2013 through 28 June 2013; Proceedings of the Air and Waste Management Association's Annual Conference and Exhibition, AWMA 4, 2426-2436.
- Rivas, D.**, Saleme, S., Ortega, R., Chalé, F. & Caballero, F. (2013). A climatological estimate of incident solar energy in Tamaulipas, northeastern Mexico. *Renewable Energy*, 60, 293-301.
- Roldán, M.**, Martínez, M. & Peña, R. (2014). Scenarios for a hierarchical assessment of the global sustainability of electric power plants in Mexico. *Renewable and sustainable energy reviews*, 33, 154-160.
- Roelfsema, M.**, Den Elzen, M., Höhne, N., Hof, F., Brau, N., Fekete, H., (...) Larkin, J. (2014). Are major economies on track to achieve their pledges for 2020? An assessment of domestic climate and energy policies. *Energy Policy*, 67, 781-796
- Takahama, S.**, Russell, L., Shores, C.A., Marr, L.C., Zheng, J., Levy, M., (...) & Molina, L. (2014). Diesel vehicle and urban burning contributions to black carbon concentrations and size distributions in Tijuana, Mexico, during the Cal-Mex 2010 campaign. *Atmospheric Environment*, 88, 341-352.
- Santillán, N.**, García, O., Ojeda, S., Velázquez, N., Quintero, M. & Schorr, M. (2013). Greenhouse gases mitigation against climate change: United States-Mexico border study case. *Atmósfera*, 26 (4), 499-507.
- Santoyo, E.** & Azapagic, A. (2014). Sustainability assessment of energy systems: integrating environmental, economic and social aspects. *Journal of Cleaner Production*, 80, 119-138.
- Santoyo, E.**, Stamford, L. & Azapagic, A. (2014). Environmental implications of decarbonising electricity supply in large economies: The case of Mexico. *Energy Conversion and Management*, 85, 272-291.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT]**. (2009). *Programa Especial de Cambio Climático 2009 – 2012*. México: Gobierno de México. Disponible en: <http://www.cakex.org/sites/default/files/Special%20Climate%20Change%20Program%202009-2012%20Mexico.pdf>
- SEMARNAT** (2014). *Programa especial de cambio climático. Logros 2014*. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 39 pp. http://www.semarnat.gob.mx/sites/default/files/documentos/transparencia/logros_2014_pecc.pdf
- SEMARNAT** (2015). *Intended nationally determined contribution*. Disponible en: <http://www4.unfccc.int/submissions/INDC/Published%20Documents/Mexico/1/MEXICO%20INDC%2003.30.2015.pdf>
- Secretaría de Energía [SENER]**. (2014). *Balance Nacional de Energía 2013*. Secretaría de Energía, México. http://www.sener.gob.mx/res/PE_y_DT/pub/2013/Balance_2013.pdf
- Sheinbaum, C.**, Ruiz, B. & Rodríguez, V. (2012). Mexican energy policy and sustainability indicators. *Energy policy*, 46, 278-283.
- Shores, C.**, Klapmeyer, M., Quadros, M. & Marr, L. (2013). Sources and transport of black carbon at the California-Mexico border. *Atmospheric Environment*, 70, 490-499.
- Sosa, F.** (2014). From federal to city mitigation and adaptation: climate change policy in Mexico City *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*. 19 (7), pp 969-996
- Straffon, A.** (2013). *Análisis de la política pública nacional mexicana sobre cambio climático 2000-2012*. Tesis de maestría en Ciencias de la tierra, Centro de Ciencias de la Atmósfera, Universidad Nacional Autónoma de México, México DF. 138 pp.
- Takahama, S.**, Russell, L., Shores, C., Marr, L., Zheng, J., Levy, M., (...) Molina, L. (2014). Diesel vehicle and urban burning contributions to black carbon concentrations and size distributions in Tijuana, Mexico, during the Cal-Mex 2010 campaign. *Atmospheric Environment*, 88, 341-352.



United Nations [UN], Climate Summit. (2014).. *Mexico statement*, 23 de septiembre de 2014, Nueva York:

Disponible en: <https://papersmart.unmeetings.org/secretariat/eosg/un-climate-summit-2014/statements/>

United Nations Environment Programme [UNEP]. (2014). *The Emissions Gap Report 2014*. Nairobi: United Nations Environment Programme.

Disponible en : http://www.unep.org/publications/ebooks/emissionsgapreport2014/portals/50268/pdf/EGR2014_LOWRES.pdf

Valdés, M., Riveros, D., Arancibia, C. & Bonifaz, R. (2014). The solar Resource Assessment in Mexico: State of the Art. *Energy Procedia*, 57, 1299-1308.

Vargas, R. (2015). La Reforma Energética: a 20 años del TLCAN. *Problemas del Desarrollo*, 180 (46), 103-127.

Zusman, E., Srinivasan, A. & Dhakal, S. (2012). *Low carbon transport in Asia: strategies for optimizing co-benefits*. Earthscan. Strategies, London; New York; Institute for Global Environmental [sl.], (ISBN: 9781844079148 1844079147 9781844079155 1844079155 9780203153833 0203153839).



Capítulo 3

SISTEMAS DE ENERGÍA

Autores líderes:

Carlos Amador Bedolla⁹, Ramón Muñoz Ledo Carranza⁴⁴

⁹UNAM Facultad de Química,

⁴⁴Instituto de Investigaciones Eléctricas.

Palabras Clave: Sistemas de energía, gases de efecto invernadero, mitigación, energía, combustibles, carbón, petróleo, gas, biomasa, biogás.

Resumen

Los sistemas de energía son la suma de todas las acciones empleadas para proporcionar energía final a los sectores consumidores: extracción, conversión, almacenamiento, transmisión y distribución. La contribución de los sistemas de energía a las emisiones antropogénicas de Gases de Efecto Invernadero (GEI) en México es de 39 % principalmente debida a la conversión, almacenamiento, transmisión y distribución de la energía eléctrica y, en menor medida, a la extracción de combustibles fósiles.

México equilibra como ningún otro país su empleo de energía y su actividad económica per cápita con el promedio mundial. De tal manera que, en los últimos años, las actividades mexicanas ejemplifican a menor escala las actividades del total de la población mundial. Los cambios previstos para el futuro en los sistemas de energía en México –principalmente a través de las nuevas políticas energéticas, que fomentan tanto el desarrollo de fuentes sustentables como la continuación de la extracción de combustibles fósiles–, constituyen una posible imagen del futuro mundial.

En particular, las acciones mexicanas que influyen en la mitigación –el uso de energías renovables y biomasa, y la participación en esquemas de intercambio de emisiones de gases de efecto invernadero– constituyen una indicación relevante de los efectos de los sistemas de energía en la mitigación.



Introducción

Los sistemas de energía se definen como la suma de todas las acciones empleadas para proporcionar energía final a los sectores consumidores: extracción, conversión, almacenamiento, transmisión y distribución (Panel Intergubernamental de Cambio Climático [IPCC], 2014). La contribución de los sistemas de energía a las emisiones antropogénicas de GEI se estima, a nivel mundial, en 35 %. El inventario mexicano de emisiones reporta que la contribución de este sector en México es de 39 % (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático [INECC], 2013)¹ en sus principales contribuciones: la conversión, almacenamiento, transmisión y distribución a través de la energía eléctrica y la extracción de combustibles fósiles –petróleo, gas natural y carbón–. Así, en este capítulo se atienden principalmente estas dos contribuciones –el sector transporte, fuente comparable en la generación de GEI, se trata específicamente en el capítulo 4 de este volumen–. Adicionalmente mencionamos dos aspectos de las acciones energéticas actuales que son importantes aspectos de mitigación para el futuro: las energías renovables y la generación privada de energía con biocombustibles, principalmente en la combustión doméstica de leña para cocción.

1. Nuevas políticas energéticas mexicanas

El consumo de energía primaria en México ha mantenido un crecimiento aproximadamente constante, con un crecimiento promedio cercano a 200 PJ/año durante los últimos 40 años (Sistema de Información Energética, Secretaría de Energía [SIE_SENER], 2015). La comparación de esta evolución del consumo con la correspondiente a la del resto de la humanidad es difícil, toda vez que esta última varía considerablemente de país a país. Sin embargo, la comparación con los promedios mundiales resulta muy ilustrativa. Consideremos que en los últimos años, el consumo de energía primaria en México se ha mantenido en aproximadamente 1.5 % del consumo de energía primaria mundial (British Petroleum [BP], 2014), y que la población nacional –actualmente cercana a 120 millones– ha representado alrededor del 1.6 % de la población mundial (Population Reference Bureau [PRB], 2014).

La actividad económica de esta nación contribuye con 1.8 % de la actividad económica mundial (The World Bank Group [WB], 2013). En México, la población, el consumo de energía y la actividad económica contribuyen con porcentajes mundiales casi idénticos: 1.6 %, 1.5 % y 1.8 %, respectivamente. La comparación con otros países extremos ilustra la peculiaridad mexicana: la población de India cubre 17.9 % del total mundial, pero su consumo de energía es sólo 4.7 % y su actividad económica 6.7 % de los totales; por otro lado, EE.UU. proporciona 4.4 % de la población mundial, consume 17.8 % de la energía y contribuye con 16.7 % de la actividad económica. Así México es el ejemplo ideal de la relación mundial promedio entre la economía y el consumo de energía primaria. Lo que hace el país ha representado el promedio de lo que hace el mundo en ambas medidas;² y el hecho de que sus políticas energéticas incluyan tanto la intensificación de la tecnología de extracción de combustibles fósiles como el empleo de fuentes renovables –principales políticas energéticas a nivel mundial–, permite suponer que esta relación se mantendrá en el futuro.

Por esto es particularmente importante la modificación reciente de las políticas energéticas mexicanas, toda vez que se orientan directamente en el sentido de mantener el empleo de combustibles fósiles –petróleo y gas natural– como fuente mayoritaria de generación de energía mediante la intensificación de la tecnología correspondiente a su producción. La producción mexicana de combustibles fósiles se ha mantenido en alrededor del equivalente a 3 millones de barriles de petróleo (MMbd) diario³ (Petróleos Mexicanos [PEMEX], 2015); pero mantener esta producción ante la reducción de los recursos disponibles es cada vez más difícil, se requiere una intensificación de la tecnología empleada para lograrlo. Una medida posible de esta compleja intensificación la proporciona el concepto de EROI –Energy Return on Investment, energía obtenida en relación con la empleada–. La intensificación

¹ 22.9 % debido a la generación eléctrica y 16.5 % debido a emisiones fugitivas tanto de petróleo y gas natural como de minas de carbón.

² Los números correspondientes a los países del BRICS —en orden de porcentaje de la población, porcentaje de la energía primaria consumida y porcentaje de la actividad económica— son como siguen: Brasil 2.8 %, 2.2 % y 2.9 %, Rusia 2.0 %, 5.5 % y 3.3 %, India 17.9 %, 4.7 % y 6.7 %, China 18.8 %, 22.4 % y 15.7 %, Sudáfrica 0.7 %, 1.0 % y 0.6 %.

³ Alrededor de 2500 miles de barriles diarios (Mbd) de crudo y cerca de 400 Mbd de líquidos del gas.

de la tecnología implica disminuciones de EROI considerables (Murphy, 2014) -el promedio mundial es de 17, el de aguas ultraprofundas y arenas bituminosas es menor de 10-. La decisión mexicana por intensificar la tecnología -para permitir la producción en aguas profundas, y la explotación de arenas bituminosas- es la acción nacional, representante de la acción mundial, por mantener la producción de energías fósiles con los efectos correspondientes sobre la generación de gases de efecto invernadero.

Las expectativas gubernamentales sobre la producción de petróleo con base en esta intensificación de la tecnología significan un incremento en la contribución nacional a la producción de GEI: la Prospectiva de Petróleo Crudo y Petrolíferos de la Secretaría de Energía (Secretaría de Energía [SENER], 2014a) llega a una producción mayor a 3 millones de barriles de crudo diario en 2020. Desde luego no es posible predecir con alguna probabilidad confiable el futuro de esa producción y lo único que se puede asegurar es que la planeación gubernamental en el área pronostica un aumento de la contribución nacional a la generación de GEI.⁴

Adicionalmente, un reciente estudio de los recursos fósiles que deben mantenerse sin ser empleados para limitar el calentamiento global por debajo de 2 °C (McGlade y Ekins, 2015), basado en la disponibilidad y el tipo de recursos existentes -por ejemplo la comparación entre petróleo convencional y petróleo no convencional- concluye que sólo una mínima fracción del petróleo no convencional puede ser extraído, mientras una fracción mayor de gas no convencional puede ser usada siempre y cuando se asocie con una reducción en el empleo de carbón en la producción de energía eléctrica y en los sectores industriales. De nuevo, la extracción de combustibles fósiles no convencionales que promueven las reformas mexicanas contribuye al aumento de la generación de GEI, comprometiendo la mitigación.

Aunque dos argumentos apuntan a disminuir la probabilidad de que los combustibles no convencionales sean explotados en la magnitud predicha. Uno de ellos dice que la experiencia de EE.UU., sin duda la nación que más ha avanzado en explotar estos recursos, es que los pronósticos de la magnitud de los recursos son consistentemente más altos que la producción real posible hasta la fecha, debido a diversas situaciones técnicas (Inman, 2014; Patzek, Male y Marder, 2013). Por otro lado, estimaciones económicas de la producción de combustibles fósiles provenientes de esquistos sugieren que, en caso de que los volúmenes de producción estimados se cumplan, el descenso del precio de estos hará incosteable la producción de combustibles no convencionales dado su bajo EROI (Weijermars, 2014).

2. Petróleo y gas mexicano

El petróleo convencional mexicano enfrenta un descenso continuado de la producción correspondiente a una descripción del tipo "pico de Hubbert" con una disminución a la mitad de la producción actual -es decir, a 1.25 millones de barriles diarios-, en 12 años (SENER, 2014a). Nótese que en la actualidad el consumo interno mexicano es cercano a esa cantidad; previsiblemente, la demanda de consumo en doce años será mayor, de manera tal que difícilmente podrá ser satisfecha por los combustibles convencionales.

Los recursos de gases y aceites de esquistos técnicamente recuperables en México se estiman en cantidades potencialmente mayores a sus reservas convencionales probadas. Una sola formación rocosa, la del campo de Burgos, contiene cerca de la mitad de los recursos estimados -62 % en gas y 48 % en aceites- en el país (Energy Information Administration [EIA], 2013). La actividad nacional de extracción inició en 2011 y se ha ido extendiendo a unos cuantos pozos de extracción de gas, de petróleo y de gas y petróleo combinados. Los planes de extracción antes de las reformas energéticas de finales de 2013 contemplaban la creación hacia 2015 de un centenar de pozos de exploración.

La disminución de la producción de petróleo y gas convencionales en combinación con los proyectos de explotación de fuentes no convencionales -gas y aceites de esquistos y aguas ultraprofundas- ha permitido que se pronostique un incremento en la disponibilidad de estos combustibles en el país, a una tasa que permite que la disminución en la producción nacional

⁴ El pronóstico se basa en el consumo interno histórico promedio de 55 % de la producción y en que esta última ha sido menor a 3 millones de barriles diarios desde 2009.



observada a partir de 2005 se revierta a partir de 2016. La diferencia en la modificación del consumo interno y la exportación determinarán la contribución nacional a la generación de GEI.

3. Carbón mexicano

El carbón mineral que se produce en México –cerca de 13 millones de toneladas anuales (SENER, 2015)– es empleado como combustible de manera mayoritaria –aproximadamente 80 %– en la generación de energía eléctrica por el sector público y, recientemente, a partir de 2006 de manera incremental, por el sector privado, aunque esta proporción es menor a 1 % (SENER, 2014b). Su combustión contribuye aproximadamente a 16 % de la energía eléctrica producida por el sector público.

La Secretaría de Energía proyecta que el empleo de carbón en la generación de energía eléctrica aumentará en 30 % –respecto al empleo presente– para 2027 debido principalmente a los proyectos de nueva generación con Tecnología de Carbón Limpia en cuatro carboeléctricas de nueva creación de Guerrero y Coahuila (SENER, 2014b). Este aumento en la cantidad total de carbón empleado representa una ligera disminución en el porcentaje de la energía eléctrica que se producirá de esta manera -16 % en la actualidad- para situarla en 14 %.

Las carboeléctricas empleadas actualmente en el mundo reportaron eficiencia promedio de 37.1 % en 2007, con un incremento de 1.6 % con respecto a 35 años antes (IEA, 2010). Se espera que las nuevas carboeléctricas de la más alta eficiencia alcancen 48 % mediante el empleo exclusivo de carbón bituminoso. Tales carboeléctricas contemplan el empleo de mecanismos de captura y almacenamiento de CO₂ que, al precio de reducir su eficiencia quizá hasta solo 40 %, favorezcan la mitigación de la generación de GEI. Como se mencionó, México emplea carbón para generar menos de un sexto de su energía eléctrica aunque mundialmente el promedio es 42 %.

4. Energía nuclear

La generación de energía eléctrica a partir de la fisión nuclear tiene una compleja historia y constituye, en la actualidad, la predicción más incierta acerca de su empleo futuro. Diversas razones apuntan hacia una política que incremente su uso en la mezcla de generación primaria de energía mundial: sin que pueda considerarse una fuente renovable y a pesar de que el proceso produce residuos contaminantes, el hecho de que no produce GEI y que la generación de energía por este medio es predecible y constante la hace una alternativa atractiva en la reducción de la producción de energía primaria a partir de combustibles fósiles. Sin embargo, otras características del proceso –el riesgo de que la reacción nuclear salga de control, principalmente– ha reducido el interés por su empleo. En particular, el accidente que provocó la destrucción de tres reactores en Japón en 2011 ha planteado una posición mundial controvertida sobre su uso: algunos países han suspendido sus proyectos de producción de energía nuclear –momentáneamente el propio Japón (World Nuclear Association [WNA], 2015) y permanentemente Alemania–, por otro lado, diversos países continúan programas nucleares intensivos con producción de nuevas plantas nucleares –cerca de 60 nuevas plantas nucleares en China, India, Bulgaria, Rusia, Corea del Sur, Finlandia y Francia (WNA, 2015)–. México ha mantenido durante más de treinta años la producción de energía eléctrica a partir de energía nuclear en sus dos reactores de Laguna Verde, producción que en la actualidad constituye 3 % de la generación eléctrica total. No hay mención explícita en la Prospectiva del Sector Eléctrico 2014-2028 (SENER, 2014b) sobre los planes nacionales al respecto, aunque se reconoce la posibilidad de mitigación de producción de GEI que esta tecnología permite. En caso de no ser incrementada su participación en la capacidad de generación por tecnologías en el sector eléctrico se espera que en 2018 contribuya solamente con 1.5 %. Un escenario académico de incremento de la participación de energía nuclear en el consumo eléctrico para 2070 resulta en 22 % de energía nuclear en la mezcla con una reducción de la generación de GEI a la mitad de la del caso de referencia (Castrejón, 2012).

5. Cobertura nacional eléctrica

La energía impulsa el progreso humano, desde la generación de empleo hasta la competitividad económica, desde el fortalecimiento de la seguridad hasta el afianzamiento social de la mujer, la energía es un gran integrador, está presente en todos los

sectores y se encuentra en el corazón de los intereses fundamentales de todos los países. Ahora más que nunca, el mundo necesita asegurar que los beneficios de la energía moderna estén al alcance de todos y que la energía se proporcione en la forma más limpia y eficiente posible.

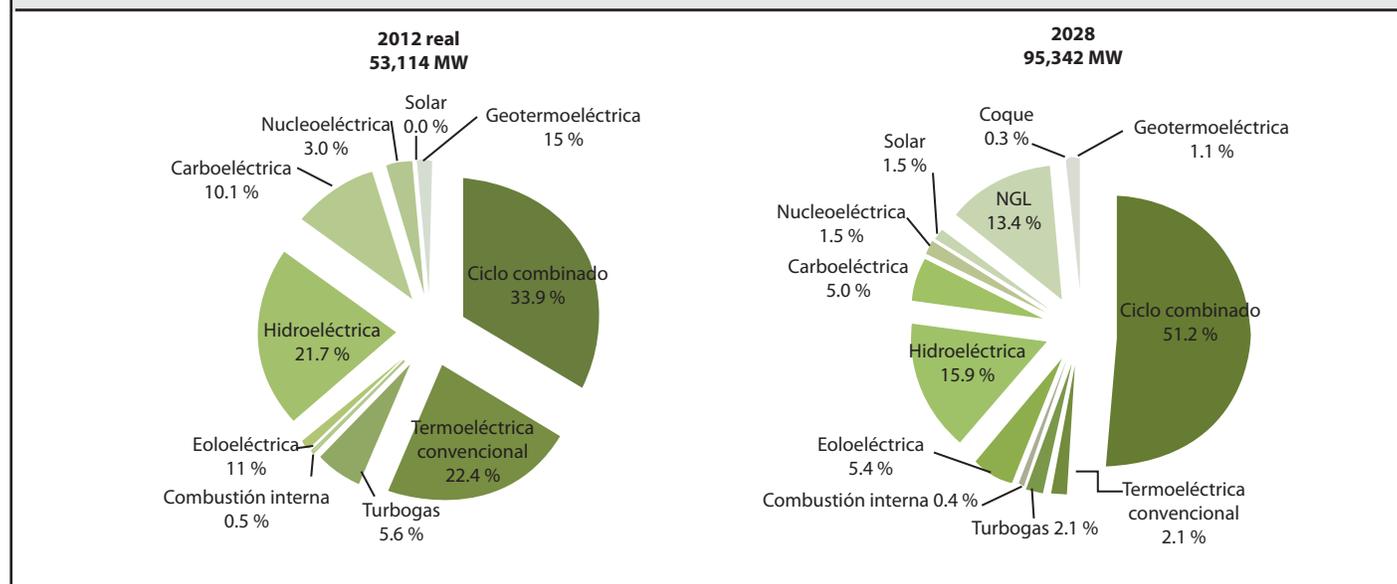
De acuerdo con el documento Energía sostenible para todos y la mitigación del cambio climático que propone las Naciones Unidas (PNUMA), hay tres objetivos vinculados entre sí que apoyan las metas finales de Energía sostenible para todos en 2030:

1. Garantizar el acceso universal a los servicios energéticos modernos.
2. Duplicar el ritmo de mejora de la eficiencia energética.
3. Duplicar la cuota de las energías renovables en el conglomerado energético mundial.

La cobertura nacional eléctrica se estima cercana a 98 % en términos absolutos, aunque varía en dependencia de la densidad de población considerada: para poblaciones menores a 2,500 habitantes se estima de 93.5 % (SENER, 2013). La cobertura de poblaciones pequeñas, en condiciones geográficas de baja densidad y de difícil acceso implica una alta inversión a la distribución tradicional. Sin embargo, constituyen una oportunidad para la autogeneración y el autoabasto particularmente a partir de las fuentes renovables. Esta circunstancia puede proporcionar una opción de mitigación ante el aumento de la cobertura, lo que implica un incremento en la intensidad energética.

Los propósitos de mitigación cuantitativos en las leyes generales mexicanas sobre cambio climático y la estrategia nacional de cambio climático (Ley General de Cambio Climático [LGCC], 2012; Gobierno Federal Mexicano [GFM], 2013) destacan el compromiso de que 35 % de la electricidad nacional provenga de fuentes limpias -que no generen GEI- para 2024, 40 % para 2030 y 50 % para 2050; propósitos que junto con otros no relacionados con la energía eléctrica colocan a México entre los países a nivel mundial con los más agresivos objetivos de reducción de emisiones. Un análisis multimodal reciente (Veysey et ál., 2015) encuentra que para lograr esos objetivos es obligatoria la decarbonización de la electricidad y la modificación del transporte. La decarbonización de electricidad puede lograrse por dos caminos: uno, la obtención de energía eléctrica mediante fuentes renovables o la combustión de biomasa o, dos, el uso de combustibles fósiles con tecnologías de Captura y Almacenamiento de Carbono (CCS).

Figura 1. Prospección nacional de participación de tecnologías en la capacidad de generación eléctrica 2014-2028



Fuente: (SENER, 2014b) con información de la Comisión Federal de Electricidad (CFE)



6. Energías Renovables

Los compromisos de mitigación de México para los próximos treinta y cinco años se encuentran entre los más agresivos de entre todos los países, desarrollados o en desarrollo: reducción, con respecto al pronóstico de BAU (“Business as usual”) de 50 % para 2050. Los análisis de los caminos que pueden llevar al cumplimiento de esos compromisos se centran en la modificación sustancial de los sistemas de energía y, en particular, en la transformación en la generación de energía eléctrica. A su vez, tal transformación se centra en dos aspectos tecnológicos fundamentales, uno de los cuales es el empleo de fuentes de energía renovables (Veysey et ál., 2015).

Se denomina energía renovable a todo tipo de energía procedente de fuentes solares, geofísicas o biológicas que se renuevan mediante procesos naturales a un ritmo igual o superior al de su utilización. La energía renovable se obtiene de los flujos de energía constantes o repetitivos que están presentes en el medio ambiente natural, y abarca recursos tales como la biomasa, la energía solar, el calor geotérmico, la energía hidroeléctrica, la energía undimotriz y del oleaje, la energía térmica oceánica y la energía eólica (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático [GIECC], 2011).

En la actualidad, la participación de energías renovables en la producción de electricidad en México es de 13.7 %, en donde la principal contribución proviene de la hidroeléctrica (10.6 %), con menores contribuciones de la geotérmica (2.4 %) y la eololéctrica (0.70 %), la contribución de la fotovoltaica es aún solo marginal (0.01 %) (SENER, 2014c). Conviene destacar la diferencia entre la generación de energía de estas fuentes renovables y su capacidad instalada ya que la divergencia es notable, así la capacidad instalada es hidroeléctrica (21.7 %), geotérmica (1.5 %), eololéctrica (1.1 %) y la fotovoltaica (0.01 %).

Existen diversas estimaciones de la mezcla energética requerida para lograr los objetivos comprometidos. El primero a observar es el de la propia Secretaría de Energía que para 2028 estima una capacidad instalada de fuentes renovables de energía en la generación de electricidad como sigue: hidroeléctrica (15.9 %, que representa una contribución de 6.9 % al incremento nacional en la demanda para 2028), geotérmica (1.1 %, contribución marginal de 0.6 % al incremento), eololéctrica (5.4 %, contribución de 8.3 % al incremento) y solar (1.5 %, contribución de 2.6 % al incremento) (SENER, 2014b).

Por otro lado, Vidal, Ostergaard y Sheinbaum, (2015) plantean distintos escenarios que permiten contar con la capacidad instalada que se estima necesaria para 2024 y permiten el cumplimiento de los compromisos de mitigación. Sus escenarios incluyen una alta contribución de fuentes de energía renovable que contemplan la permanencia actual de la generación hidroeléctrica y geotérmica y que plantean un aumento distribuido en eololéctricas y fotovoltaicas con la importante adición de biomasa y biogás. Las contribuciones estimadas para estas fuentes de energía en 2014 en este estudio requieren que eololéctricas y fotovoltaicas contribuyan con alrededor de 20 - 26 % a la mezcla energética de la producción de electricidad con 3 - 7 % adicional de biomasa y biogás. Esto debe compararse con las estimaciones de SENER que solo adjudican 7 % a la combinación de eololéctricas y fotovoltaicas y no contemplan biomasa ni biogás.

El reciente trabajo de Veysey et ál. (2015) compila los resultados de seis modelos que analizan la combinación de los sistemas de energía con la economía y que resultan en una estimación de la mezcla energética y el costo económico necesarios para cumplir los objetivos de mitigación comprometidos por el estado mexicano. Las combinaciones resultantes representan una alta variedad de mezclas energéticas entre las que destacan las tecnologías de CCS -para todo tipo de combustible original: carbón, gas petróleo y biomasa- por un lado y el empleo de energías renovables -principalmente solar y eololéctrica-, por el otro. El costo de la mitigación se estima en un intervalo de 2 a 4 % del Producto Nacional Bruto (GNP, por sus siglas en inglés) para 2030. Este estudio multimodal concluye que las opciones para cumplir los compromisos de mitigación para 2050 permiten aún la selección de una trayectoria entre un gran número de trayectorias posibles con diversos grados de libertad. Sin embargo esa diversidad de posibles elecciones solo estará disponible brevemente.

Vergara et ál. (2013) estiman el potencial técnico específico de las distintas zonas de Latinoamérica en la generación de energía renovable y encuentran las mejores potencialidades para México en la generación de energía solar, la eololéctrica en tierra y la generación de biomasa. En el uso de estas fuentes de energía es necesario considerar la relación entre la energía invertida en

la producción de la celda fotovoltaica, la turbina eólica o el biocombustible y la energía producida -similarmente al EROI usado en la evaluación de las fuentes de energía fósiles-.

La selección de una mayor participación de las energías renovables en la generación de energía eléctrica para el cumplimiento de los propósitos de mitigación es posible a través del uso de energía solar. Diversas razones favorecen su empleo: la posible generación distribuida dada la viabilidad de generación en el territorio mexicano (Mundo et ál., 2014), el costo de las externalidades (Santoyo, Gujba y Azapagic, 2011) y la menor huella -es decir, mayor densidad de potencia- (Smil, 2015) de las fotovoltaicas con respecto a otras energías renovables.

Las tecnologías de energías renovables son cada vez más asequibles y están llevando los servicios modernos de energía a las comunidades rurales, donde la extensión de la red convencional de energía eléctrica, como se mencionó, implica una inversión muy alta. Los dispositivos más eficientes para iluminación y otras aplicaciones tienen menos requerimientos energéticos y reducen por ello la cantidad de energía necesaria para mantenerlos. Finalmente, la alternativa de expandir sin restricciones los sistemas de energía convencionales actuales, basados en combustibles fósiles, nos obligaría a comprometer infraestructuras a largo plazo, en una senda de emisiones que resultan insostenibles para el clima del mundo.

Cuadro 1. Energías renovables actuales y prospectiva a 2028				
	2012 (GWh)	2012 (% total)	2028 (GWh)	2028 (% total)
Renovables	44.176	15.03	126.525	41.40
Hidroeléctrica	31.860	10.84	70.860	23.19
Geotérmica	5.820	1.98	5.820	1.90
Eoloeléctrica	3.645	1.24	40.045	13.10
Bioenergía	2.792	0.95	4.600	1.51
Solar	0.059	0.02	5.200	1.70

Fuente: Elaboración propia con datos de: Flores y Muñoz Ledo, 2010; SENER, 2014c

7. Bioenergía

La biomasa es la fuente de energía más antigua utilizada por los humanos. Se encuentra en abundancia en casi todo el planeta y actualmente cerca de 2,600 millones de personas, sobre todo en los países del Sur global, dependen de ella para cocinar y obtener calor e iluminación. La energía resultante de la combustión de biomasa se llama bioenergía (Miranda et ál., 2012).

El empleo de madera y carbón vegetal, para uso doméstico privado en la preparación de comida y calefacción, ha sido estimado entre cerca de 6 % (Serrano et ál., 2014) y 9 % (Bailis et ál., 2015) de la generación de energía primaria mundial. En México, la fracción de la energía primaria que se atribuye a esta fuente es 4.4 %, es decir, por debajo del porcentaje mundial, y las predicciones estiman una disminución tanto en el número de usuarios como en la magnitud de la energía empleada de este modo (Serrano et ál., 2014). Frente a este pronóstico de reducción de su empleo en México, hay dos características aplicables globalmente que deben contemplarse. La primera proviene de que el consumo de madera y carbón vegetal no es siempre sustentable (entre 27 % y 34 % del total mundial empleado implica degradación de los bosques (Bailis et ál., 2015)). La segunda es que su empleo contribuye a la generación de gases de efecto invernadero en cerca de 2 % del total de emisiones y que la adaptación de tecnologías modernas -principalmente en el empleo de estufas mejoradas- puede reducir importantemente estas emisiones.

El empleo de bioenergía de manera doméstica privada implica consideraciones políticas diferentes a las que caracterizan a otras fuentes de energía con alto grado de centralización. Para racionalizar su consumo, evitar los principales efectos adversos



y asegurar las ventajas que el mejoramiento en su uso proporcionan, se requieren políticas sociales que reconozcan su importancia, regulen y hagan cumplir su empleo e impongan regulaciones para modernizar su uso (Miranda et ál., 2012; Ceecon y Miranda, 2012).

En México generamos 70 millones de toneladas de residuos agrícolas o forestales, y la mayor parte se deposita en barrancas o en rellenos sanitarios, por lo que se está perdiendo una fuente de generación de bioenergía 10 veces mayor a la que tenemos hoy (García, Riegelhauptb y Maserá, 2013). Si bien el beneficio final de los biocombustibles es la sustitución de combustibles de origen fósil, existen riesgos ambientales durante el proceso, como la invasión de tierras de alta riqueza biológica y la contaminación por agroquímicos.

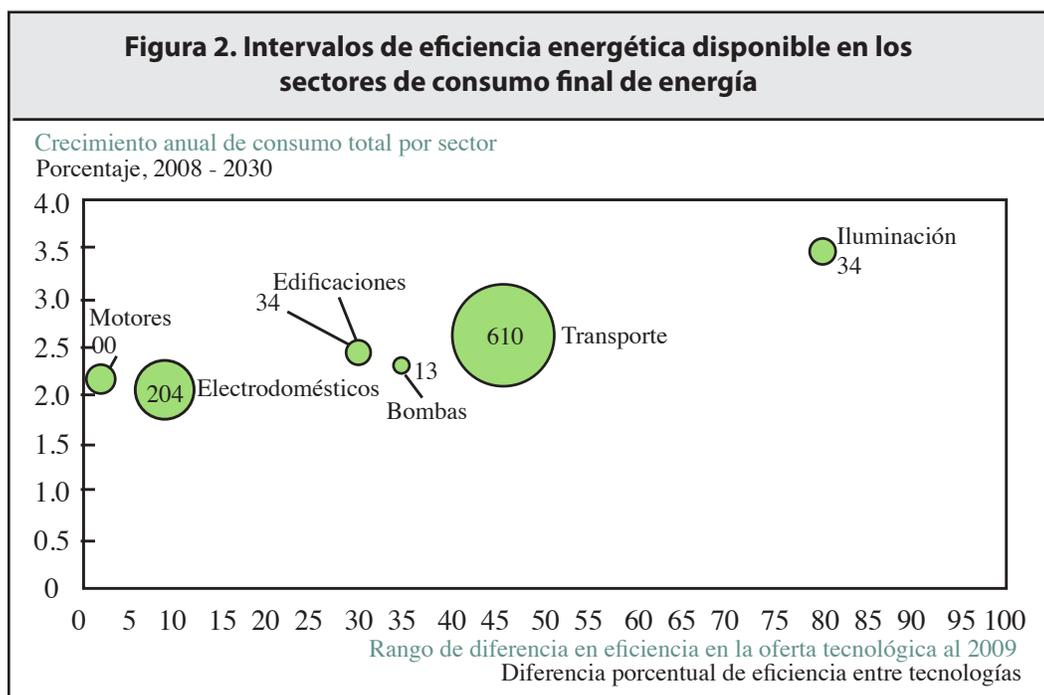
8. Consumo energético mexicano y su comparación a nivel mundial

En México el consumo final de energía -la fracción del consumo total de energía primaria que llega al consumidor, particular o empresarial- representó 55 % del consumo nacional energético en 2013. Dentro del consumo final de energía, más de 90 % de éste se concentra en los sectores transporte, industrial, residencial y comercial, y se espera que estos sectores continúen siendo los de mayor consumo final de energía en el futuro. Para 2030 se espera, en particular, que el sector transporte represente aproximadamente 50 % del consumo final de energía, seguido por el sector industrial con 30 % del consumo y por los sectores residencial, comercial y público que concentren aproximadamente 15 %.

De acuerdo con las características de los sectores de mayor consumo, los energéticos de mayor utilización son: en el sector transporte la gasolina y el diésel; en la industria el gas natural (GN) y la electricidad; y en el sector residencial la electricidad y el gas licuado de petróleo (GLP).

No se espera un gran cambio en la proporción de uso de estos energéticos y hacia 2030 se espera que continúen representando el grueso del consumo.

En la actualidad existen diferencias entre las tecnologías que pueden utilizarse a lo largo de los sectores de consumo. Estas diferencias presentan oportunidades concretas para aumentar la eficiencia energética en el uso final de energía. Como puede verse en la Figura 2, el potencial de ahorro de energía es distinto para los sectores en función del total del consumo energético y la oferta tecnológica existente en equipos nuevos.



Fuente: (SENER, 2014b)

Como puede observarse en la figura anterior, el sector transporte es el sector de mayor consumo energético y tiene un amplio rango de eficiencia energética entre las tecnologías disponibles. Por otro lado, el consumo de energía por iluminación representa una segunda área de consumo de especial interés, pues si bien el consumo total de energía es bajo en relación con el de otros sectores, ésta es el área de oportunidad con mayor rango de eficiencia entre las distintas opciones tecnológicas disponibles.

Con apoyo de la curva de costos de abatimiento de energía derivada de la curva de costos de abatimiento de gases de efecto invernadero, se identificaron siete áreas de oportunidad. Estas áreas representan coyunturas costo-efectivas para aumentar la eficiencia energética en el mediano y largo plazo y, por tanto, reducir el consumo de energía en los sectores abordados. Las siete áreas de oportunidad prioritarias consideradas son:

- Transporte. Aborda el consumo de energía en el transporte automotor, tanto ligero y mediano, así como de carga pesada.
- Iluminación. Comprende las necesidades de iluminación a lo largo de los sectores residencial, comercial, servicios e industrial, así como dentro de las dependencias y entidades de la Administración Pública Federal (APF) y dentro de gobiernos estatales y locales.
- Equipos del hogar y de inmuebles. Se refiere al consumo de energía derivado del uso de los electrodomésticos, electrónicos y equipos de mayor consumo dentro de los hogares, incluyendo aire acondicionado, refrigeración, ventilación y calentamiento de agua.
- Cogeneración. Identifica la posibilidad de ahorro de energía en las industrias con potencial latente de cogeneración.
- Edificaciones. Aborda las oportunidades de ahorro de energía derivado de mejoras en las prácticas de construcción.
- Motores industriales. Actúa sobre el consumo de energía en motores trifásicos de menos de 75 HP, ya que éstos representan la gran mayoría del parque y del consumo de motores en el país.



- g. Bombas de agua. Comprende el consumo de energía para fines de bombeo agrícola y municipal.
- h. Intercambio de emisiones de GEI.

México tiene una importante experiencia en la participación dentro del CDM (Clean Development Mechanism del Protocolo de Kioto) que genera Certificados de Reducción de Emisiones (CER) al haber participado en más de 120 proyectos registrados que han reducido en 64 millones de toneladas las emisiones de GEI. Sin embargo, la utilidad derivada del empleo de estas posibilidades se considera menor que la utilidad potencial particularmente por la existencia de muchos proyectos relativamente pequeños que no aprovechan las ventajas de las considerables oportunidades dentro del sector energético (Burtraw et ál., 2010). Sin embargo, las oportunidades de aumentar la participación mexicana en la obtención de CER provenientes de la Unión Europea han sido eliminadas, toda vez que la inclusión en el programa ha sido limitada a los países menos desarrollados (Sopher y Mansell, 2013).

En 2012 México aprobó la Ley General de Cambio Climático (LGCC, 2012) que establece la creación de un comité de alto nivel autorizado a crear un sistema voluntario de comercio de emisiones, cuyos participantes, a su vez, podrán llevar a cabo operaciones y transacciones que se vinculen con el comercio de emisiones de otros países y con los mercados de carbono internacionales. Las experiencias de PEMEX (Mathias, 2010) y la esperada inclusión de la generación de electricidad a través de la Comisión Federal de Electricidad (Sopher y Mansell, 2013), indican que el intercambio de emisiones tendrá una mucho mayor importancia en el futuro para la reducción de emisiones de GEI en los sistemas de energía, áreas que permiten las mayores oportunidades de mitigación (Kosoy y Guigon, 2012).

Conclusiones

Los sistemas de energía contribuyen en cerca de dos quintas partes del total de las emisiones antropogénicas de GEI en México; su evolución debida a cambios en la demanda y a cambios en el empleo de energía constituye una parte fundamental de la mitigación. El gobierno mexicano ha establecido compromisos importantes, en particular con respecto a la decarbonización de la energía eléctrica (50 % proveniente de fuentes limpias en 2050) al mismo tiempo que ha establecido objetivos de incremento de la producción de petróleo (tres millones de barriles de petróleo crudo al día en 2020). Esta dualidad contrastante reproduce la que se plantea de manera mundial.

Las opciones de mitigación posibles proponen una alta variedad de mezclas energéticas que incluyen, en diversas proporciones, todo tipo de tecnologías –tanto de captura y conversión de carbono como de empleo de energías renovables– y cierta variedad de costos económicos. Unos y otros implican desarrollos –principalmente tecnológicos en un caso y políticos en el otro– que no se han garantizado. La situación actual plantea una ventana de posibilidades entre las que se puede elegir, pero todo indica que esa ventana se está cerrando rápidamente y que el cumplimiento de los compromisos de mitigación adquiridos implicará en el futuro decisiones más restrictivas.

Referencias

- Bailis, R., Drago, R., Ghilardi, A., & Maser, O.** (2015). The carbon footprint of traditional woodfuels. *Nature Climate Change*, 5, 266-272.
- British Petroleum** (2014). Statistical Review of World Energy. Disponible en: <http://bp.com/statisticalreview> (2015).
- Burtraw, D., Kopp, R., Morgenstern, R., Morris, D. & Topping, E.** (2010). Feasibility Assessment of a Carbon Cap-and-Trade System for Mexico. *Resources For the Future Report*. Disponible en: <http://www.rff.org/rff/documents/rff-rpt-mexicowb.pdf>.
- Castrejón, D.** (2012). Reducción de emisiones de GEI en el sector eléctrico ¿Renovables o combustibles fósiles y energía nuclear?. *Revista Digital Universitaria* 13, 10. Disponible en: http://www.revista.unam.mx/index_oct12.html.
- Ceecon, E. & Miranda R. C.** (2012). Sustainable Woodfuel Production in Latin America: The role of Government and Society. *Copit-arXives*. Mexico, DF. ISBN 978-1-938128-02-8.
- Energy Information Administration U. S. [EIA].** (2013). Technically Recoverable Shale Oil and Shale Gas Resource: An assessment of 137 Shale Formations in 41 Countries Outside the United States.
- Flores, R. y Muñoz-Ledo, R.** (2010). Comparación de las emisiones de Gases Efecto Invernadero (GEI's) por consumo y transformación de energía: México 1990 (año base) vs. 2008 (inicio del protocolo de Kyoto). VIII Congreso Internacional sobre Innovación y Desarrollo Tecnológico, Cuernavaca Morelos, México.
- García, C. A., Riegelhaupt, E. y Maser, O.** (2013). Escenarios de bioenergía en México: potencial de sustitución de combustibles fósiles y mitigación de GEI. *Revista Mexicana de Física*, 2, 93-103.
- Gobierno Federal Mexicano [GFM].** (2013). *National climate change strategy: 10-20-40 vision*. Disponible en: http://mitigationpartnership.net/sites/default/files/encc_englishversion.pdf (julio 2015).
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático [GIECC]** (2011). *Fuentes de energía renovables y mitigación del cambio climático: resumen para responsables de políticas y resumen técnico*. Informe Especial. ISBN 978-92-9169-331-3.
- International Energy Agency [IEA].** (2010). Power Generation from Coal. Disponible en: <http://www.iea.org/ciab/>.
- Inman, M.** (2014). The fracking fallacy. *Nature*, 516, 28-30.
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático [INECC].** (2013). Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 1990-2010. Disponible en: inecc.gob.mx/publicaciones/libros/685/inventario.pdf.
- Intergovernmental Panel on Climate Change** (2014). Energy Systems. Working Group III - Mitigation of Climate Change. Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC]. Bruckner T., Bashmakov, I. A., Mulugetta, Y., Chum, H., de la Vega N. A., Edmonds, J., Faaij, A., ... Zhang, X. (2014). Energy Systems. In: O. Edenhofer, Pichs-Madruga, R., Sokona, Y., Farahani, E., Kadner, S., Seyboth, K., Adler, A. ... J.C. Minx (Eds.) *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press, Cambridge.
- Kossoy, A. & Guigon, P.** (2012). State and Trends of the Carbon Market. *Carbon Finance at the World Bank*. Disponible en: http://siteresources.worldbank.org/INTCARBONFINANCE/Resources/State_and_Trends_2012_Web_Optimized_19035_Cvr&Txt_LR.pdf.
- Ley General de Cambio Climático [LGCC].** (2012). Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. Disponible en: http://www.inecc.gob.mx/descargas/2012_lgcc.pdf.
- Mathias, J. P.** (2010). Implementación de un Mercado de Emisiones en México, Producto resultado del curso "Análisis de temas selectos de Relaciones Internacionales" (Otoño 2010). Titular: Dra. Gloria Soto Montes de Oca. Universidad Iberoamericana. (No publicado http://www.iberori.org/productos/mathias_2010.pdf).
- McGlade, C. & Ekins, P.** (2015). The geographical distribution of fossil fuels unused when limiting global warming to 2°C. *Nature*, 517, 187-190.
- Miranda, R. G., Sepp, S., Ceecon, E. & Owen, M.** (2012). *Commercial Woodfuel Production, Energy Sector Management Assistance Program*, The World Bank.
- Mundo, H. J., Alonso, B. C., Hernández, A. J. & Carrillo, B. C.** (2014). An overview of solar photovoltaic energy in Mexico and Germany. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 31, 639-649.
- Murphy, D. J.** (2014). The implications of the declining energy return on investment of oil production. *Phil. Trans. R. Soc. A* 372: 20130126.
- Patzek, T. W., Male, F. & Marder, M.** (2013). Gas production in the Barnett Shale obeys a simple scaling theory. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110, 19731-19736.
- Petróleos Mexicanos [PEMEX].** (2015) Indicadores Petroleros y Relación con Inversionistas. Disponible en: http://www.pemex.com/ri/Publicaciones/Indicadores%20Petroleros/eprohidro_esp.pdf
- Population Reference Bureau [PRB].** (2014). World Population Data Sheet. Disponible en: <http://www.prb.org> (2015).



- Santoyo, C. E., Gujba, H. & Azapagic, A.** (2011). Life cycle assesment of electricity generation in Mexico. *Energy*, 36, 1488-1499.
- Secretaría de Energía [SENER].** (2013), Estrategia Nacional de Energía 2013-2027, México.
- SENER** (2014a) Prospectiva de Petróleo Crudo y Petrolíferos 2014-2028, México.
- SENER** (2014b) Prospectiva del Sector Eléctrico 2014-2028, México.
- SENER** (2014c) Prospectiva de Energías Renovables 2014-2028, México.
- SENER** (2015). Disponible en: <http://portalweb.sgm.gob.mx/economia/es/produccion-minera/carbon/382-tablas-carbon.html> (febrero 2015).
- Serrano, M. M., Arias, C. T., Ghilardi, A. & Masera, O.** (2014). Spatial and temporal projection of fuelwood and charcoal consumption in Mexico. *Energy for Sustainable Development*, 19, 39-46.
- Sistema de Información Energética, Secretaría de Energía [SIE_SENER].** (2015). Dirección General de Planeación e Información Energéticas. Disponible en: <http://sie.energia.gob.mx> (febrero 2015).
- Smil, V.** (2015). *Power Density: A Key to Understanding Energy Sources and Uses*. United States: The MIT Press.
- Sopher, P. & Mansell, A.** (2013). The World's Carbon Markets: A Case Study Guide to Emissions Trading. *Environmental Defense Fund and International Emissions Trading Association*. Disponible en: <http://www.edf.org/sites/default/files/Mexico-Case-Study-March-2014.pdf>.
- The World Bank Group [WB].** (2013). GDP (current US\$). Disponible en: <http://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.CD> (febrero 2015).
- Vergara, W., Alatorre, C. & Alves, L. (2013). *Rethinking our energy future. A white paper on Renewable Energy for the 3GLAC Regional Forum*. IDB Inter American Development Bank, discussion paper no. IDB-DP-292; Disponible en: <http://idbdocs.iadb.org/wsdocs/getdocument.aspx?docnum=37836720> (julio 2015).
- Veysey, J., Octaviano, C., Calvin, K., Herreras, M. S., Kitous, A., McFarland, J. & van der Zwaan, B.** (2015). Pathways to Mexico's climate change mitigation targets: A multi-model analysis. *Energy Econ*. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.eneco.2015.04.011>.
- Vidal, J. J., Østergaard, P. A. & Sheinbaum, C.** (2015). Optimal energy mix for transitioning from fossil fuels to renewable energy sources —The case of the Mexican electricity system. *Applied Energy*, 150, 80-96.
- Weijermars, R.** (2014). US shale gas production outlook based on well roll-out rate scenarios. *Applied Energy*, 124, 283-297.
- World Nuclear Association [WNA].** (2015). Nuclear Power in Japan. Disponible en: <http://www.world-nuclear.org/info/Country-Profiles/Countries-G-N/Japan/> (2015).



Capítulo 4

TRANSPORTE

Autores líderes:

Xochitl Cruz Núñez² y Johanna Koolemans Beynen¹¹.

Autores colaboradores:

Angélica Velázquez Montero²⁷ y Arón Jazcilevich Diamant².

²UNAM CCA Centro de Ciencias de la Atmósfera,

¹¹ITESM Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey,

²⁷Consultoría en Ingeniería de Proyectos, S de RL.

Palabras clave: Transporte, mitigación, gases de efecto invernadero, movilidad, vehículos, México, forzantes climáticos de vida corta.

Resumen

Se presenta un panorama del transporte en México relacionado con la mitigación del cambio climático y sus perspectivas energéticas, regulatorias y de política económica. A medida que se urbaniza el país las necesidades de transporte se complican y las emisiones de compuestos de efecto invernadero aumentan.

Los costos de la mitigación son altos pero involucran una serie importante de beneficios directos y co-beneficios que a mediano plazo recuperan estos gastos y se reflejan en una mejor calidad de vida para los habitantes de las ciudades.

La reducción de las emisiones en el sector transporte, el mayor emisor de gases de efecto invernadero y de forzantes climáticos de vida corta como el carbono negro, involucran la mejoría de la eficiencia a través de a) el diseño del sistema de transporte, b) el viaje, c) el vehículo y d) la tecnología.



Introducción

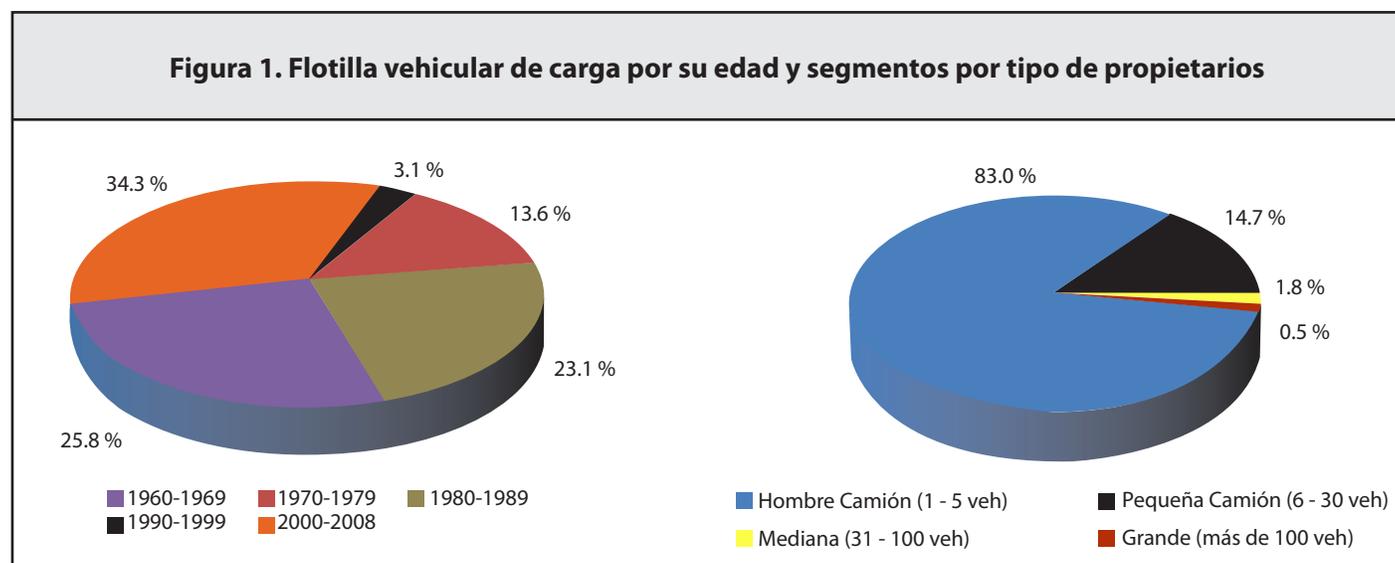
México se ha urbanizado en forma importante en los últimos años: su población urbana pasó del 42.6 % de la población total en 1950 a un 77.8 % de la población total en 2010 y se estima que esta tendencia siga; esto indica que el país tendrá al menos 49 municipios con más de 500 mil habitantes para 2020 (ONU Habitat, 2011). El crecimiento poblacional se refleja en un aumento de la flota vehicular en el país; Dargay, Gately y Sommer (2007) han proyectado que la cantidad de vehículos aumentará en 2030 dos y media veces flotilla del 2002, lo que muy probablemente se traduce en un aumento en las emisiones. En 2012 había casi 35 millones de vehículos registrados en circulación para una población total de 112'336,588 habitantes según el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2015) (que equivale a 310 vehículos por cada mil habitantes en promedio nacional).

El consumo de combustible del sector transporte en México aumentó desde 1998 hasta 2008 un promedio anual de 4.7 %, rebasando el crecimiento del consumo energético de toda la economía (2.6 % promedio anual en el mismo período). Para 2008 el consumo del sector transporte representó el 47 % del total de la energía consumida en el país; en este sector el autotransporte consumió el 91 % del consumo energético (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT], 2013; Solís y Sheinbaum, 2013). Las emisiones de gases de efecto invernadero provenientes del sector transporte contribuyen con 39 por ciento del total nacional en 2010 (Solís y Sheinbaum 2013).

1. Transporte de carga y pasajeros

El transporte carretero contribuye con el 97 % de los pasajeros transportados y el 55 % de la carga movida en 2013 (Secretaría de Comunicaciones y Transporte [SCT], 2015). En el subsector del transporte de carga la transportación marítima ocupa el segundo lugar con el 32 %.

La edad promedio del parque vehicular es superior a 17 años; la flotilla vehicular de carga de mayor edad pertenece al sector denominado hombre-camión, el mayor propietario de los vehículos de carga. En 2012 el número de vehículos de carga era de aproximadamente 310 mil pertenecientes a 125 mil empresas, como se presenta en la Figura 1.



Fuente: (Ardila, 2012)

Emisiones directas e indirectas

De acuerdo con el Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (SEMARNAT, 2013) las emisiones totales de gases de efecto invernadero (GEI) crecieron 33.4 % entre 1990 a 2010, lo que representa una tasa de crecimiento anual promedio de 1.5 %, para llegar a 748 millones de toneladas de CO₂-eq en 2010. Las emisiones por unidad del producto interno bruto (PIB) disminuyeron de 0.051 kg de CO₂-eq. a 0.048 kg de CO₂-eq. por peso, una disminución de 5.8 % (SEMARNAT, 2013).

Del total de estas emisiones, el sector energético (que incluye el consumo de combustibles fósiles y las emisiones fugitivas) emitió en el 2010 aproximadamente el 67.3 % del total con 503,817 millones de toneladas de CO₂-eq; dentro de este sector el consumo de combustibles fósiles representó más del 63 % del total de las emisiones. La mayor parte del crecimiento en esta categoría proviene del consumo de gasolina y gas natural.

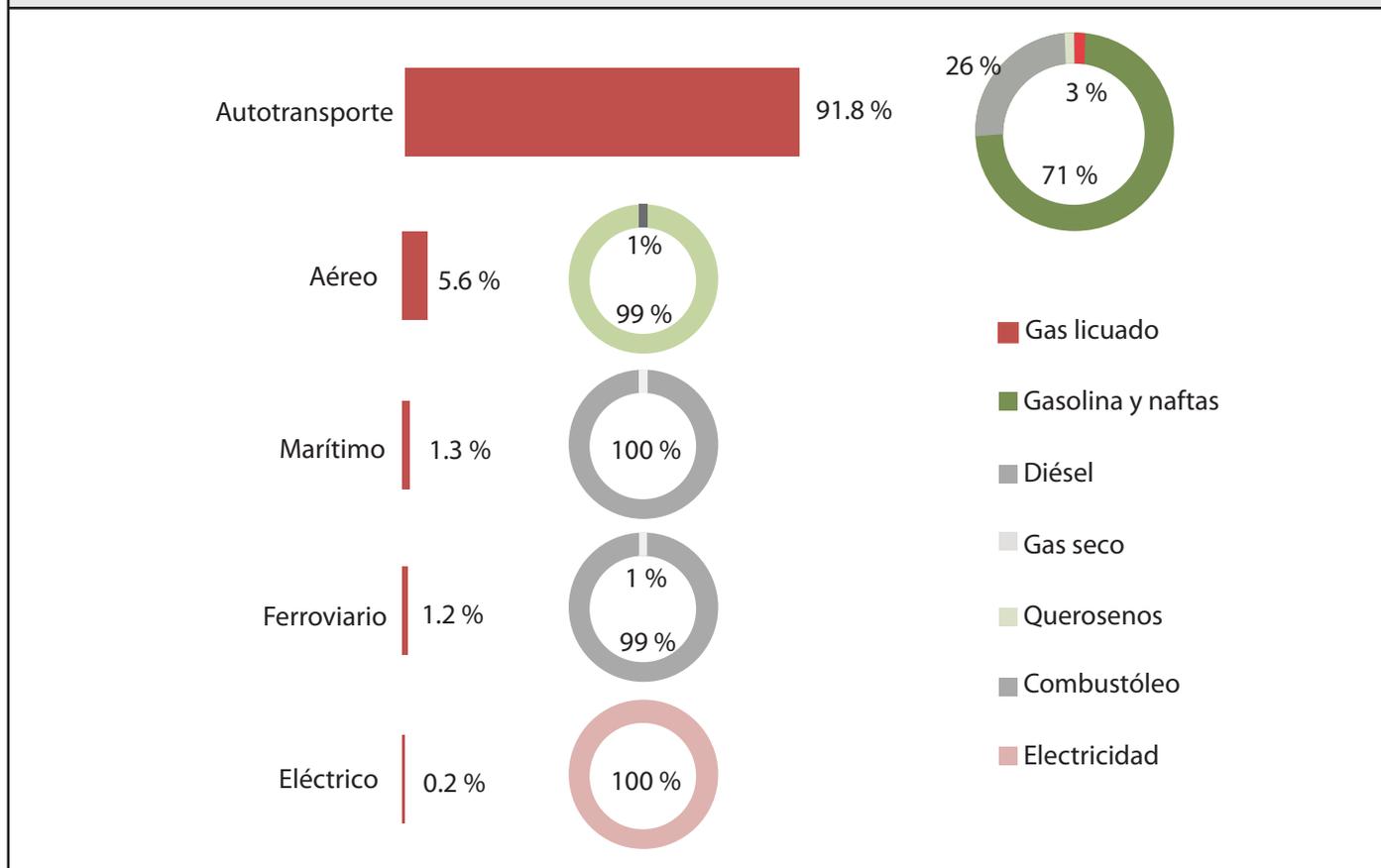
De acuerdo con el reporte (SEMARNAT, 2013) las emisiones de gases de efecto invernadero provenientes del sector transporte fueron 166 412 millones de toneladas de CO₂-eq, en 2010, 22.2 % de las emisiones totales, 33 % de las emisiones en la categoría de energía. Desde 1990, las emisiones crecieron a un ritmo de 3.2 % promedio anual. Dentro de la categoría de transporte, el autotransporte representa 93.3 % del consumo total del sector que representan y tuvo un nivel de crecimiento de 80.5 % entre 1990 y 2000. Se comparan con los otros modos de movilidad automotriz en el Cuadro 1 y por tipo de combustible en la Figura 2.

Cuadro 1. Consumo de combustible y emisiones de medios de transporte

	Consumo de combustible respecto del total del sector en 2010 (%)	Consumo de combustible en 2010 respecto de 1990 (%)	Emisiones respecto del total del sector de en 2010 (%)	Emisiones de CO ₂ -eq. en 2010 (millones de toneladas)
Autotransporte	93.3	80.5	94.5	157,242
Aviación	3.7	18.3	2.9	4,886
Marítimo	1.6	30.7	1.4	2,341
Ferrovionario	1.4	-1.0	1.2	1,942

Fuente: (Semarnat, 2012)

Figura 2. El consumo de combustible por tipo de transporte en México



Fuente: (SENER, 2014)

La Quinta Comunicación Nacional de México ante la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (UNFCCC) reportó las emisiones de carbono negro provenientes del sector a diésel del transporte de 1990 a 2010. Las emisiones del sector transporte contribuyeron en 1990 con el 46 % de las emisiones nacionales de carbono negro que fueron de 70.4 Gg y en 2010 esa contribución aumentó a 54 % del total de 104.5 Gg (SEMARNAT, 2012).

De acuerdo con el incremento tendencial de vehículos particulares en México, las emisiones del sector transporte pasarán de 67 millones de toneladas de CO₂-eq en 2008 a más de 347 millones de CO₂-eq en 2030, del que 72 % de las emisiones corresponden al transporte privado (vehículos de pasajeros, SUV (Sport Utility Vehicle, denominación usada para las camionetas familiares) y transporte ligero y pesado de carga) (Medec, 2009).

Los vehículos a diésel en México suelen ser los de gran capacidad, principalmente para carga o transporte masivo de pasajeros. La edad promedio de la flota vehicular a diésel es de 20 años (Asociación Nacional de Productores de Autobuses, Camiones y Tractocamiones [ANPACT], 2012). Los vehículos de carga pueden ser privados o de transporte público. Entre los vehículos privados sobresalen los denominados hombres-camión, personas físicas que poseen de uno a tres vehículos usados para transporte de mercancía o materiales. Estos vehículos no se sujetan a condiciones de mantenimiento óptimas sino de manera correctiva. La mayoría son vehículos viejos y altamente contaminantes.

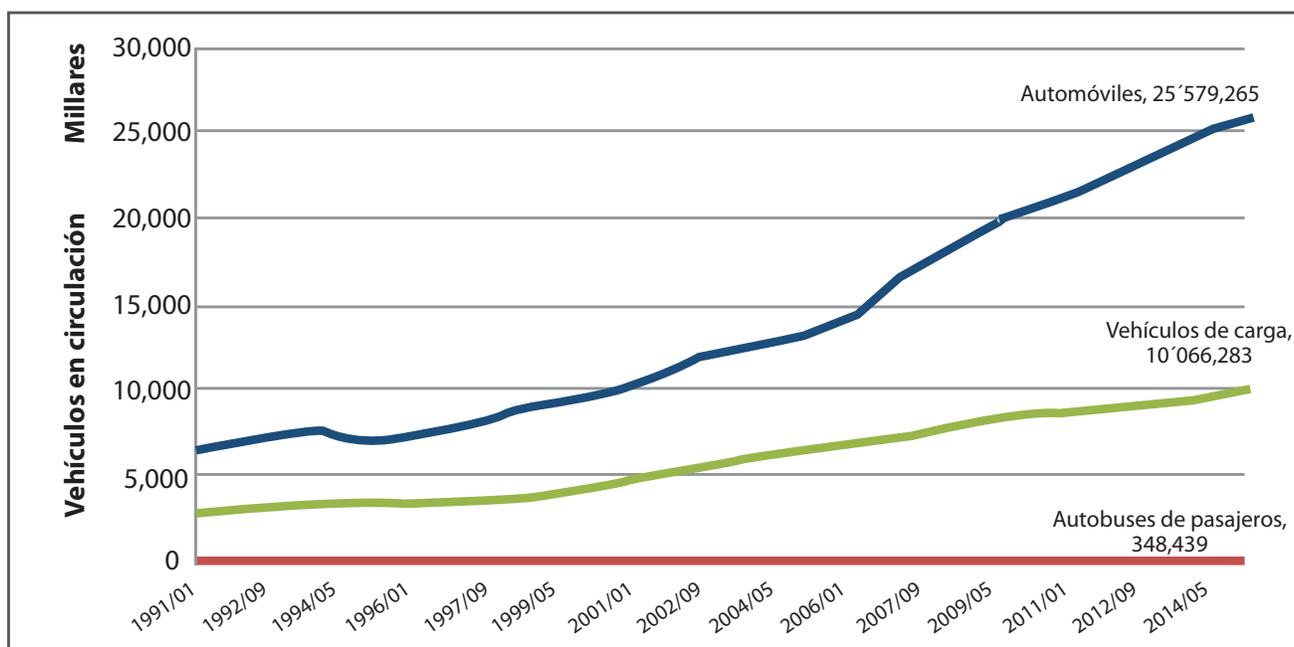
2. Nuevo desarrollo en emisiones e impulsores

2.1 Impulsores y tendencias en las emisiones de CO₂

Los vehículos en México han crecido de la forma en que se observa en la Figura 3. De cinco millones de automóviles privados registrados en 1986 en la actualidad existen más de 25 millones. Este crecimiento, que cambia su pendiente con más rapidez que los vehículos de carga y los autobuses de pasajeros, tiene sus componentes en la gran cantidad de vehículos manufacturados en México (Asociación Mexicana de Distribuidores de Automotores [AMDA], 2015) e importados de Estados Unidos, los denominados “autos chocolate” (Medec, 2009) que son autos estadounidenses viejos y contaminantes que son vendidos en México a precios accesibles. Por otro lado, es posible que muchos vehículos registrados no se encuentren en circulación real pues no existe la disciplina de dar de baja un vehículo que sale de circulación.

En el Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero de 2006 se predice que las emisiones de los contaminantes de efecto invernadero de México aumentarán a 872 Mt CO₂-eq en 2020 y a 996 Mt CO₂-eq para 2030. Se estima que el sector de transporte será responsable por gran parte de este crecimiento y que crecerá a una tasa anual compuesta de 3 % entre 2006 y 2030. Por su parte, la Ciudad de México, en su proyección de emisiones de GEI de su línea base, prevé un crecimiento en las emisiones totales de GEI de 30,731 mil toneladas de CO₂-eq en 2012 a 36,691 en 2025. Para el sector de transporte, prevé un aumento de 11,458 a 12,646 mil toneladas de CO₂-eq.

Figura 3. Vehículos registrados en circulación



Fuente: Elaboración propia con información de (INEGI, 2015)

2.2 Gases de efecto invernadero diferentes del CO₂, carbono negro y aerosoles

Las emisiones de los gases diferentes del CO₂ en el sector transporte son mucho menores que las de CO₂: El Inventario nacional reporta 153,384 Gg de CO₂ de este sector y 470 Gg de CO₂-eq de metano y 12,558 de N₂O (SEMARNAT, 2013). Sin embargo, las partículas emitidas en el escape de los vehículos a diésel contienen cantidades importantes de carbono negro. Este nombre es asignado a un conglomerado de compuestos orgánicos y sulfurados remanentes de la combustión del diésel y otros combustibles que tienen un núcleo de carbono elemental (Bachmann, 2009). Estos conglomerados son partículas que capturan una gran cantidad de radiación no solo reflejada de la superficie terrestre sino de la radiación incidente, lo que los convierte en potentes contaminantes de efecto invernadero, cuyo potencial de calentamiento global llega hasta los 5 mil (Bahadur, 2011).

3. Opciones de mitigación, prácticas y aspectos del comportamiento

En México el transporte carretero consume casi el 92 % del gas natural usado en el sector, el 26 % del diésel y el 71% de las gasolinas (Secretaría de Energía [SENER], 2014). Es como a escala mundial, la forma de transporte que más combustible consume. La contaminación ambiental en sus grandes ciudades propició la búsqueda de combustibles limpios, principalmente por la reducción de los niveles de plomo y azufre. Esto se ha traducido en la publicación de normas y regulaciones que establecen las especificaciones de azufre en las gasolinas y el diésel. Los límites máximos de azufre de la gasolina y el diésel de 300 ppm y 500 ppm, respectivamente se han reducido a 30 ppm y 15 ppm para 2009.

Cuadro 2. Especificaciones de gasolina en México

Tipo de gasolina	Azufre, ppm max	Benceno, % vol, max	Aromáticos, % vol, max	Olefinas, % vol, max	RVP@7.8°C, kPa, min	RVP@37.8°C, kPa, max
Magna (Ciudad de México, Guadalajara y Monterrey)	80 ⁽¹⁾	1	35 ⁽⁴⁾	12.5 ⁽⁵⁾	45 ⁽⁷⁾	54 ⁽¹¹⁾
Magna (Resto de México)	500 ⁽²⁾	3	Reporte	Reporte	54 ⁽⁸⁾⁽⁹⁾	79 ⁽¹²⁾
Premium	80 ⁽¹⁾	2 ⁽³⁾	35 ⁽⁴⁾	15 ⁽⁶⁾	54 ⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾	69 ⁽⁹⁾⁽¹³⁾

Fuente: (ICCT, 2012)

Notas:

- (1) La NOM-086 también estipula un límite para el nivel promedio de azufre en 30 ppm.
- (2) 300 ppm en promedio, el límite de azufre se suponía que se reduciría a un máximo de 80 ppm con un 30 ppm de promedio en enero de 2009 aunque Pemex está atrasado en programa.
- (3) Límite máximo de 1 % en volumen de benceno para las zonas metropolitanas de la Ciudad de México, Monterrey y Guadalajara.
- (4) Contenido de aromáticos máximo de 25 % volumen para la Ciudad de México y su zona metropolitana.
- (5) Contenido de olefinas máximo de 10 % volumen para la Ciudad de México y su zona metropolitana.
- (6) Contenido máximo de olefinas de 12.5 % vol para las regiones metropolitanas de Monterrey y Guadalajara y de 10 % en volumen para la región metropolitana de la Ciudad de México.
- (7) La NOM-086 también requiere que la gasolina que se distribuya en la Ciudad de México tenga una relación vapor/líquido de 20 a 51 °C o 56 °C (dependiendo de la estación), medida de acuerdo con ASTM D 2533.
- (8) Los valores mínimos y máximos pueden variar de acuerdo con la estación.
- (9) La NOM-086 también requiere que la gasolina tenga una relación vapor/líquido de 20 a 51°C, 56 °C o 60 °C (dependiendo de la

estación), medida de acuerdo con ASTM D 2533.

- (10) Los valores mínimo y máximo pueden variar de acuerdo con la región y la estación.
- (11) La NOM-086 también requiere que la gasolina que se distribuya en la zona metropolitana de Guadalajara tenga una relación vapor/líquido de 20 a 51 °C, 56 °C o 60 °C (dependiendo de la estación), medida de acuerdo con ASTM D 2533.
- (12) Esta especificación requiere que el contenido de benceno, tolueno y xilenos (BTX) se reporte por el método de prueba ASTM D 3606.

La Ciudad de México es el lugar en el que algunas de las políticas de transporte se prueban por primera vez. Aunque en la actualidad la medida de mitigación del cambio climático asociada al transporte es el Metrobús, se han instrumentado una serie de medidas que, aunque fueron diseñadas para mejorar la circulación y reducir la contaminación atmosférica, pudieran tener co-beneficios en términos de mitigación de emisiones de GEI y carbono negro (Cruz, 2013) tales como el metro, el tren interurbano y otros proyectos bajos en emisiones. Además, las medidas de mitigación del cambio climático co-benefician la calidad del aire, la salud y el paisaje, entre otros (Panel Intergubernamental de Cambio Climático [IPCC por sus siglas en inglés], 2014).

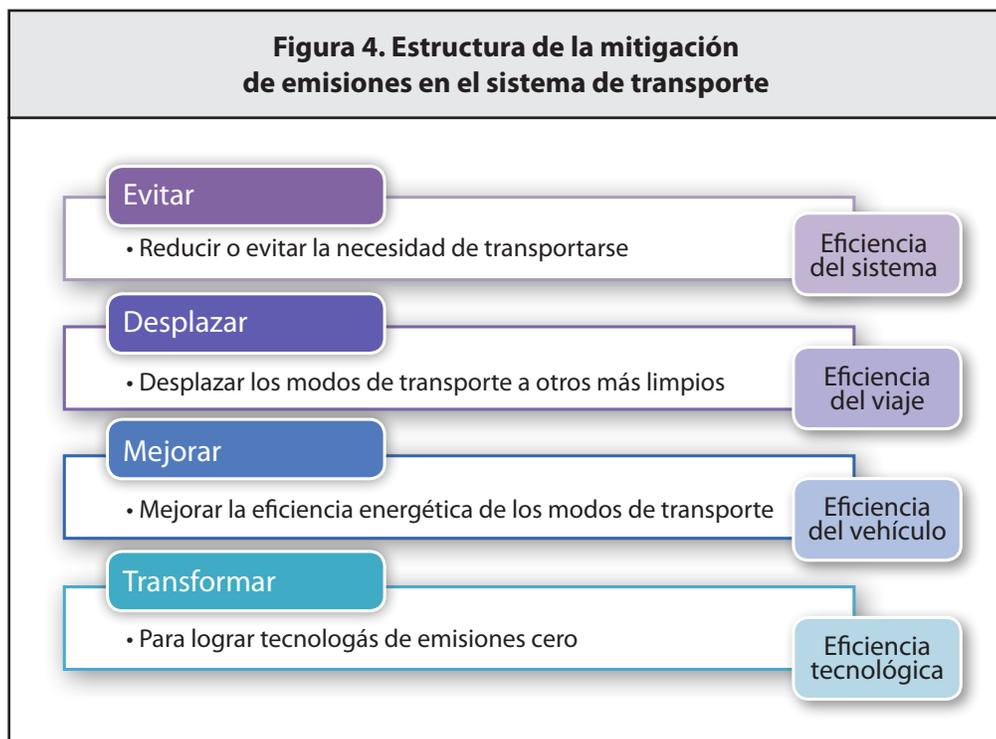
Adicional a las medidas de reducción del plomo y el azufre en la Ciudad de México, el programa "Hoy no circula", desde los primeros años de la década de 1990, cuyo objetivo fue reducir las emisiones de los precursores de ozono al restringir la circulación de un día a la semana de los vehículos de acuerdo con la terminación de la placa de circulación. Los resultados mostraron con el tiempo la modernización de la flota vehicular (ver el Cuadro 2) aunque mucha gente compró vehículos para sustituir los que no circulan un día a la semana (Riveros, 2009). El efecto neto fue un mayor número de vehículos en circulación, mayores emisiones (Eskeland, 1997; Wang 2013; Eskeland y Feyzioglu 1997; Gallego, Montero y Salas, 2013) y, por ende, un deterioro de la calidad del aire (Wang et ál., 2013). El programa de verificación vehicular se dirige a los vehículos matriculados (excluyendo motocicletas, autobuses y camiones diésel). Como resultado de la prueba de emisiones, los vehículos limpios y eficientes pueden obtener una etiqueta "00" o "0" y tienen permiso para viajar todos los días de la semana. Una extensión de este programa incluye las motocicletas e implementar una autorregulación para grandes vehículos diésel (principalmente flotillas pertenecientes a grandes empresas). El gobierno de la ciudad estima que este programa ha contribuido a reducir emisiones de CO₂-eq en 902,962 toneladas anuales (Gobierno del Distrito Federal [GDF], 2010) y reducirá 778,992 ton de CO₂-eq entre 2011 y 2020 (GDF, 2014). Asimismo, se reporta que, de la población que no circula a diario el 63.8 % usa transporte público, 13.8 % afirma no salir ese día, 8.3 % usa taxis, 4.5 % adquirió otro vehículo y 3.9 % comparte rutas con otras personas (Centro Mario Molina [CMM], 2014).

Cuadro 3. Edad promedio, en años, de la flota vehicular en la zona metropolitana de la Ciudad de México

Edad promedio	1990	1992	1994	1996	1998	2000	2002	2004	2006	2008
Años	9.2	9.0	9.1	10.1	10.1	9.5	8.9	8.7	8.8	8.7

Fuente: (Chávez y Sheinbaum, 2014)

En transporte, un enfoque internacional para abordar el problema de la reducción de emisiones con crecimiento económico está basado en cuatro ideas clave: Evitar, Desplazar, Mejorar y Transformar, de acuerdo con la Figura 4.



Fuente: Estructura propia con base en la Figura 7 de ICCT (2012)

Evitar - Reducir o evitar la necesidad de transportarse

El enfoque sistémico está basado en la necesidad del crecimiento dentro de la planeación urbana con el fin de la integración de los sistemas de transporte -motorizado y no motorizado- peatonal y los espacios para el movimiento masivo de pasajeros. La movilidad urbana se puede hacer eficiente creando los espacios de inter-modalidad y movilidad dinámica que permitan el desplazamiento de grandes distancias en los camiones de pasajeros y los sistemas de transporte colectivo y el acercamiento con seguridad de tráfico para la aproximación peatonal, en bicicleta e inclusive motocicleta dentro de la seguridad del tráfico.

Otro enfoque para mejorar la eficiencia en el sistema permite, a través de la planeación urbana, crear empleo, educación, alimentación, recreación y cultura entre otros, dentro de espacios urbanos autoconsistentes de forma que la necesidad de moverse distancias considerables sea mínima (Bansha, Brodnig y Onoriose, 2011). En las zonas urbanas del centro de la ciudad los espacios son enteramente autoconsistentes, la denominada "ciudad compacta" que ha demostrado una mayor eficiencia y menor emisión de contaminantes (Borrego et ál. 2006). Aquí, la eficiencia debe ser impuesta desde el principio vía la planificación urbana. Algunas ciudades nuevas como Querétaro y León son ejemplos de este tipo de planeación, aunque es sectorializada (Wong, 2009).

La Ciudad de México creció con un sistema de transporte colectivo multimodal enfocado en el centro. Entre 1980 y 2000, mientras que la población del Distrito Federal (DF), la capital del país, tuvo un descenso 200 000 habitantes, la población total de

la Zona Metropolitana aumentó en 2.9 millones de habitantes. Desde 2000, y durante los siguientes 10 años, la zona central del DF aumentó en apenas 2 % (245 000 habitantes), mientras que los municipios conurbados aumentaron en 1.5 millones de habitantes durante el mismo periodo. (Senado de la República, 2015). En el *Programa de Acción de la Ciudad de México* (Secretaría de Medio Ambiente, Gobierno del Distrito Federal [SMA GDF], 2014) que contiene medidas hasta 2020, la contención de la mancha urbana es uno de sus cinco ejes estratégicos. Las acciones en este eje, incluyen la creación de un programa de planeación territorial para el Distrito Federal que busca incorporar la redensificación del D.F. a través de la instrumentación de políticas ambientales y urbanas, estrategias de aprovechamiento de predios o inmuebles subutilizados, y una guía de criterios para establecer, a la par, corredores de transporte sustentable.

Desplazar – Moverse hacia sistemas de transporte más limpios

Desplazar significa fomentar un cambio de un tipo de transporte a otro más limpio. Para el transporte de pasajeros, se trata de cambiar de transporte particular a transporte colectivo o a vehículos no motorizados, como la bicicleta. El Plan de Acción de la Ciudad de México (SMA GDF 2013) plantea duplicar la cobertura actual de 100 km de su sistema BRT (Bus Rapid Transit, por sus siglas en inglés) para 2020 construyendo 5 líneas más, y poder mitigar 875,000 toneladas de CO₂-eq. Las ciudades de León y Guadalajara también han adoptado sistemas BRT. El *Macrobús* de Guadalajara opera con un corredor de 16 km y 27 estaciones. El *Optibús* de la ciudad de León tiene 30 km con 65 estaciones, reduciendo 6,000 toneladas de emisiones de CO₂ por año por reemplazar camiones que contaminaban más, sin contar el efecto sobre el transporte privada (The United Nations Framework Convention on Climate Change [UNFCCC], 2014). Sin embargo, algunos programas no llegan a alcanzar sus objetivos debido a la falta de coordinación entre las entidades involucradas, por ejemplo, el corredor Puebla-Tlaxcala (McKinnon, Palmer y Edwards, 2015).

La Ciudad de México tiene un sistema de metro con 225 km, más la línea 12, que abrió en 2012. En el Programa de Acción vigente se planea ampliar esta línea en 4 kilómetros, dos estaciones más, incluyendo una estación de trasbordo en Observatorio, con el cual esperan mitigar 280 toneladas de emisiones de CO₂, acumuladas para el año 2020. También se planea reducir el número de pasajeros que se transportan vía microbuses a favor de autobuses nuevos. Finalmente, la ciudad planea promover la movilidad intermodal a través de la expansión del programa de Ecobici para continuar los esfuerzos por fomentar el uso de la bicicleta y del EcoParq, un sistema de parquímetros para desalentar el uso del automóvil (SMA GDF, 2014).

A escala nacional, el transporte de pasajeros no ha desarrollado un sistema multimodal para el transporte colectivo eficiente. Los pasajeros que desean moverse entre ciudades tienen tres opciones: vehículos particulares, transporte terrestre público privado o aviones. Para el servicio de pasajeros, la opción ferroviaria sólo ofrece el tren suburbano de la zona metropolitana de la Ciudad de México, o cortos tramos turísticos, como la ruta de la Barranca del Cobre. Existen oportunidades para incrementar el uso de transporte marítimo y ferroviario: además de una red carretera de 374, 262 km, de los cuales 49,169 km conforman la red federal, México cuenta con 26,727 km de vías férreas (de los cuales el 18 % se encuentran fuera de operación), 117 puertos y terminales habilitadas a lo largo de sus 11,500 km de costas (aunque la carga por contenedores está concentrada en un 96 % en los puertos de Manzanillo, Lázaro Cárdenas, Altamira y Veracruz y 60 aeropuertos (de los cuales 17 concentran el transporte, tanto de carga como de pasajeros). El Programa Federal de Apoyo al Transporte Masivo (PROTRAM), provee financiamiento, o subsidios de hasta 50 % del costo de infraestructura para proyectos de transporte público. En la actualidad se han documentado 8 proyectos en fase de inversión (en Guadalajara, Chihuahua, Mexicali, Tijuana, Culiacán, Monterrey y Veracruz) (WRI n.d.).

El Plan Nacional de Desarrollo (2013) señala varias ineficiencias en la red de transporte del país, empezando con una falta de logística integral que permitiría conectar nodos de producción, consumo y distribución de manera más eficiente. En particular, señala ineficiencias en la red ferroviaria debido a una falta de coordinación entre operadores ferroviarios y el mal estado físico de algunas vías y en la red marítima por la falta de capacidad para atender buques de gran calado. En la red aeroportuaria falta infraestructura y su nivel de utilización está desequilibrado y las rutas, fragmentadas. Sin embargo, el sistema portuario mexicano manejó 4.9 millones de TEU (Twenty Feed Equivalent United, por sus siglas en inglés) en 2013, un 14.3 % más que el año anterior y se quintuplicó desde 1997 (Wilmsmeier, Monios y Rodriguez, 2015).



Mejorar – Mejorar la eficiencia de los modos de transporte

En México, la eficiencia de los modos de transporte es baja. Las emisiones generadas por persona son altas en comparación con otros países de transición y el costo que la persona promedio gasta para moverse, en proporción con su ingreso, es de las más altas del mundo (Schipper y Cordeiro, 2007).

Una manera de moverse hacia sistemas de transporte más limpios es renovar la flotilla vehicular de pasajeros. En México la mayor parte de la flotilla vehicular de pasajeros tiene más de 20 años (Embarq, 2015). Junto con los esfuerzos, discutidos arriba, por crecer la parte de la población que usan el Metrobús, se han iniciado los esfuerzos por ampliar y modernizar los camiones de pasajeros conocidos como microbuses. Estos camiones atienden aproximadamente el 60 % de los viajes de transporte público en el Distrito Federal y son una fuente importante de contaminación.

Hasta ahora ha habido pocos avances en la mitigación de emisiones de camiones de carga. Con ayuda de gobierno de Alemania, el gobierno federal ha desarrollado una *NAMA* (por las siglas de *Nationally Appropriate Mitigation Actions*) (UNFCCC, 2015) para el transporte de carga federal, que incluye su renovación, y la adaptación de estrategias, tecnología, y mejores prácticas, a través del apoyo a programas ya existentes, como el Programa de Transporte Limpio, Esquema de Destrucción y Renovación de la Flota Obsoleta y Programa de Financiamiento.

Mejorar la eficiencia del transporte ferroviario y marítimo es asimismo necesario, particularmente si se logra desplazar carga de camiones hacia estos modos de transporte. Aunque las emisiones de estos dos sectores son mucho más bajas que las emisiones por transporte por carretera, que emite tres cuartos del total de emisiones en el categoría de transporte mundialmente, han crecido fuertemente en los últimos años, con una tasa de crecimiento de 66 % para marítimo, y 80 % para aviación entre 1990 y 2012, comparado con 64 % para el transporte por caminos (International Energy Agency - IEA, 2014).

La Organización Marítima Internacional (IMO por sus siglas en inglés), en su tercer reporte de GEI, reporta que las emisiones del sector marítimo crecerán entre 50 % y 250 % para 2050, aún suponiendo una mejoría de eficiencia de 40 % aunque investigaciones citadas en el mismo estudio sugieren que son factibles las mejoras de hasta 60 %. Hasta ahora los miembros del IMO no se han puesto de acuerdo en una meta de mitigación, aunque existen varias propuestas (Cames, Graichen, Faber y Nelissen, 2015). En contraste, en el sector de aviación, que emite la mitad de emisiones comparada con el sector marítimo, ya hay dos metas, uno por parte del IATA (International Air Transport Association, una asociación de las líneas aéreas), otro por parte del ICAO (International Civil Aviation Organization, un organismo de las Naciones Unidas, una asociación con 191 gobiernos). Aunque las dos organizaciones tienen metas similares hasta el año 2035, la del IATA pide reducciones de 50 % para 2050 comparada con el año 2005 (a 407 Mt CO₂-eq), mientras que la meta del ICAO se mantiene en 890 Mt (Cames et ál., 2015).

Transformar para lograr descarbonizar el sector

Mejorar la eficiencia por tecnología se está logrando a escala mundial. Sin embargo, la introducción de las nuevas tecnologías en México es lenta y cara. En México circulan en la actualidad algunos autos híbridos e eléctricos. La entrada a México del auto híbrido Prius de Honda en el año 2002 creó expectativa acerca de la introducción de estos vehículos en la sociedad mexicana, sin embargo, los altos precios, la falta de cultura acerca de estos vehículos y la rugosidad de las calles y carreteras de México, con topes y baches entre otros, lo hicieron poco exitoso en su introducción. Aunque la oferta ha aumentado considerablemente, la demanda ha crecido de manera lenta, y estos vehículos siguen sin llegar al 1 % del mercado total en 2013, con 676 unidades vendidas (Becerril, 2014). Al final de 2014, existían 10 modelos híbridos en el mercado mexicano y cuatro modelos eléctricos (García, 2014).

Para la flotilla vehicular de pasajeros en México, existen varias opciones de combustible. Existen tres tipos de gasolina, la Magna con 92.9 % del mercado, la Premium con 7.1 %, y el diésel con menos de 0.1 % (Pemex Refinación, 2015).

4. Infraestructura y perspectiva sistémica

4.1 Globalización, infraestructura y cambio estructural

La población mundial migra hacia las ciudades. En 2035, de acuerdo con un escenario medio de las Naciones Unidas, la población será de 8.6 mil millones de habitantes. En la actualidad circulan en el planeta cerca de 900 millones de vehículos. Aún cuando las áreas urbanas usan menos del 3 % de la tierra disponible para vivir más del 50 % de la población es urbana (Bansha y Akbar, 2013). El transporte es la fuerza motriz del comercio, la educación, la salud, la economía. Además, el vehículo privado representa, para muchos, un estilo de vida, poder, estatus social y autoestima (Howey, 2012).

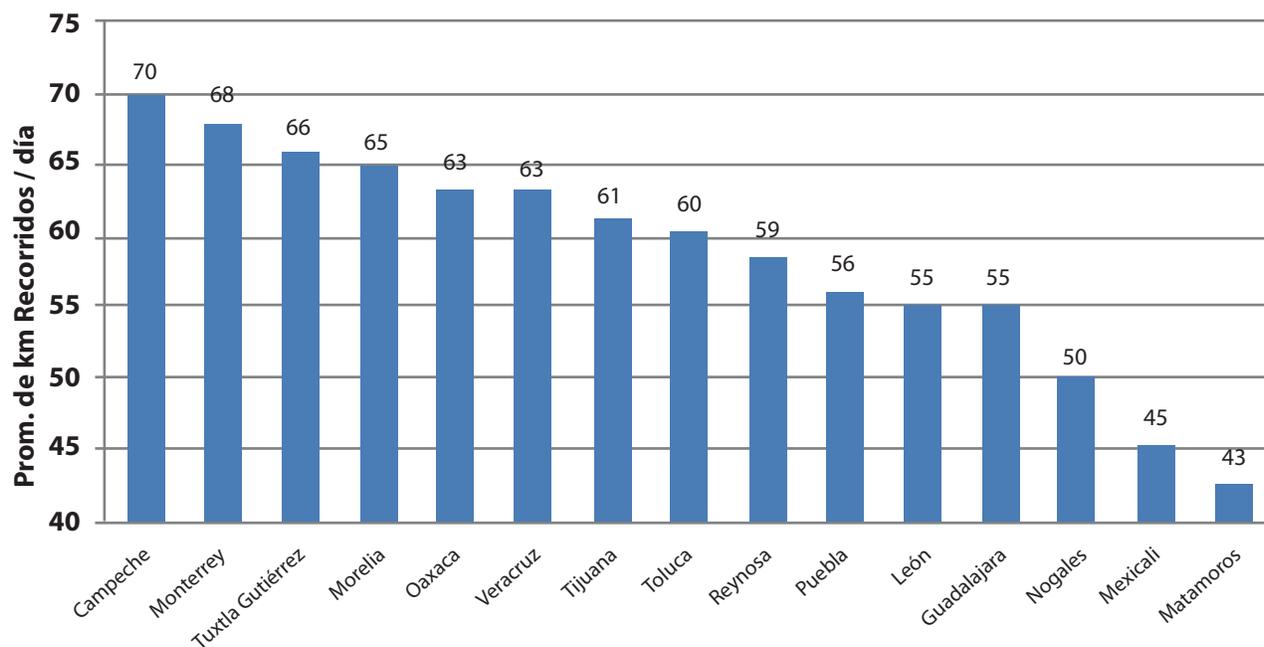
La reducción de las emisiones de GEI implica un cambio en la forma en que vive la gente. Aun cuando en los países del primer mundo se están acoplando las ciudades para la movilidad dinámica (bicicleta, caminar, transporte público) (GTZ, 2007) los países en desarrollo (de Asia, África y América Latina) requieren mover una cantidad de gente de varios órdenes de magnitud que los países europeos o de América del Norte y lograrlo de manera sustentable es su reto.

4.2 Dependencia entre la forma urbana y la movilidad

La población de las zonas metropolitanas en México ha crecido en los últimos años, de 47 % en 1947 a 66 % en 1980, a 79 % en 2015 (Worldometer, basada en información de la ONU, s.f). Con el crecimiento de las ciudades los requerimientos de infraestructura de vivienda, comercios, educación, servicios y movilidad, entre otros, se vuelven imperativos. La estructura urbana es definitiva en el proceso de movilidad de las personas, bienes y servicios.

La teoría económica urbana afirma que la generación de subcentros es espontánea en el crecimiento urbano. Así, cuando el monocentrismo ya no es eficiente surgen los subcentros para restablecer la eficiencia del conglomerado urbano (Fujita, 1999; Alonso, 1964). Además, Levinson y Lumar (1994) describieron las estructuras policéntricas como entes que permiten la co-localización entre empleos y viviendas aunque la observación de Suárez y Delgado (2010) de las ciudades muestra que los procesos de co-localización, aunque existen, no contienen una densidad poblacional crítica y los tiempos de traslado en las ciudades policéntricas son mayores que en ciudades monocéntricas (Cervero, 1997); que las estructuras policéntricas generan traslados cruzados y que las estructuras monocéntricas reducirían hasta por un factor de 8, los traslados al trabajo (Hamilton, 1982).

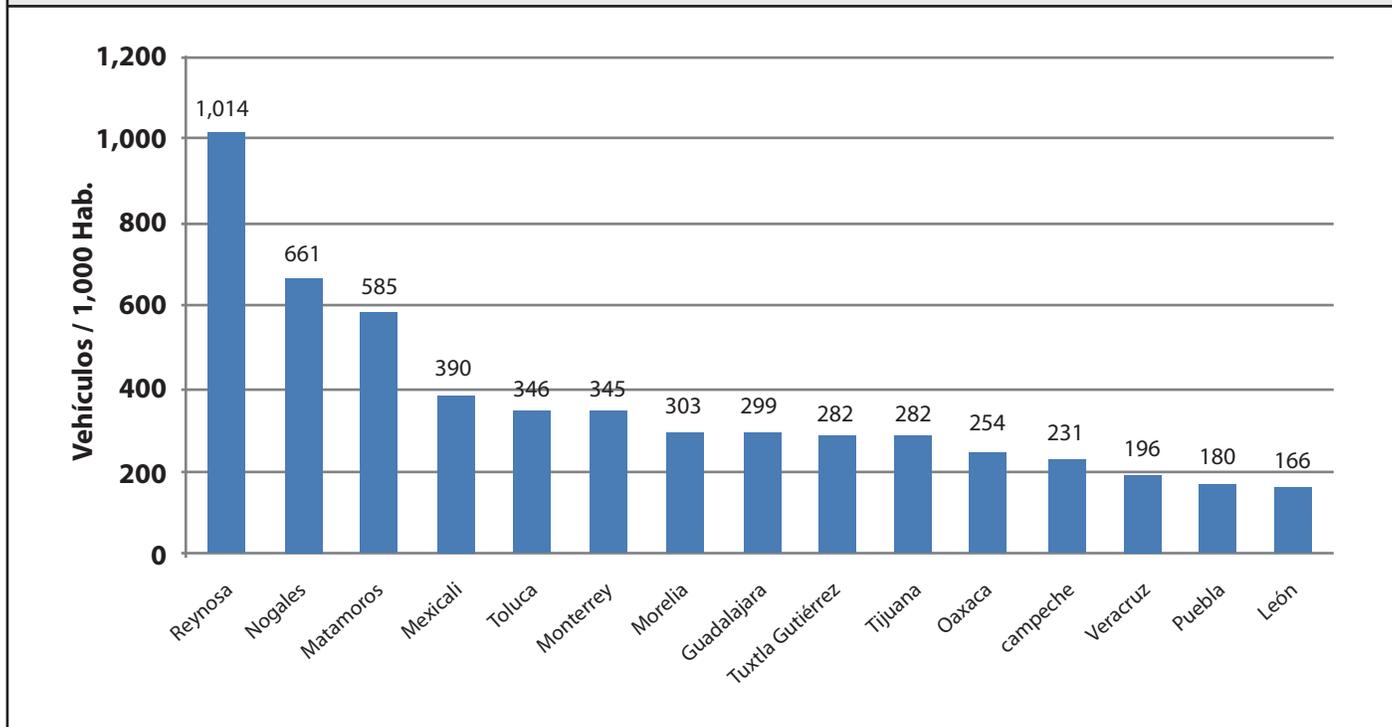
Las ciudades en el país tienden a crecer de forma policéntrica. Suárez (2010) mostró que el policentrismo sin la densidad poblacional crítica crea tiempos de traslado grandes y promueve el uso del automóvil particular viejo y contaminante, como es el caso del sistema Puebla –Tlaxcala. Así, concluye, las políticas urbanas que pretendan fomentar el desarrollo sustentable de las metrópolis deben incorporar el desarrollo en y alrededor de los nodos de empleo existentes de manera que se genere un equilibrio entre empleos y vivienda (Cervero, 1996), tendrán que ser capaces de generar procesos de co-localización y deberán ir acompañadas de políticas de transporte adecuadas a la estructura urbana que resulte de este proceso. La Figura 5 muestra los kilómetros promedio recorridos al día por los vehículos de diferentes ciudades mexicanas.

**Figura 5. Kilómetros recorridos por vehículo en diferentes ciudades mexicanas**

Fuente: (CTS, 2010)

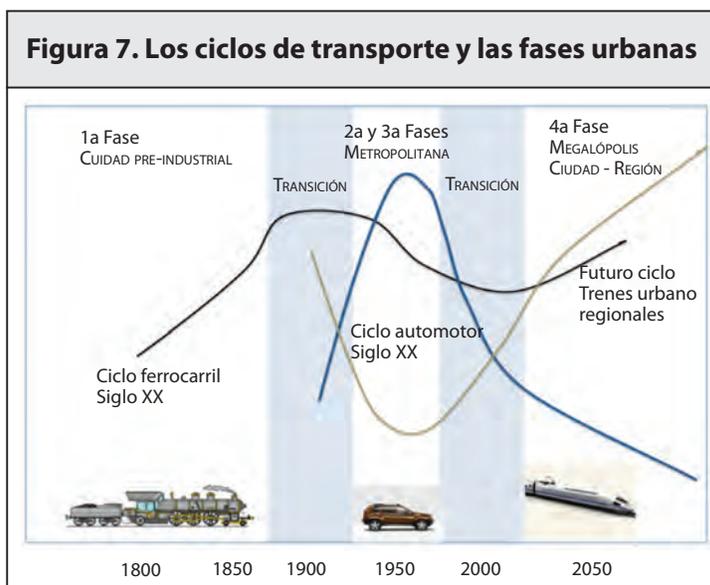
El índice de motorización de la Figura 6 se obtuvo de una muestra de diferentes ciudades mexicanas. Se observa la diferencia entre la motorización de las ciudades del norte del país en comparación con el resto debido a la introducción de vehículos baratos provenientes de Estados Unidos.

Figura 6. Número de vehículos por cada mil habitantes en diferentes ciudades del país



Fuente: (CTS, 2010)

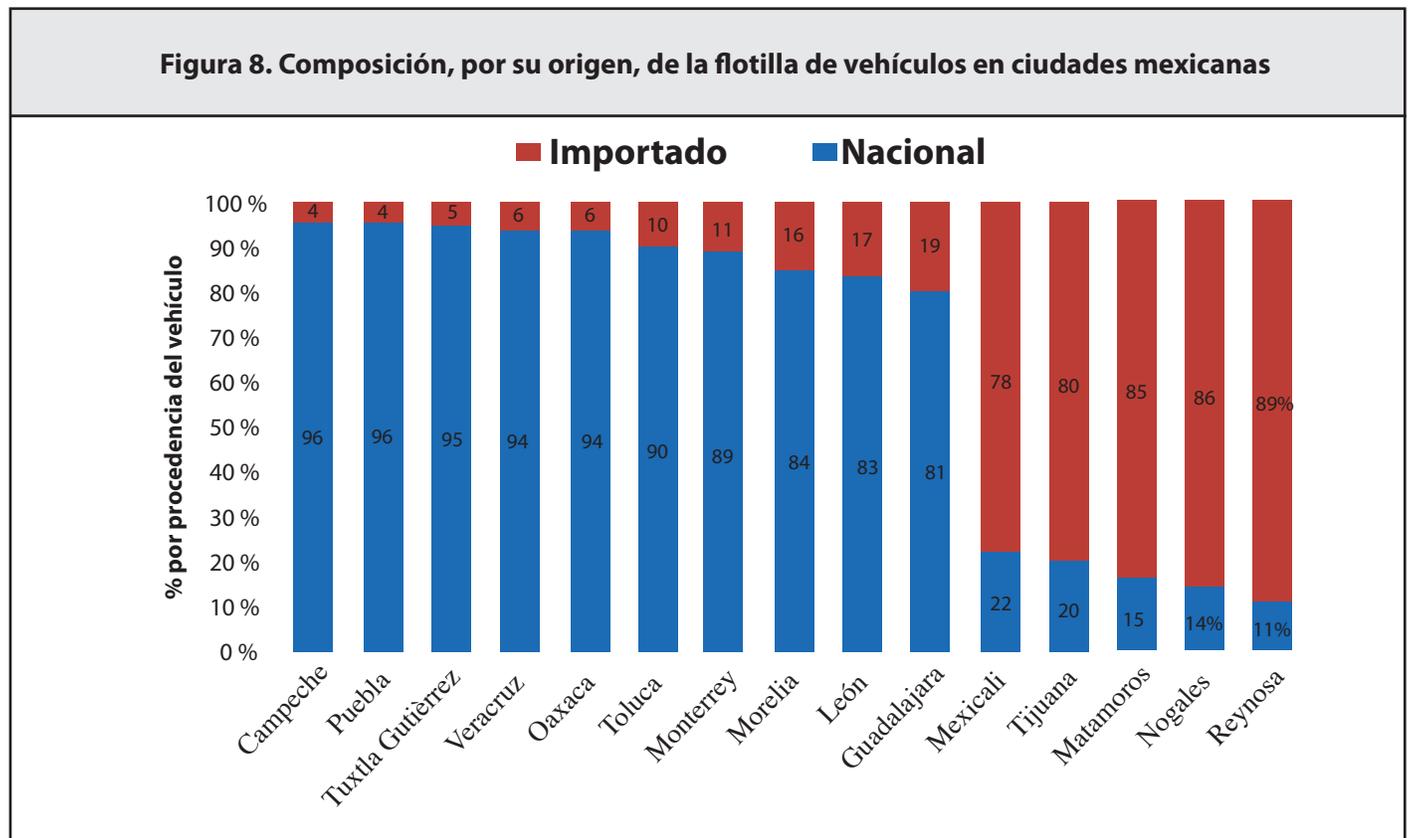
La evolución de los sistemas de transporte con la infraestructura urbana ha sido bien descrita por Delgado (1998). El diagrama de la Figura 7 muestra la asociación entre el crecimiento de las zonas urbanas y los ciclos de transporte. En términos de cambio climático y reducción de emisiones, este diagrama puede interpretarse como la masificación de la movilidad mediante sistemas veloces, puntuales, de gran capacidad y bajas emisiones.



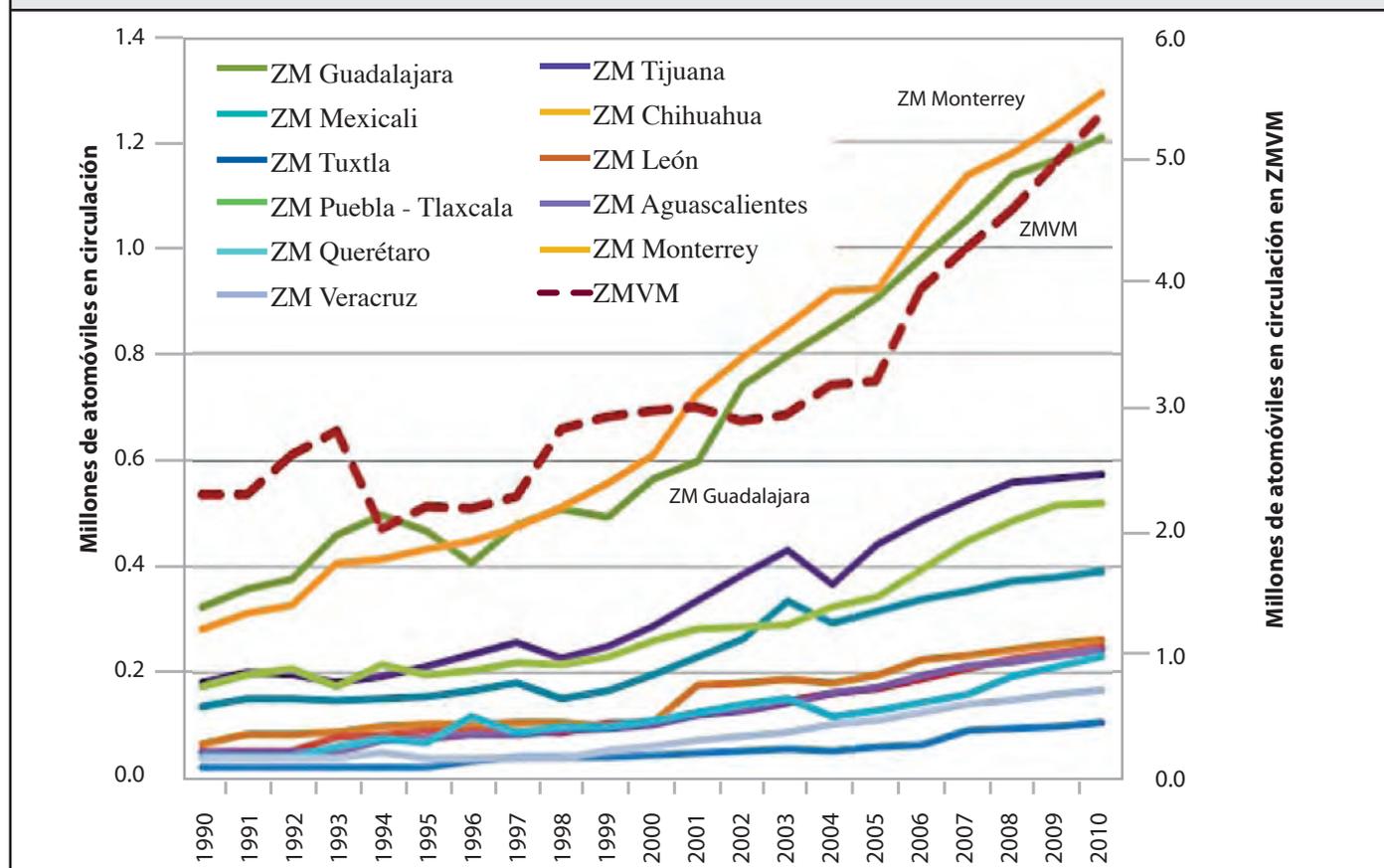
Fuente: elaboración propia con base en Delgado, 1998

4.3 Dependencia del automóvil

La carencia de una oferta de transporte público seguro, puntual, eficiente y accesible en términos económicos hace que la población recurra a la compra de vehículos baratos, contaminantes las más de las veces. Un estudio de emisiones vehiculares en diferentes ciudades de México encontró que algunas ciudades del sureste y la Ciudad de México tienen emisiones más bajas de CO₂, mientras que Reynosa, Nogales y Matamoros presentaron los promedios de emisión de hidrocarburos y monóxido de carbono (CO) más altos lo que puede deberse a la edad vehicular más alta en las ciudades del norte, que suelen comprar vehículos estadounidenses viejos por su bajo precio. La Figura 8 presenta una muestra de la composición de la flota vehicular por su origen. Definitivamente, la zona metropolitana de la Ciudad de México posee la mayor cantidad de vehículos en circulación y su escala es de al menos el doble que en el resto de las zonas metropolitanas (Medina, 2012) La Figura 9 muestra la tendencia de crecimiento de la flota vehicular en las zonas metropolitanas del país.



Fuente: (CTS, 2010)

Figura 9. Población vehicular de las zonas metropolitanas mexicanas

Fuente: (Medina, 2012)

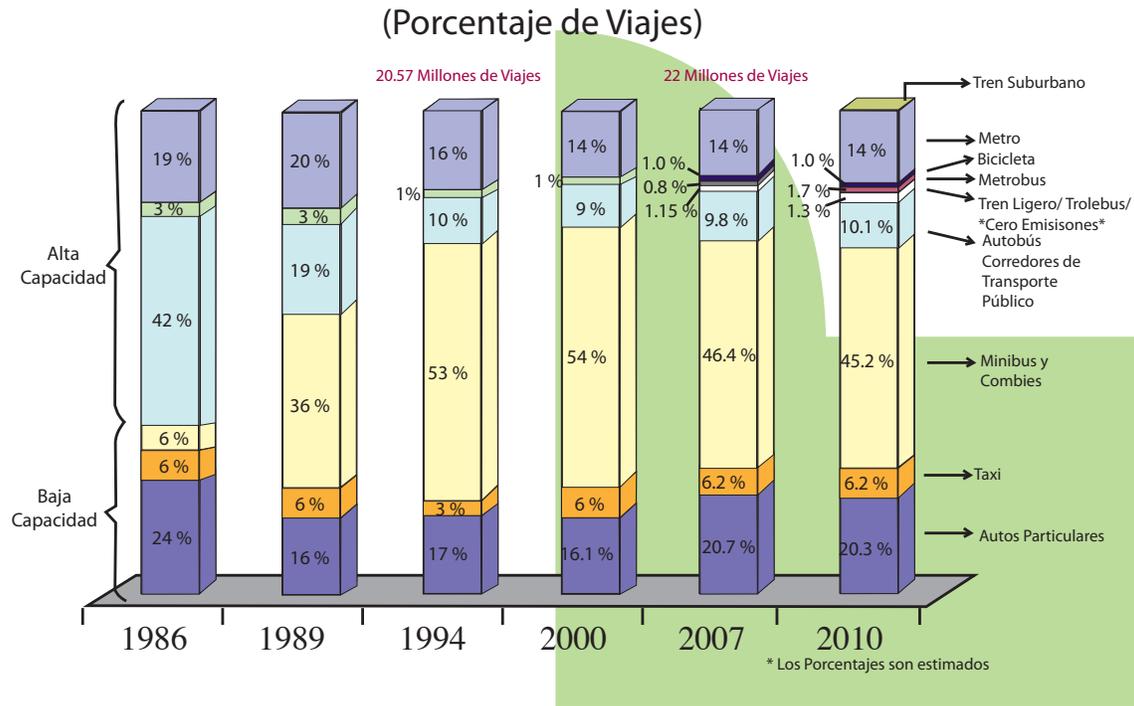
4.4 Reducción del viaje por las tecnologías de información y comunicación

La introducción del internet y las nuevas tecnologías de comunicación han traído como consecuencia que un cierto número de trabajadores a escala global desempeñen su trabajo desde casa evitando con ello emisiones, tanto de gases criterio como de contaminantes de efecto invernadero, les permite administrar mejor el tiempo ahorrado de las horas de transporte. En México, un estudio en Tijuana (2002) mostró que el trabajo femenino en casa proporciona a la mujer un nuevo papel como generadora de dinero aunque puede, por otro lado, reforzar su rol tradicional.

4.5 Reducción del viaje por desplazamiento modal

La sustitución de microbuses por autobuses de gran capacidad y bajas emisiones ha sido una medida que ha reducido las emisiones en varias ciudades de Latinoamérica desde 1974 (Institute for Transportation and Development Policy [ITDP], 2007). En México, la instrumentación del Metrobús en 2006 brindó una opción de traslado en ciertas avenidas de la Ciudad de México y otras grandes ciudades. Esta opción de movilidad incluye una serie de beneficios en términos de emisiones y reducción del tráfico pues al sustituir los denominados microbuses como medios de transporte público, promueven la agilidad de la circulación, la reducción de los tiempos de traslado y la reducción de emisiones (Rogers, 2006). Sin embargo, la mayor movilidad puede conducir a un aumento neto de los viajes en auto por la reducción del congestionamiento de las avenidas (Schipper y Cordeiro, 2007).

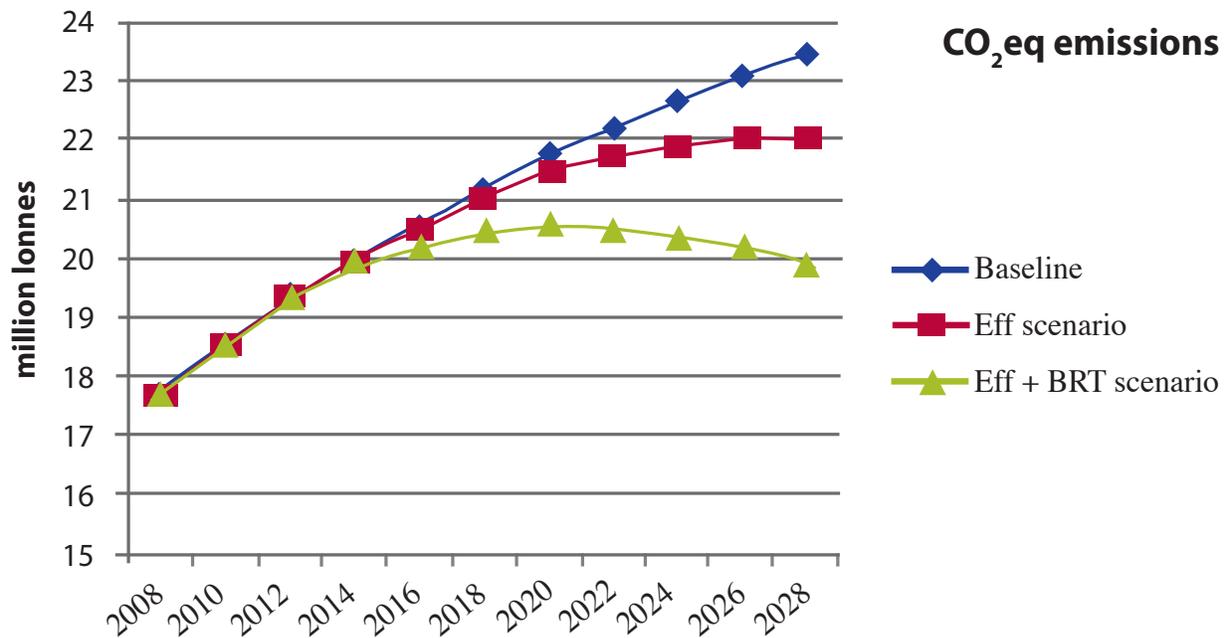
Figura 10. Distribución modal en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México



Fuente: Programa Integral de Transporte y Vialidad (2001-2005) SETRAVI Encuesta origen-Destino 2007

Actualmente, algunas ciudades han incorporado líneas de viaje en carriles confinados para mejorar la distancia de viaje (León, Ciudad de México) y aunque su instrumentación ha ocasionado problemas de diseño, capacitación y trazo, ha probado ser una opción de reducción de la distancia de viaje para muchas personas, principalmente en el tránsito de la casa al trabajo o la escuelas (Chávez y Sheinbaum, 2014). Un escenario de emisiones con el incremento del número de unidades del Metrobús a 2028 en la Ciudad de México, de 221 en 2008 a 2,140 en 2028 produciría la reducción de las emisiones observada en la Figura 11.

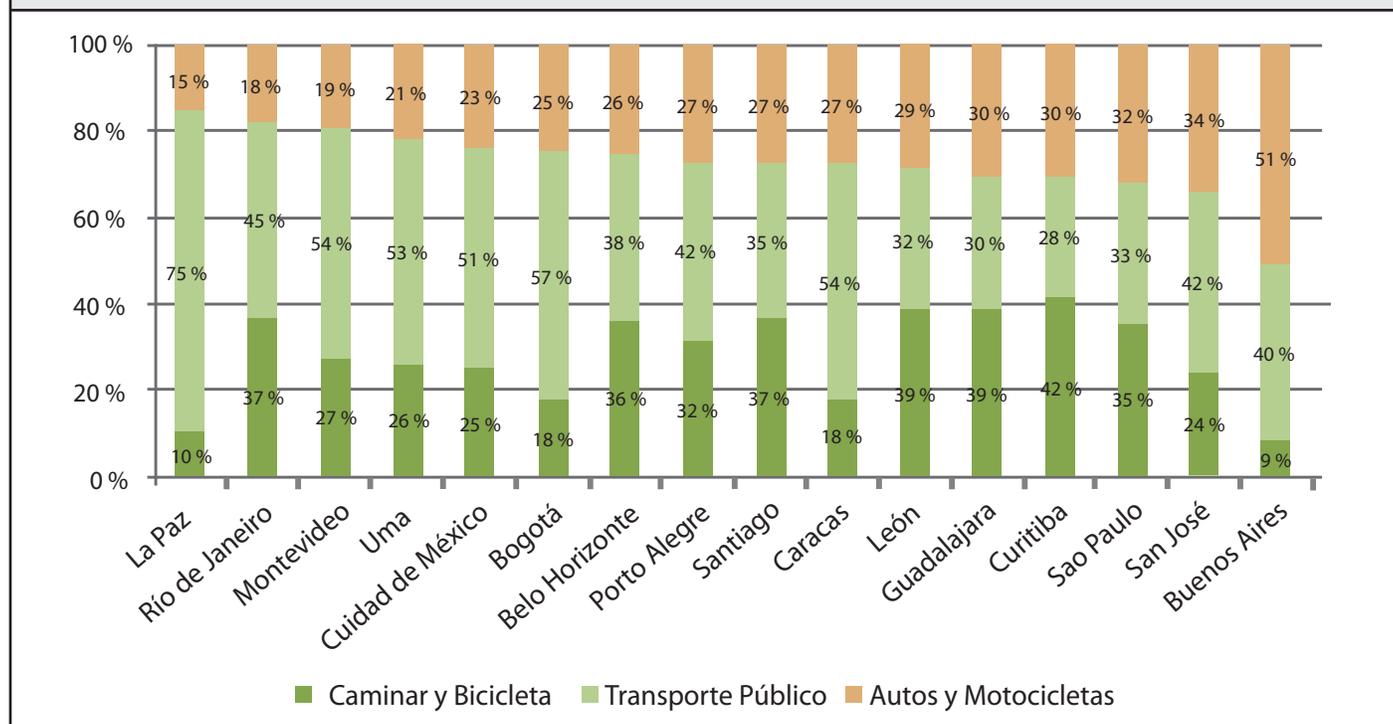
Figura 11. Evolución de las emisiones del sector transporte en la Ciudad de México de 2008 a 2028 con dos escenarios de mitigación



Fuente: (Chávez y Sheinbaum, 2014)

México carece aún de opciones multimodales de transporte. Respecto de América Latina, las opciones se presentan en la Figura 12. Los datos indican que las ciudades de América Latina tienen algunas acciones modales relativamente sostenibles pero se enfrentan a fuertes presiones de la expansión urbana y la motorización. Con la notable excepción de las ciudades brasileñas y Santiago, el transporte público está dominado por pequeños operadores privados que utilizan las denominadas “combis” y los microbuses de empresas pequeñas cuyos operadores compiten por los pasajeros en la calle bajo las reglas de la economía informal. Esto causa graves externalidades negativas: la congestión, la contaminación y los accidentes (Hidalgo y Huizenga, 2012).

Figura 12. Opciones modales en algunas ciudades de América Latina



Fuente: (Hidalgo y Huizenga, 2012) sic

4.6 Reducción de las emisiones por mejoría del combustible

Desde los años de la década de 1990, cuando se empezó a reconocer la contaminación del aire como un problema de salud pública en la Ciudad de México, las emisiones de algunos gases criterio empezaron a ser reguladas por la mejoría del combustible (Programa Integral contra la Contaminación Atmosférica [PICCA], 1990). La reducción del tetraetilo de plomo en la gasolina, desde finales de los años de 1980, y del azufre produjo una reducción importante en la concentración atmosférica de estos contaminantes (Jiménez, 2001; Cortez et ál., 2003; Bravo y Torres 2000).

Los combustibles de las grandes urbes mexicanas han visto reducidos su cantidad de tóxicos y precursores de ozono, en una política dirigida a la mejoría de la salud de las personas y de la calidad del aire. Sin embargo, la política de reducción de las emisiones de los GEI provenientes del combustible son recientes (ver, por ejemplo, la normatividad en materia de emisiones de dióxido de carbono de los vehículos de planta, NOM-163-SEMARNAT-SENER-SCFI-2013) (DOF, 2013). Para el transporte de carga se ha instrumentado una regulación en materia de bajo azufre en el diésel de consumo nacional (NOM-086-SEMARNAT-SENER-SCFI-2005). Los camiones BRT usan diésel ultra bajo azufre (UBA) que ha sido impuesto en México con grandes problemas para su distribución debido a la producción insuficiente en las refinerías mexicanas. En el primer trimestre de 2014 Pemex produjo 94,200 barriles de diésel UBA diarios en promedio (Petróleos Mexicanos [Pemex], 2014b) y, aunque la producción respecto de 2013 aumentó, la cantidad de combustible producido es incapaz de satisfacer la demanda nacional. En la actualidad este combustible se distribuye para el Metrobús y algunas ciudades de la frontera con Estados Unidos de América. En febrero de 2014 Pemex dio a conocer la inversión de 3,400 millones de dólares estadounidenses durante los próximos cuatro años para generar el diésel UBA en las refinerías de Madero, Minatitlán, Salamanca, Salina Cruz y Tula (Pemex, 2014b). Algunos estudios iniciales de exposición de los usuarios del sistema Metrobús respecto de los denominados “microbuses” y autobuses de pasajeros de la Ciudad de México mostraron la reducción de la exposición al monóxido de carbono, benceno y PM2.5 (Wöhmschimmel et ál., 2008).

5. Co-beneficios y riesgos

Las medidas de mitigación de los compuestos de efecto invernadero tienen consecuencias positivas en diferentes aspectos de la vida, entre otros (Brannigan et ál., 2012; IPCC, 2014).

- Mejoría de la calidad del aire debido a la reducción de los contaminantes del transporte.
- Reducción en los niveles de ruido debido a la introducción de vehículos bajos en carbono (por ejemplo, los eléctricos).
- Reducciones en el número y severidad de los accidentes automovilísticos (p.ej. debido a la introducción de políticas de reducción de la velocidad y manejo responsable).
- Incremento en la cantidad de ejercicio físico que lleva a cabo la población por la introducción y motivación a desplazarse a los modos de transporte no motorizados (como caminar y andar en bicicleta).
- Los efectos indirectos relacionados con el ciclo de vida de los vehículos o la infraestructura.

Congestionamiento

El congestionamiento en las ciudades es producto de una política de planeación pobre o rebasada por el crecimiento de la población y consecuente crecimiento de la demanda de transporte. Esta demanda rebasa las capacidades de servicio de la oferta pública de transporte. Adicionalmente, la expansión o el crecimiento extendido de las ciudades con bajas densidades genera una problemática de movimiento de personas, mercancía y flujos económicos que desgasta y debilita la estructura económica de las ciudades.

El congestionamiento del tráfico en las ciudades ocasiona grandes costos ambientales, sociales, a la salud y a la economía del sector laboral y escolar. Bazant establece (2013) la relación entre el beneficio social y el costo social a medida que una vialidad envejece, por tanto, se satura de vehículos con el tiempo. En la Ciudad de México la población de más bajos recursos, que representa el 40 % de los desplazamientos diarios, se desplaza en el 10 por ciento de los vehículos, los de transporte público de pasajeros (Bazant, 2013), con la consabida incomodidad e inseguridad. El restante 60 % de los viajes lo realizan los habitantes de mayores recursos en el 90 % de los vehículos, los privados.

El congestionamiento, es el aspecto el más difícil de mitigar debido a una población citadina creciente que demanda un medio de transporte seguro y directo a sus diversos destinos. Además, las arterias se saturan y la limitación se asocia con la falta de espacio físico para incrementar las vías de transporte. Los costos del congestionamiento son altos. En algunas ciudades de los países desarrollados el costo económico del congestionamiento suele estar asociado principalmente con la economía laboral mientras que en los países en desarrollo y en transición el congestionamiento tiene una fuerte carga social, de contaminación ambiental y de salud (Instituto Mexicano para la Competitividad [IMCO], 2011). De acuerdo con la CTS (2010) el congestionamiento vehicular en la Ciudad de México causa una derrama económica cercana a los 200 millones de pesos por año, además de que desalienta la competitividad y frena el desarrollo económico (IMCO, 2011; ITDP, 2012).

Según un estudio del Instituto Nacional de Ecología (2008), se estimaba que el línea 1 del Metrobús, que corre sobre la Avenida de Insurgentes, ahorraría más de 2 millones de horas de tiempo de traslado para la gente que usa el transporte público en esta vía, con un valor de 1.3 millones de dólares estadounidenses, entre 2005 y 2015.

Accidentes

La Organización Mundial para la Salud (WHO) establece en su reporte anual que 1.17 millones de personas mueren anualmente por accidentes de tránsito carretero y de 20 a 50 millones quedan heridos (WHO, 2013). El setenta por ciento de los accidentes en carretera ocurren en las ciudades de los países en transición (Augustus, 2012). En la actualidad, la muerte en accidentes de tránsito ocupan el noveno lugar mundial de ocurrencia y se elevarán al quinto para 2030 (WHO, 2013).

Co-beneficios a la salud

La introducción de nuevas tecnologías que hacen uso de combustibles alternos es un imperativo en la mitigación. Un co-beneficio a la reducción de emisiones es la reducción de las altas hospitalarias por la mejoría de la calidad del aire. El Cuadro 4 muestra algunos co-beneficios de la introducción de vehículos híbridos en la Ciudad de México al año 2026 (Jazcilevich et ál., 2011). Además, el cuadro 5 muestra algunos co-beneficios por mejorar la flota vehicular a diésel (Jazcilevich et ál., 2013).

Cuadro 4. Co-beneficios resultantes de introducir vehículos híbridos en un escenario a 2026

Impacto a la salud	Población afectada	Casos evitados	Valor monetario (USD)	Beneficios (USD/año)
Mortalidad cardiopulmonar	12'735,958	57 (20:97)	\$300,000	\$17'114,160
Mortalidad por cáncer de pulmón	12'735,958	7 (2:13)	\$300,000	\$2'228,454
Mortalidad respiratoria infantil	375,547	0	\$1'300,000	\$-
Síndrome infantil de muerte súbita	375,547	0	\$1'300,000	\$-
Bronquitis crónica	12'735,958	155 (0:1,926)	\$52,000	\$8'055,938
Días de actividad restringida	18'532,452	197,892 (159,342:236,443)	\$12	\$2'374,708
Días laborales perdidos	11'592,987	21,022		
(17,891:24,152)	\$13	\$273,280		

Fuente: (Jazcilevich et ál., 2011)

Cuadro 5. Co-beneficios por la renovación de la flota vehicular a diésel en el DF bajo tres escenarios 2013 - 2026

Impacto en salud	Casos evitados			Beneficios (USD/año)		
	Escenarios					
	1	2	3	1	2	3
Mortalidad cardiopulmonar	756	605	337	\$226'852,185	\$181'352,097	\$128'072,894
Mortalidad por cáncer pulmonar	98	709	44	\$29'538,678	\$23'614,060	\$16'676,516
Mortalidad respiratoria infantil	2	2	1	\$2'531,215	\$2'023,525	\$1'429,036
Síndrome de mortalidad súbita infantil	<1	<1	<1	\$510,845	\$408,384	\$288,406
Bronquitis crónica	2,054	1,642	915	\$106'783,334	\$85'365,638	\$60'286,176
Días de actividad restringida	2'623,109	2'096,988	126,948	\$31'477,309	\$25'163,857	\$2'045,072
Días de trabajo perdidos	278,645	22,757	124,225	\$3'622,384	\$25'163,857	\$2'045,072
			Total	\$401'315,949	\$320'823,398	\$226'569,099

Fuente: (Jazcilevich et ál., 2013)

Con respecto al Metrobús, un estudio (Instituto Nacional de Ecología – INE, 2008) estimó que el Línea 1 reduciría los días de pérdidas del trabajo por enfermedad en 6,100 días entre 2005 y 2015 y evitar 12 casos nuevos de bronquitis crónica y 3 muertes por año, con un valor de 3 millones de dólares estadounidenses.

Co-beneficios a la calidad de vida

Las medidas que mitigan emisiones de CO₂-eq en el sector de transporte también traen co-beneficios para la productividad y calidad de vida. Según Embarq (2015), el congestionamiento del tráfico en el Distrito Federal le cuesta 2.6 % de su PIB cada año. Según Medina (2012), cuesta 4.6 % en la zona metropolitana de la Ciudad de México. Mejoras en el transporte pueden reducir esta pérdida. Ex post, WRI (2011) señala que el Metrobús de la Ciudad de México ha reducido el tiempo de recorrido en su primer ruta (Insurgentes) de casi dos horas (1.5) a una hora.

6. Políticas del sector

Para que sean eficaces, las políticas de transporte para mitigar el cambio climático tiene, que ser implementadas en todos los niveles del gobierno y así lo contempla el Ley General de Cambio Climático (LGCC). El gobierno federal tiene responsabilidad por transporte federal, las entidades federativas tienen que formular e implementar medidas para mitigar emisiones en el transporte en sus ámbitos y los municipios tienen responsabilidad por un transporte público y privado de pasajeros sustentable. Las tres instancias tienen responsabilidad por la infraestructura de transporte. Las medidas más específicas que se deben de fomentar, según la LGCC son promover el uso de bicicletas, sistemas de transporte integrales, políticas de desarrollo urbano que minimizan necesidades de transporte, promover el trabajo en casa, y apoyo de empresas para sus empleados para fomentar el uso de transporte colectivo (LGCC, 2012). Por su parte, la Secretaría de Energía, a través del Programa nacional para el aprovechamiento sustentable de la energía (Pronase) (SENER, 2014), se compromete a trabajar en incrementar la eficiencia del consumo energético en el sector mediante siete acciones,

- Fortalecer los programas sustitución y chatarrización de vehículos intensivos e ineficientes.
- Diseñar y desarrollar programas de gestión de la energía para flotas vehiculares de uso intensivo.
- Impulsar la movilidad urbana sustentable promoviendo sistemas de transporte masivo y no motorizado.
- Promover el uso del ferrocarril en el traslado de carga y pasajeros.
- Impulsar el desarrollo de planes y acciones para la adopción de tecnologías de combustibles limpios en el transporte.
- Diseñar un plan de acción para garantizar el suministro de diésel de ultra-bajo azufre a nivel nacional.
- Capacitar a transportistas de carga en el uso eficiente de camiones.

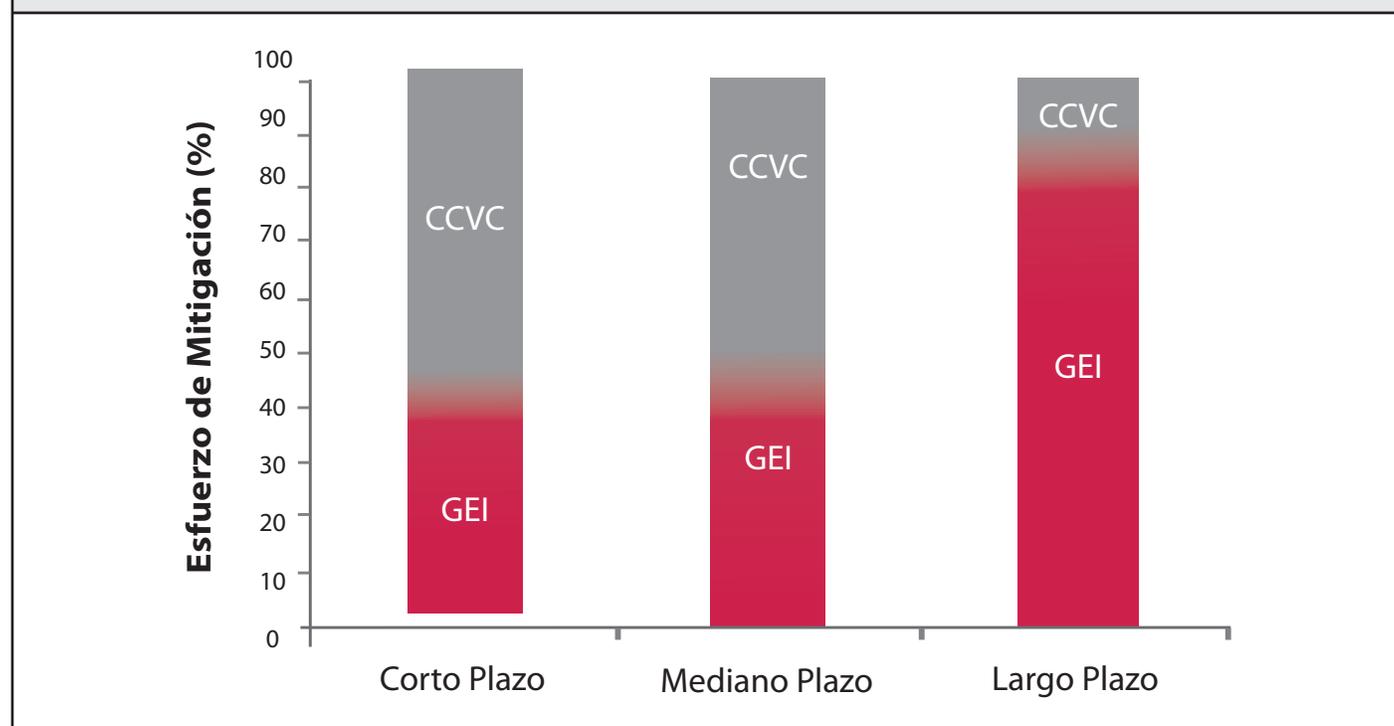
El tema de transporte es una parte importante de la Estrategia Nacional de Cambio Climático, que tiene como meta a 10 años contar con sistemas de movilidad sustentables, para 20 años un sistema de transporte de carga multimodal, eficiente, y de bajas emisiones. Se trata en principalmente en el eje estratégico M3, que es “Transitar a modelos de ciudades sustentables con sistemas de movilidad, gestión integral de residuos y edificaciones de baja huella de carbono.” (Estrategia Nacional de Cambio Climático [ENCC], 2013). El Programa Especial de Cambio Climático (PECC) propone una serie de acciones y estrategias para el gobierno federal. El primer PECC corrió de 2009 a 2012. El PECC actual empezó en 2013 y corre hasta 2017.

En julio de 2012, México tenía un total de 147 proyectos registrados dentro del Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL), de los cuales solo 8 % eran en transporte. Durante 2011 y 2012, el gobierno federal diseñó 12 NAMA¹ incluyendo uno en transporte urbano y otro para transporte de carga federal, ambos enfocados hacia el reforzamiento de programas existentes como PROTRAM y el Programa de Transporte Limpio (5CN). Los programas estatales de acción en materia de cambio climático, y municipales enfatizan la necesidad de una mejor planeación urbana para mitigar las emisiones mediante la mejora del sector transporte, entre otros. Sin embargo, la carencia de instrumentos legales y operativos, dificultan la instrumentación de las medidas recomendadas.

En los sectores de transporte marítimo y aéreo, que han quedado fuera del Protocolo de Kyoto hasta ahora, México sigue las políticas de la IMO y del de la ICAO de los cuales es miembro. Ambas organizaciones han hecho esfuerzos por reducir las emisiones de sus respectivos sectores, aunque serán necesarios mayores esfuerzos.

El control de los contaminantes de vida corta (CCVC) está descrito en la Estrategia Nacional de Cambio Climático visión 10-20-40 como parte fundamental de las políticas de mitigación del cambio climático, y es de particular importancia en las políticas de corto plazo como se puede apreciar en la Figura 12. México ha participado activamente en los esfuerzos internacionales para combatir los CCVC, como se puede ver en el capítulo 11, Cooperación Internacional: Acuerdos e Instrumentos, de este volumen.

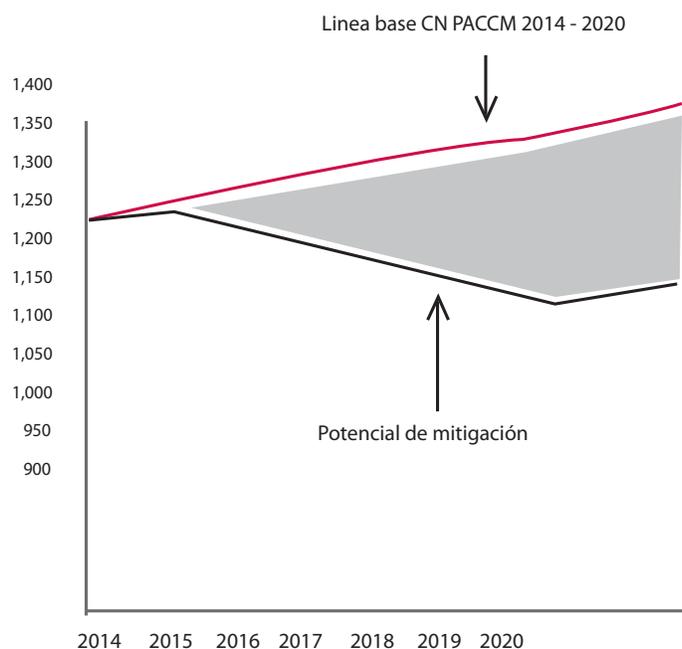
Figura 13. Representación conceptual de la participación de los gases de efecto invernadero y los compuestos de efecto invernadero de vida corta en los esfuerzos de mitigación



Fuente: (Semarnat, 2013)

Además de los esfuerzos nacionales, la Ciudad de México ha hecho esfuerzos por disminuir los compuestos contaminantes de vida corta, en particular las emisiones de carbono negro. Se encontró que el sector de transporte es la mayor fuente de carbono negro, con casi 97 %. Dentro del sector de transporte, los vehículos de diésel por parte de los camiones de carga contribuyó 85 % de las emisiones en esta categoría (SMA – GDF, 2014). En el Plan de Acción de la Ciudad de México, se plantea una reducción en las emisiones de carbono negro de 630 toneladas acumuladas para el 2020, como se puede ver en la Figura 14.

¹ NAMA Acciones de Mitigación Apropriadas al país, son un conjunto de actividades factibles definidas de manera soberana por un país y que conducen a reducción de emisiones de una manera medible, reportable y verificable. En los Acuerdos de Cancún (2010) se reconocen dos tipos de NAMA: los “NAMA unilaterales” que buscan el reconocimiento internacional y los “NAMA Apoyados” que solicitan financiamiento internacional.

Figura 14. Mitigación de emisiones de carbono negro en la Ciudad de México

Fuente: (SMA – GDF, 2014)

Conclusiones

El sector transporte es el que crece con mayor rapidez en México y el mundo así como lo hacen sus emisiones. En México, este sector es el principal emisor de GEI y carbono negro. Por ello, hay una necesidad de una planeación cuidadosa, continua y de largo plazo que involucre todos los sectores gubernamentales y la sociedad.

Reducir las emisiones de transporte en México es una labor complicada debido a lo extenso del territorio nacional. Sin embargo, la densificación de las ciudades es una oportunidad para establecer redes de movilidad eficientes y limpias.

México está creando un robusto marco legislativo para enmarcar las estrategias de mitigación de los contaminantes de efecto invernadero. Sin embargo, la ausencia de medidas contundentes y definitivas siguen haciendo del transporte en México un sector contaminante, inseguro e insuficiente.

Reducir las emisiones del transporte es atemperar los efectos del calentamiento global pero también se traduce en un bienestar de la sociedad, en una mejor calidad de vida y en una mejor salud en general.

Referencias

- Alonso, W.** (1964) *Location and Land Use. Toward a General Theory of Land Rent*. Cambridge: Harvard University Press.
- Ali, M. S., Adnan, M., Noman, S. M. & Abbas, S. F. (2014). Estimation of Traffic Congestion Cost-A Case Study of a Major Arterial in Karachi, *Procedia Engineering*, 77, 37 – 44.
- Ardila, A.** (2012). *Transporte de Carga en México: Retos y Oportunidades*. Presentación recuperada de <http://www.igs.org.mx/sites/default/files/Presentacion%20-%20Transporte%20de%20Carga%20-%20Arturo%20Ardila%20v3.pdf>
- Asociación Mexicana de Distribuidores de Automotores [AMDA]**. (2015) Recuperado el 9 de 08 de 2015, de AMDA: <http://www.amda.mx/2015-04-21-21-33-40/2015-04-15-14-34-43/2015/79-cifras/cifras-2015>
- Asociación Nacional de Productores de Autobuses, Camiones y Tractocamiones [ANPACT]**. (2012) Recuperado el 10 de 10 de 2015, de ANPACT: <http://anpact.com.mx/blog/dialogos-con-la-industria-automotriz-2012-2018-vehiculos-usados/>
- Augustus, A.** (2012). Determinants of road traffic accident occurrences in Lagos State: Some lessons for Nigeria *Int J Humanities Sci* 2, (6), 252-259
- Bachmann, J.** (2009). *Black Carbon: A Science/Policy Primer*. Pew Center on Global Climate Change, Arlington, EUA.
- Bahadur, R., Feng, Y., L. Russell, M. & Ramanathan, V.** (2011). Impact of California's air pollution laws on black carbon and their implications for direct radiative forcing. *Atmos Environ*, 45, 1162-1167.
- Bansh, D. H., Akbar, S.** (2013). Greenhouse gas emission reduction options for cities: Finding the "Coincidence of Agendas" between local priorities and climate change mitigation objectives *Habitat International*, 38, 100-105
- Bansha, D. H., Brodnig, G. & Onoriose, Ch. G.** (2011) Climate change mitigation in the transport sector through urban planning: A review. *Habitat International*, 35, 494-500.
- Bazant, J.** (2013) El creciente costo social del congestionamiento urbano: un ejercicio didáctico. *Cuadernos de Vivienda y Urbanismo*, 6 (12) 208-227.
- Becerril, O.** (2014). *Altos precios limitan venta de híbridos*, *Excelsior*, 26 de febrero de 2014, recuperado de <http://bfc1c332b5c17ae20e62-6cbba7cfb59c65abd107ce24040b0bca.r14.cf2.rackcdn.com/flip-dinero/26-02-2014/portada.pdf>
- Borrego, C., Martins, H., Tchepel, O., Salmim, L., Monteiro, A., Miranda, A. I.** (2006). How urban structure can affect city sustainability from an air quality perspective. *Environmental Modelling & Software*, 21 (4), 461-467.
- Brannigan, C., Gibson, G., Hill, N., Dittrich, M., Schroten, A., van Essen, H. & van Grinsven, A.** (2012) *Development of a better understanding of the scale of co-benefits associated with transport sector GHG reduction policies*. Task 1 paper produced as part of a contract between European Commission Directorate-General Climate Action and AEA Technology plc; www.eutransportghg2050.eu
- Bravo, A. & Torres, R.** (2000). The usefulness of air quality monitoring and air quality impact studies before the introduction of reformulated gasolines in developing countries: Mexico City, a real case study. *Atmospheric Environment* 34, (3), 499-506.
- Cames, M., Graichen, V., Faber, J. & Nelissen, D.** (2015). *Greenhouse gas emission reduction targets for international shipping*. Discussion Paper, Öko-Institut and CE Delft para el Agencia Alemana de Medio Ambiente (UBA). Recuperado de <http://www.oeko.de/oekodoc/2241/2015-023-en.pdf>
- Cervero, R.** (1996) Mixed Land-Uses and Commuting: Evidence From American Housing Survey. *Transportation Research A: Policy and Practice*, 30 (5), 361-377.
- Cervero, R.** (1997) *Paratransit In America. Redefining Mass Transportation*. Library of Congress Cataloging. USA.
- Centro Mario Molina (CMM)**. (2014). *Evaluación del programa Hoy no circula*. Centro Mario Molina. Recuperado de http://centromariomolina.org/wp-content/uploads/2014/06/RE_HNC_20141.pdf
- Centro de Transporte Sustentable [CTS]** (2011) *Estudio de emisiones y características vehiculares en ciudades mexicanas Fase IV: Medición de emisiones en cinco ciudades y análisis de resultados globales*. Centro de Transporte Sustentable de México, A.C. Informe final bajo contrato No. INE/ADE-037/2010 para el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. México.
- Chávez, C. & 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.
- Cortez, M., Téllez, M., Gómez, H. y Hernández, M.** (2003). Tendencia de los niveles de plomo en la atmósfera de la zona metropolitana de la Ciudad de México. 1988-1998. *Salud Pública Méx* 45(sup 2), 96-202.
- Cruz, X.** (2013). Oportunidades de mitigación de cambio climático: Forzantes de vida corta en el Transporte de la Ciudad de México *Revista Digital Universitaria* 14, (9), 1607 – 6079.

- Dargay, J., Gately, D. & Sommer, M.** (2007). *Vehicle Ownership and Income Growth, Worldwide: 1960-2030*, Washington, USA: International Monetary Fund.
- Delgado, J.** (1998). *Ciudad-Región y transporte en el México Central Un largo camino de rupturas y continuidades*. Colección Ciudad y Región, UNAM y Plaza y Valdés Editores, México.
- Embarq.** (2015). *Reporte nacional de movilidad urbana en México 2014-2015*. ONU Habitat, México. 101
- Esceland, G. S., & Feyzioglu, T.** (1997) Rationing Can Backfire: The 'Day without a Car' in Mexico City. *The World Bank Economics Review*, 11 (3), 383-394.
- Esceland, G.S.** (1996) "Environmental Protection and Optimal Taxation: A Delegation Result". *Development Research Group, World Bank*, mimeographed.
- Estrategia Nacional de Cambio Climático [ENCC].** (2013). *Estrategia Nacional de Cambio Climático. Visión 10 – 20 – 40*. Gobierno de la República, México.
- Fujita, M.** (1999) *Location and Space-Economy at half a century: Revisiting Professor Isard's dream on the general theory*, The Annals of Regional Science, Springer, vol. 33 (4), pages 371-381.
- Gallego, F., Montero, J. & Salas, C.** (2013). The effect of transport policies on car use: Evidence from Latin American cities, *Journal of Public Economics*, 107, 47-62
- García, G.** (2014). *Cuántos y cuáles son los híbridos a la venta en México*, Motorpasión, recuperado de <http://www.motorpasion.com.mx/tecnologia/cuantos-y-cuales-son-los-hibridos-a-la-venta-en-mexico>
- Gobierno del Distrito Federal [GDF].** (2010). *Informe de avances 2010*. Programa de Acción Climática 2008-2012, Gobierno del Distrito Federal.
- GDF.** (2014). Decreto por el que se expide el Programa Hoy No Circula en el Distrito Federal. *Gaceta del Gobierno del Distrito Federal XVII época*, 1882, 4-12.
- Gobierno de la República.** (2013). *Plan Nacional de Desarrollo*. Recuperado de file:///Users/johanna_koolemans-beynen/Downloads/PND.pdf.
- Hamilton, B.** (1982), Wasteful Commuting. *Journal of Political Economy* 90, pp. 1035-1053.
- Hidalgo, D. & Huizenga, C.** (2012). Implementation of sustainable urban transport in Latin America. *Research in Transportation Economics*, 40 (2013) 66-77.
- International Council on Clean Transportation [ICCT].** (2012) European Vehicle Market Statistics. http://www.theicct.org/sites/default/files/publications/Pocketbook_2012_opt.pdf
- Institute for Transportation and Development Policy [ITDP].** (2012) Transforming urban mobility in Mexico Institute for Transportation and Development Policy (ITDP Mexico). Recuperado de <http://mexico.itdp.org/wp-content/uploads/Transforming-Urban-Mobility-in-Mexico.pdf>
- ITDP.** (2007) *The BRT Planning Guide*. Recuperado el 29 de 10 de 2015, de ITDP: <https://www.itdp.org/the-brt-planning-guide/>
- Instituto Mexicano para la Competitividad [IMCO].** (2011). *Viviendas para desarrollar ciudades. Índice de Competitividad en Materia de vivienda 2011*. Instituto Mexicano para la Competitividad. Recuperado de http://imco.org.mx/indices/documentos/2011_INCOMUV_Libro_Viviendas_para_desarrollar_ciudades.pdf
- Instituto Nacional de Ecología [INE].** (2008). *The benefits and costs of a bus rapid transit system in Mexico City*, Instituto Nacional de Ecología, recuperado de <http://www.gtkp.com/assets/uploads/20091206-204043-5441-Metrobus%20Mexico%20Phase%20III.pdf>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI].** (2015) Recuperado el 30 de 11 de 2015, de INEGI: <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/encuestas/hogares/especiales/ei2015/default.aspx>
- International Energy Agency [IEA].** (2014). *CO₂ emissions from fuel combustion highlights*. International Energy Agency Recuperado de <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/CO2EmissionsFromFuelCombustionHighlights2014.pdf>
- Jazcilevich, A., García Reynoso, A., Grutter, M., Delgado, J., Diego Ayala, U., Suarez Lastra, M., Zuk, M. Gonzalez Oropeza, R., Lents, J. & Davis, N.** (2011). An evaluation of the hybrid car technology for the Mexico Mega City, *Journal of Power Sources*, 196, 5704–5718.
- Jazcilevich, A., Cruz-Núñez, X., Rojas-Rueda, A., Tripp Rivera, M.J., Ruiz-Suárez, L.G. & García Reynoso, M. A.** (2013). *Programa de acción para reducir las emisiones en la flota vehicular a diésel en el Distrito Federal* Informe técnico no. CPSG/0109A/2012 elaborado por el Centro de Ciencias de la Atmósfera para la Secretaría de Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal.
- Jiménez, C.** (2001). *La contaminación ambiental en México: causas, efectos y tecnología apropiada*. México; Limusa, Colegio de Ingenieros Ambientales de México, A.C., Instituto de Ingeniería UNAM y FEMISCA. 926 pp. ISBN 6042-X.
- Johnson, T., Alatorre, C., Romo, Z. y Liu, F.** (2009) *México: Estudio sobre la Disminución de Emisiones de Carbono*, recuperado el 20 de 11 de 2015, de ESMAP: <https://www.esmap.org/sites/esmap.org/files/WB%20MX%20MEDEC%20Spanish%20Nov%2009.pdf>
- McKinnon, A., Palmer, A. & Edwards, J.** (2008). *Reliability of Road Transport from the Perspective of Logistics Managers and Freight Operators*. Reporte preparado para el Joint Transport Research Centre of the OECD and the International Transport Forum. Edinburgo, Reino Unido.

- Medina, S.** (2012). La importancia de reducción del uso del automóvil en México. ITDP, disponible en línea en: <http://mexico.itdp.org/wp-content/uploads/Importancia-de-reduccion-de-uso-del-auto.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas** [ONU] Hábitat. (2011). *Estado de las ciudades de México 2011*. Sedesol, México.
- Petróleos Mexicanos** [PEMEX]. (2014a). Pemex Refinería, n.d. Recuperado de <http://www.ref.pemex.com/index.cfm?action=content§ionid=11&catid=19>
- PEMEX** (2014b) *Petróleos Mexicanos Primer informe trimestral 2014* Artículo 71 (párrafo primero) Ley de Petróleos Mexicanos. Recuperado de http://www.pemex.com/acerca/informes_publicaciones/Documents/Articulo%2071/Primer_Informe_Trimestral_2014.pdf
- PEMEX** (2015) *Memoria de labores 2014* Petróleos Mexicanos. México, 199 pp. Recuperado de http://www.pemex.com/acerca/informes_publicaciones/Documents/memorias/completas/Memoria_de_Labores_2014.pdf
- Programa Integral contra la Contaminación Atmosférica** [PICCA]. (1990) Un compromiso común. Departamento del Distrito Federal, México. 78 pp. <http://www.sedema.df.gob.mx/flippingbook/picca/>
- Riveros, H.** (2009). Análisis del programa Hoy no circula. Ciencia 76- 83, Enero-marzo.
- Rogers, J. L. & Schipper, L.** (2006). Measuring the Emissions Impact of a Bus Rapid Transport Project in Mexico City. Reporte preparado para the Transportation Research Board 2005 Annual Meeting. Washington, DC: Transportation Research Board.
- Schipper, L., & Cordeiro, W. Ng.** (2007). *Measuring the carbon dioxide impacts of urban transport projects in developing countries* World Resources Institute.
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes** [SCT]. (2015). *Estadística básica del autotransporte federal 2013*. Portal de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Recuperado de <http://www.sct.gob.mx/transporte-y-medicina-preventiva/autotransporte-federal/estadistica-basica-del-autotransporte-federal/2013/>
- Secretaría de Energía** [SENER]. (2014). *Programa nacional para el aprovechamiento sustentable de la energía 2014-2018*. Secretaría de Energía. Recuperado de http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5342503&fecha=28/04/2014
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales** [SEMARNAT]. (2009). *México Cuarta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales e Instituto Nacional de Ecología., México.
- SEMARNAT.** (2012). *México Quinta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales e Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, México.
- SEMARNAT.** (2013). *Inventario nacional de emisiones de gases de efecto invernadero 1990 – 2010*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales e Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, México DF, México. 412 pp. Recuperado de <http://www.inecc.gob.mx/cpcc-lineas/1165-inem-1990-2010>
- Senado de la República, Comisión de Vivienda.** (2015). México Compacto: Las condiciones para la densificación urbana inteligente en México http://www.senado.gob.mx/comisiones/vivienda/docs/mexico_compacto.pdf
- Sheinbaum, C.,** García Robles, C., Solís Ávila, J. C. y Chávez, C. (2011). *Escenarios de consumo de energía y emisiones de gases de efecto invernadero del transporte de pasajeros en la Zona Metropolitana del Valle de México en Centro Virtual de Cambio Climático Estudios realizados Primera y Segunda fase* Jesús Efrén Ospina Noreña, Carlos Gay García, Cecilia Conde y María Amparo Martínez (Compiladores) Centro de Ciencias de la Atmósfera y Centro Virtual de Cambio Climático de la Ciudad de México Universidad Nacional Autónoma de México.
- Sims, R.,** Schaeffer, R., Creutzig, F., Cruz-Núñez, X., D'Agosto, M., Dimitriu, D., Figueroa Meza, M.J., Fulton, L., Kobayashi, S., Lah, O., McKinnon, A., Newman, P., Ouyang, M., Schauer, J.J., Sperling, D. & Tiwari, G. (2014). Transport. In: *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. Figure 8.1
- Solís, C. & Sheinbaum, C.** (2013) Energy consumption and greenhouse gas emission trends in Mexican road transport Energy for sustainable development 17 (3), 280-287.
- Secretaría de Medio Ambiente, Gobierno del Distrito Federal** [SMA – GDF]. (2014). *Programa de Acción Climática de la Ciudad de México 2014-2020*, Secretaría de Medio Ambiente del Distrito Federal. Recuperado de <http://www.sedema.df.gob.mx/sedema/images/archivos/temas-ambientales/cambio-climatico/PACCM-2014-2020completo.pdf>
- Suárez, M.** (2010). *Eficiencia urbana: aspectos de planeación urbana para la mitigación de emisiones del sector transporte*. En: L.G. Ruiz y X. Cruz (Coords.) Estrategias para la mitigación de gases de efecto invernadero de Puebla, México. Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM. Preparado para la Red de Monitoreo Automático de Puebla, SMRN Puebla.
- Suárez, M. y Delgado, J.** (2010). Patrones de movilidad residencial en la Ciudad de México como evidencia de co-localización de población y empleos, *EURE*, 36 (107), 67-91.

The United Nations Framework Convention on Climate Change [UNFCCC]. (2015). Definición tomada de http://unfccc.int/cooperation_support/nama/items/7476.php

Wang, L., Xu, J., Xheng, X. & Qin, P. (2013). Will a driving restriction policy reduce car trips? A case study of Beijing, China. *Environment for Development Discussion paper*, 13-11

World Health Organization [WHO]. (2013) Recuperado el 03 de 10 de 2015 de WHO: http://www.who.int/gho/publications/world_health_statistics/2013/en/

Wilmsmeier, G., Monios, J. & Rodriguez, J. (2015). Drivers for Outside-In port hinterland integration in Latin America: The case of Veracruz, Mexico. *Research in transportation business & Management*, 14, 34-43.

Wöhmschimmel, H., Zuk, M., Martínez-Villa, G., Cerón, J., Cárdenas, B., Rojas-Bracho, L. & Fernández-Bremauntz, A. (2008). The impact of a Bus Rapid Transit system on commuter's exposure to benzene, CO, PM2.5, and PM10 in Mexico City. *Atmos Environ* 42, 35, 8194-8203.

Wong, P. (2009) Ordenamiento ecológico y ordenamiento territorial: retos para la gestión del desarrollo regional sustentable en el siglo XXI. *Estudios sociales*, 17, 11-39.

World Resources Institute [WRI]. (2011) *Federal Government of Mexico (PROTRAM) leads improvements in urban mobility by providing funds to public transit projects*. World Resources Institute, recuperado de <http://www.wri.org/our-work/top-outcome/federal-government-mexico-protram-leads-improvements-urban-mobility-providing>

Worldometer (s.f.) recuperado de <http://www.worldometers.info/world-population/mexico-population/>



Capítulo 5

EDIFICIOS

Autor líder: Juan Raymundo Mayorga Cervantes¹²

Autoras contribuyentes: Liliana Eneida Sánchez Platas¹³ y
Alejandra Straffon Díaz³

³UCCS Unión de Científicos Comprometidos con la Sociedad,

¹²IPN ESIA Tecamachalco Sección de Estudios de Posgrado e Investigación,

¹³UTM Universidad Tecnológica de la Mixteca.

Palabras clave: Mitigación, cambio climático, edificios, áreas urbanas, políticas, emisiones.

Resumen

Debido a los riesgos generados por el cambio climático son imprescindibles las medidas de mitigación en el país, particularmente en las áreas urbanas, donde se concentran los asentamientos humanos más numerosos, tan sólo en 2010 la población urbana era del 77.8 % del total de los habitantes, es decir, más de 87 millones de personas (INEGI, 2010).

México está participando activamente en la elaboración de políticas climáticas en los tres niveles de gobierno, siendo el nivel federal el más articulado, en tanto que los gobiernos municipales se encuentran apenas comenzando dicho esfuerzo, ya que sólo el 2.84 % de los municipios cuenta con un Plan de Acción Climática (Delgado, De Luca y Vázquez, 2015).

De acuerdo con Delgado et ál. (2015) el consumo *per cápita* de energía a escala urbana es variable y se relaciona directa e indirectamente con factores biofísicos, económicos, sociales, niveles y tipologías de urbanización, entre otros. Una estimación de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) en las tres principales zonas metropolitanas del país (Monterrey, Guadalajara y Ciudad de México) expuso que estas representaban en el año 2010 aproximadamente el 15 % de las emisiones nacionales.

Para analizar de manera más robusta los asentamientos urbanos, se considera útil sumar el análisis de flujos de energía y materiales, y la conformación de stocks urbanos como la infraestructura y el parque vehicular. En dichas áreas urbanas los edificios están expuestos a los riesgos provocados por el cambio climático, por lo que es necesario adoptar medidas de mitigación que permitan transformarlos en espacios arquitectónicos de alta eficiencia energética, es decir, que consuman una menor cantidad de energía derivada del petróleo.

Se presenta una síntesis de los estudios asociados a la tendencia y manejo del consumo de energía en edificios, las opciones y prácticas de tecnologías de mitigación en estos así como el surgimiento de los instrumentos de política pública ambiental en la materia, como los programas de certificación de edificaciones sustentables, y, en general, brindar información que sirva como marco de referencia a tomadores de decisiones en gestión y construcción de políticas públicas de los sectores sociales, públicos y privados.

Introducción

La reversión del crecimiento de las emisiones de GEI y los objetivos de reducción propuestos por México requieren de la “descarbonización” de la electricidad (Veysey, Calvin y Octaviano, 2015). Los principales sectores que utilizan electricidad son el residencial, de comercio y servicios. El consumo de energía en el país por los edificios representa casi el 19 % de la demanda total nacional de los que el 16 % se utiliza en el sector residencial y el 3 % se reportó para el consumo comercial en estas construcciones (Griego, Hernández y Krarti, 2015). Sin embargo, una parte del gasto de energía industrial en realidad es resultado del uso final de los edificios comerciales debido a que la Comisión Federal de Electricidad (CFE) agrupa a los clientes no residenciales por voltaje. Los edificios comerciales se clasifican como de bajo voltaje pero varias instalaciones del sector de servicios incluidos los hospitales, hoteles, escuelas, comercios y restaurantes son usuarios industriales medianos. Por lo tanto, el empleo de energía atribuido a este sector está subestimado en gran medida por la falta de un estudio preciso de las acciones y características de este rubro (Liu, 2010).

1. Tendencia y manejo del consumo de energía en edificios

Los hogares urbanos tienen mayor número de equipos tales como refrigeradores, lavadoras y televisores, por ello consumen más energía que sus contrapartes rurales (Griego, Hernández y Krarti, 2012). Además, se estima que la cantidad de viviendas alcanzará casi los 50 millones en 2030 (Liu, 2010) y esto requiere pensar en la importancia de implementar medidas de eficiencia energética en los edificios, tanto en viviendas nuevas como en las ya existentes.

Se estiman que para el año 2021 podría ocurrir un ahorro acumulado de 22.605 gigawatt-hora (GWh) como consecuencia de la aplicación de los programas de gobierno en materia de eficiencia energética y representaría una reducción acumulada de las emisiones de CO₂ de 15,087 teragramos (Tg) (Rosas, J., Rosas, D. y Morillón, 2010). Esto significa que México puede disminuir en 5,650 megawatt (MW) la capacidad de generación del sistema eléctrico nacional, y evitaría la quema de 40.35 millones de barriles (MMb) de petróleo; los resultados pueden ser útiles para los responsables políticos, así como los usuarios de los aparatos electrodomésticos.

Morales et ál. (1998), proponen sistemas de ahorro de energía convencional en la Ciudad de México para que propicien una disminución en la contaminación ambiental. Además, a través de este estudio determinaron los hábitos y necesidades de consumo de energía para la ciudad y desarrollaron el cálculo y la descripción de sistemas que utilizan como fuente de abastecimiento a la energía solar a partir de la información meteorológica normalizada.

2. Opciones y prácticas de tecnologías de mitigación

En relación con las opciones y prácticas tecnológicas, Morillón y Morales (2012), plantean una forma concreta y sencilla de abordar técnicas y materiales respetuosos con el medio ambiente que permitan obtener ventajas ambientales en la planeación, diseño, construcción y operación de los edificios, de tal forma que se pueda lograr el equilibrio entre medio ambiente, modernidad e infraestructura, con el objetivo de que las futuras generaciones disfruten de los mismos beneficios que la generación actual.

Hernández y Morillón (2013), proponen un modelo de análisis que describe el comportamiento térmico de un sistema de descarga de calor en techos, mediante la definición de las dimensiones del sistema para las condiciones ambientales de la ubicación en la que se va a utilizar. Por otra parte, también se expone un modelo analítico que describe el comportamiento térmico de un sistema de descarga de calor en azoteas cuando las superficies que lo componen no son translúcidas, este modelo puede emplearse para simular la conducta térmica de un sistema de descarga de calor en techos con áreas opacas (Hernández et ál., 2011),

Tovar, Gordon y Figueroa (2014), plantean que el buen funcionamiento térmico de una azotea verde depende en gran medida de que las condiciones de conservación de sus elementos constructivos sean adecuados, para lo cual, presentan una guía donde establecen los requisitos que debe cumplir el tipo de vegetación que se utilizó y que vaya de acuerdo a la azotea verde

que se quiere, es decir, si esta es extensiva o semi-extensiva. El manual es desarrollado para azoteas construidas en el Área Metropolitana de la Ciudad de México y especifica que para estos casos siempre debe tenerse una visión amplia de las necesidades de demanda entre el clima, el edificio y la vegetación.

Hernández y Morillón (2013), exponen que un techo que sirve para controlar el exceso de calor (techo fresco), puede ser cualquier tipo de techumbre considerada ordinaria que cuente con un recubrimiento reflectante en la superficie exterior, que dará como resultado un alta reflectancia solar y una elevada emisividad térmica, permitiendo que dichas azoteas mantengan una temperatura inferior a la de un techo sin ese tipo de recubrimiento y en las mismas condiciones climáticas.

Cerón et ál. (2013), plantean estrategias de sustentabilidad orientadas a reducir las emisiones de GEI, asociadas a la energía, y para ello estudian el consumo energético en un barrio de Mérida, Yucatán, en México; así mismo sostienen que en los países de América Latina, el rápido crecimiento de las áreas urbanas ha llevado a problemas complejos como la contaminación ambiental, la sobreexplotación de los recursos naturales y el aumento de las emisiones de GEI.

La combinación de todas estas estrategias puede prevenir la producción de hasta 1.06 toneladas de CO_2 / año; esto representa el 67 % de las emisiones procedentes de un hogar típico de referencia, de los cuales el 34 % se evita mediante ecotecnologías, el 24.5 % debido a la existencia de espacios verdes y el 8.4 % por el cambio en la logística de los alimentos; así para la escala de la ciudad que es de aproximadamente 112,000 viviendas, esto representaría 100,352 toneladas / CO_2 / año (Cerón et ál., 2013).

Por su parte, los resultados de un análisis de optimización energética estudiado por Griego et ál. (2015) indican que el potencial más rentable para la conservación de energía en oficinas, nuevas y existentes, se puede lograr mediante la reducción de las cargas de sus equipos y la adopción de una tecnología de iluminación más eficiente, otro estudio realizado en Guanajuato arroja que con respecto a las casas habitación el mayor énfasis debe ponerse en la aplicación de los niveles mínimos de aislamiento térmico que evitarían la adopción de sistemas de refrigeración y calefacción mecánicos (Griego et ál., 2012).

La preocupación por la eficiencia energética residencial en México ha impulsado el desarrollo de diversas Normas Oficiales Mexicanas (NOM) para la energía que buscan mejorar los estándares de rendimiento en los aparatos electrodomésticos grandes. Además, la Comisión Nacional de Vivienda (CONAVI) ha emitido este tipo de normas en el sector de vivienda, entre ellas el Código de Edificación de Vivienda (CEV) y recientemente estableció un sistema de subsidios otorgados a algunos desarrolladores que siguen las directrices CEV para la conservación de la energía (Griego et ál., 2012).

El CEV cubre todas las áreas de la construcción residencial, incluyendo agua, alcantarillado, diseño estructural y del espacio, instalación eléctrica, así como la energía y la sostenibilidad. Muchos de los requerimientos de energía descritas en el CEV están vinculados a las NOM incluyendo criterios para la eficiencia de los calentadores de agua, de los calentadores solares de agua y del aire acondicionado. Sin embargo, algunas recomendaciones de sostenibilidad dadas para cada zona climática son ambiguas (Griego et ál., 2012).

En México se aplican diversos programas de certificación para edificaciones sustentables que, aunque no tienen un carácter obligatorio (Young, 2014), sí representan medidas de mitigación al cambio climático en las ciudades donde ya se están implementando.

Löhnert, Dalkowski y Sutter (2003) dicen que los criterios que se pretenden aplicar en los distintos momentos del proceso de creación y operación de dichos edificios son:

- Lo elemental o básico del edificio
- Diseño del edificio
- Construcción del edificio
- Operación del edificio

El de mayor aplicación en la actualidad es el Programa de certificación de edificaciones sustentables: "Leadership in Energy &

Environmental Design" (LEED), en sus versiones v3 y v4. Este es un sistema de certificación de edificios sustentables, desarrollado por el Consejo de la Construcción Verde de los Estados Unidos (USGBC, por sus siglas en inglés) (USGBC, 2015), país en el cual su implementación inicio en 1998 y actualmente es uno de los sistemas más utilizados en México.

Dicho programa de certificación se compone de un conjunto de indicadores que deben cumplirse en los diferentes procesos de producción de los espacios arquitectónicos y su infraestructura, encaminados a lograr la sustentabilidad en los edificios de distintos géneros, entre los cuales tenemos la incorporación de aspectos relacionados con la eficiencia energética, el uso de energías alternativas, la mejora de la calidad ambiental interior, el aprovechamiento del consumo de agua, el desarrollo sustentable de los espacios libres del terreno y la selección de materiales; y su aplicación para nueva construcción, edificios existentes, envolvente de un edificio, interiores comerciales, recertificación, viviendas, barrios, escuelas y hospitales (USGBC, 2015).

La certificación es de tipo voluntario y tiene como objetivo avanzar en la utilización de estrategias que permitan una mejora global en el impacto medioambiental de la industria de la construcción.

De acuerdo con USGBC (2015) las categorías que se evalúan son:

- Energía y atmósfera
- Localización y transportación
- Calidad del ambiente interior
- Eficiencia del agua
- Procesos integradores y recursos materiales
- Sitios sustentables
- Innovación
- Prioridades regionales

En materia residencial y habitacional México no tiene puntaje de clase mundial en la asignación de medidas para la eficiencia de los desarrollos habitacionales, pero tiene algunos en los comerciales (Young, 2014).

Cuadro 1. Requerimientos técnicos para los códigos de edificaciones habitacionales y residenciales								
	1	2	3	4	5	6	7	Puntos
Australia	X	X	X	X	X	X	X	1.75
Brasil	-	-	-	-	-	-	-	0
Canadá	X	X	X	X	X	-	X	1.50
China	X	X	X	X	X	-	X	1.50
Francia	X	X	X	X	X	-	X	1.50
Alemania	X	X	X	X	X	X	X	1.75
India	-	-	-	-	-	-	-	0
Italia	X	X	X	X	X	X	X	1.75
Japón	X	X	X	X	-	-	X	1.25
México	-	-	-	-	-	-	-	0
Rusia	X	X	-	-	X	X	-	1
Corea del Sur	X	X	X	X	X	X	X	1.75
España	X	X	X	X	X	X	X	1.75
Reino Unido	X	X	X	X	X	X	X	1.75
Estados Unidos	X	X	X	X	X	-	-	1.25

Nomenclatura de los encabezados del Cuadro 1.

1. Requerimientos de calefacción y enfriamiento.
2. Aislamiento en paredes y techos.
3. Factor U de ventana y sombra/ Coeficiente de ganancia solar de calor
4. Sellado de aire.
5. Eficiencia lumínica.
6. Instalaciones técnicas.
7. Diseño, posición, y orientación

Fuente: (Young, 2014)

Cuadro 2. Requerimientos técnicos para los códigos de edificaciones comerciales

	1	2	3	4	5	6	Puntos
Australia	X	X	X	X	X	X	1.50
Brasil	-	-	-	-	-	-	0
Canadá	X	X	X	X	-	X	1.25
China	X	X	X	X	-	X	1.25
Francia	X	X	X	X	-	X	1.25
Alemania	X	X	X	X	X	X	1.50
India	X	X	X	X	X	X	1.50
Italia	X	X	X	-	X	-	1
Japón	X	X	X	X	-	X	1.25
México	X	X	-	X	-	-	0.75
Rusia	X	X	-	-	-	X	0.75
Corea del Sur	X	X	X	X	X	X	1.50
España	X	X	X	X	X	X	1.50
Reino Unido	X	X	X	X	X	X	1.50
Estados Unidos	X	X	X	X	-	-	1

Nomenclatura de los encabezados del Cuadro 2.

1. Requerimientos de calefacción y enfriamiento.
2. Aislamiento en paredes y techos.
3. Factor U de ventana y sombra/ Coeficiente de ganancia solar de calor 1
4. Eficiencia Lumínica.
5. Instalaciones técnicas.
6. Diseño, posición y orientación.

Fuente: (Young, 2014)

La Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México (SMA-GDF, 2008), ha puesto en marcha el Programa de certificación de edificaciones sustentables, enfocado a transformar y adaptar las construcciones actuales y futuras bajo esquemas de sustentabilidad y eficiencia ambiental, promoviendo la salud humana, el cuidado de los recursos, la prosperidad económica, el beneficio social y la calidad de vida. Su aplicación no es de tipo nacional, está limitada geográficamente a todos los edificios de tipo habitacional y de oficinas ubicadas en la Ciudad de México, los criterios especificados en este programa tienen que ver con los siguientes aspectos:

- Energía.
- Agua.
- Manejo de residuos.
- Calidad de vida y responsabilidad social.
- Impacto ambiental y de otro tipo.

La etiqueta de la mitigación del cambio climático respecto de los edificios es muy reciente y se circunscribe principalmente a las acciones propuestas en los programas nacionales y estatales de cambio climático, mediante medidas de ahorro energético (sensores de luz o programas de concientización del uso eficiente de la iluminación en los edificios gubernamentales y las casas habitación).

¹El factor U mide la tasa de transferencias de calor a través de una ventana y la bondad del aislamiento de la misma. Los coeficientes de ganancias de calor solar miden la fracción de energía solar transmitida e indica qué tan bien las ventanas bloquean el calor causado por la luz solar.

Conclusiones

Los edificios en las áreas urbanas requieren de medidas de mitigación en su planeación, diseño, construcción y operación para un funcionamiento acorde a la seguridad estructural, higiene, confort ambiental, consumo racional de energéticos y de recursos naturales del sitio físico de su ubicación (Löhnert et ál., 2003).

Para lograr ciudades resilientes las acciones de mitigación que se implementen en ellas deben atender dos ejes clave: la planeación espacial y la integración sistémica que se concreta en un contexto en el que la estructura económica de los asentamientos urbanos, los factores socio-demográficos, el desarrollo tecnológico, la tipología y emplazamiento de la infraestructura y la forma urbana imperante, sean determinantes para tender hacia ciudades de alto o bajo consumo de carbono (Delgado et ál., 2015), y por tanto, de edificios eficientes en el consumo energético.

Delgado et ál. (2015), señalan que por las características del sistema urbano nacional existe un reto mayor para la mitigación en las tres zonas metropolitanas más grandes de México, aunque hay un potencial de mitigación importante en todas las áreas metropolitanas del país y en todo el subsistema principal urbano, señala y advierte que debe evitarse que las ciudades pequeñas y medianas crezcan del mismo modo en el que lo han hecho las otras de mayor tamaño. Lo anterior, es importante porque los gases de efecto invernadero producidos en México lo colocan en el grupo de las primeras 15 naciones que más GEI emiten, al aportar el 1.4 % de las emisiones globales.

Para los edificios de alta eficiencia energética se ha avanzado en normatividad que regula diversos aspectos del diseño, construcción y operación de estas edificaciones, la cual se viene desarrollando desde principios del siglo XXI, al abordar temas de eficiencia energética, sistemas de alumbrado, vialidades, en equipo, aislantes térmicos y calentadores de agua, entre otros.

En los últimos 5 años, las normas de edificaciones sustentables han progresado, tal es el caso de la norma NMX-AA-164-SCFI-2013 "Edificación sustentable, criterios y requerimientos ambientales mínimos", llevada a cabo por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), publicada en 2013 y de la norma para "Escuelas sustentables" que se encuentra actualmente en proceso de construcción y es promovida por el Instituto Nacional de Infraestructura Física Educativa (INIFED). Ambas normas incluyen, como parte importante, la eficiencia energética de los edificios y de esta manera promover la baja emisión de GEI.

En el país hay temas de mitigación climática que se están abordando recientemente y por tanto tienen baja producción de artículos científicos, tales como el comportamiento e impactos del estilo de vida, el abastecimiento de infraestructura energética para edificios, las políticas públicas ambientales: barreras y oportunidades; las políticas de eficiencia energética en las edificaciones para la aplicación de la legislación existente; el enfoque holístico en las políticas públicas ambientales para la construcción de edificios, entre otros rubros; por lo que es indispensable que tanto las universidades como los centros de investigación correspondientes generen los apoyos económicos, materiales e intelectuales para profundizar en los temas antes mencionados, desde la perspectiva de las medidas de mitigación necesarias en México ante el cambio climático.

Para orientar el desarrollo de edificios de alta eficiencia energética, es imprescindible implementar planes y programas a escala regional, que vinculen a los tres órdenes de gobierno existentes y donde participen las instituciones académicas, las de investigación, las organizaciones profesionales, de la sociedad civil y el sector empresarial, para construir políticas públicas que permitan armonizar y promover construcciones eficientes en el ámbito de la energía y que ayuden a mitigar las consecuencias del cambio climático en los asentamientos humanos.

Referencias

- Centro de Ciencias de la Atmósfera** [CCA], (2008). Comisión para la Cooperación Ambiental, Edificación sustentable en América del Norte. Oportunidades y Retos. (Informe del Secretariado al Consejo conforme al artículo 13 del Acuerdo de Cooperación Ambiental de América del Norte). Canadá: Departamento de Comunicación y Difusión Pública del Secretariado de la CCA. Disponible en http://www.cec.org/storage/61/5388_gb_report_sp.pdf
- Cerón**, P., Sanyé, M., Oliver, S., Ignacio, M., Ponce, C. & Rieradevall, J. (2013). Toward a green sustainable strategy for social neighbourhoods in Latin America: Case form social housing in Merida, Yucatan, Mexico. *Habitat International*, (38), 47-56.
- Comisión Nacional de Vivienda** [CONAVI], (2008). Criterios e Indicadores para Desarrollos Habitacionales Sustentables. México: CONAVI, p. 1-65.
- Consejo de la Construcción Verde de los Estados Unidos** [USGBC], (2015). Leadership in Energy & Environmental Design (LEED). US Green Building Council. Recuperado de <http://www.usgbc.org/leed>
- Delgado**, G. C., De Luca, Z. y Vázquez, Z. (2015). *Adaptación y mitigación urbana del cambio climático en México*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Griego**, D., Krarti, M. & Hernández-Guerrero, A. (2012). Optimization of energy efficiency and thermal comfort measures for residential buildings in Salamanca, Mexico. *Energy and buildings*, 54, 540-549.
- Griego**, D., Krarti, M. & Hernández-Guerrero, A. (2015). Energy efficiency optimization of new and existing office buildings in Guanajuato, Mexico. *Sustainable Cities and Society*, 17, 132-140.
- Hernández**, G. V. H. & Morillón, G. D. (2013). Analytical model for double skin roofs. *A Thermal Engineering*, 60, 218-224.
- Hernández**, P., Álvarez, G., Gilbert, H., Xamán, J., Chávez, Y. & Shah, B. (2014). Thermal performance of a concrete cool roof under different climatic conditions of Mexico. *Energy Procedia*, 57, 1753-1762.
- Hernández**, V. H., Contreras, J., González, G., Morillón, D. y Fernández, J. L. (2011). Modelo analítico que describe el comportamiento térmico de un sistema de descarga de calor en techos. *Revista Ingeniería, Investigación y Tecnología*, XIII (1), 33-42.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía** [INEGI], (2010). Población rural y urbana. México: INEGI. Recuperado de http://cuentame.inegi.org.mx/poblacion/rur_urb.aspx?tema=P
- Intergovernmental Panel on Climate Change** [IPCC], (2014). Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change 9. Buildings. Edenhofer, O., R.; et al. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Liu**, F., Meyer, A., S. & Hogan, J., F. (2010). *Mainstreaming building energy efficiency codes in developing countries. Global experiences and lessons from early adopters*. Washington, DC: The International Bank for Reconstruction and Development, The World Bank.
- Löhnert**, G., Dalkowski A. & Sutter, W. (2003). *Integrated Design Process Guideline*. International Energy Agency. Disponible en http://archive.iea-shc.org/task23/publications/IDPGuide_internal.pdf
- Morales**, J. D., Valdés, M. G., Ortega, A. R., Muhlia, A., Bravo, J. L. y Leyva, A. (1998). *Estudio para el ahorro de energía de edificios para la ciudad de México*. México: Facultad de Arquitectura, Instituto de Geofísica, UNAM, p. 150.
- Morillón**, D. y Morales, J. D. (2012). *Energía para el Edificio Sustentable*. México: Terracota.
- Rosas**, J., Rosas, D. & Morillón, D. (2010). Saturation, energy consumption, CO₂ emission and energy efficiency from urban and rural households appliances in Mexico. *Energy and Buildings*, (43), 1, 10-18.
- Secretaría de Medio Ambiente-Gobierno del Distrito Federal** [SMA-GDF], (2008). Programa de Certificación de Edificaciones Sustentables, Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal, Gaceta Oficial del Distrito Federal del 25 de Noviembre de 2008.
- Tovar**, J., E., Figueroa, C., A. & Gordon, S., M. (2014). Criteria for selection of plant species for its deployment in thermally efficient architectural green roofs in the Metropolitan Area of Mexico City: methodological guidelines. *Energy Procedia*, 57, 1798-1807.
- Veysey**, J., Octaviano, C., Calvin, K., Herreras Martínez, S., Kitousf, A., McFarland, J. & van der Zwaan, B. (2015). Pathways to Mexico's climate change mitigation targets: A multi-model analysis. *Energy Economics* (en prensa). doi:10.1016/j.eneco.2015.04.011
- Young**, R. (2014). *Global Approaches: A Comparison of Building Energy Codes in 15 Countries*. ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings 3-351-366.



Capítulo 6

INDUSTRIA

Autores líderes:

Ana María Gómez Solares¹⁴, Aída Viridiana Vargas Zavala¹⁴,
Emmanuel Gómez Morales¹⁴, Eréndira Corral Zavala¹⁵.

¹⁴UNAM CIE Centro de Investigación en Energía, ¹⁵UNAM Facultad de Economía.

Palabras clave: Gases de efecto invernadero, emisiones industriales,
mitigación en la industria, eficiencia energética, cogeneración.

Resumen

La actividad industrial en el mundo contribuye de manera importante al incremento de los gases de efecto invernadero (GEI). México no es la excepción y durante el año 2010 se emitieron a la atmósfera 42,163 de gigagramos (Gg) de CO₂-eq que no provienen de la quema de combustibles fósiles, de éstos la producción de cemento contribuyó con el 47.4 %; las emisiones de CH₄, N₂O, HFC, PFC y SF₆ totalizaron 70 Gg de CO₂-eq en ese mismo año, 97.6 % de éstas fueron de HFC por producción y consumo del gas. Las emisiones por consumo de combustibles fósiles en 2010 fueron de 56 740 Gg de CO₂-eq; la industria química fue la que aportó el mayor porcentaje (16.8 %). Se han propuesto acciones de eficiencia -energética, de materiales o de emisiones, por mencionar algunas- con el fin de mitigar el cambio climático en el sector industrial. El aprovechamiento de la energía térmica de algunos procesos industriales, conocido como cogeneración, o el de las energías renovables han sido, desde hace algunos años, medidas de eficiencia energética aplicada en la industria. No obstante, algunos sectores industriales también han hecho uso para la producción de electricidad, integrándolas en sus procesos.



2.1. Introducción

De acuerdo con el Quinto Reporte del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) 2015, las actividades industriales, entendidas como todas aquellas relacionadas con la transformación física de los materiales (extracción, refinación, procesamiento, transformación, construcción y residuos) generan todos los productos que satisfacen las necesidades humanas actuales; derivado de estas actividades, la industria contribuye con 30 % de las emisiones mundiales de Gases de Efecto Invernadero (GEI) (IPCC, 2014). En el Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (INEGI) de México las emisiones estimadas para la categoría de Procesos Industriales corresponden a las emisiones procedentes de los productos minerales, la industria química, la producción de metales y de la producción y consumo de halocarbonos y hexafluoruro de azufre (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático [INECC], 2012a).

Las emisiones de GEI de los procesos industriales provienen de una gran variedad de actividades que no están relacionadas con la energía. Las principales fuentes de emisión son los procesos de transformación de materias por métodos químicos o físicos. Además, se utilizan hidrofluorocarbonos en refrigeradores, extintores, y latas de aerosol. Análogamente, el hexafluoruro de azufre se emplea en productos utilizados por la industria o por los consumidores finales.

Adicionalmente, en este capítulo se presentarán las emisiones generadas por la quema de combustibles fósiles en este sector. La clasificación utilizada en el INEGI será la base para la redacción del presente capítulo de Industria del Reporte Mexicano sobre Cambio Climático, considerando las siguientes categorías: i) Productos minerales: producción de cemento, producción de cal, uso de dolomita y caliza, producción y uso de carbonato de sodio, producción de material asfáltico para techos, pavimentación asfáltica y otros; ii) Industria química: producción de amoníaco, producción de ácido nítrico, producción de ácido adípico, producción de carburos, otros compuestos químicos; iii) Producción de metales: producción de hierro y acero, producción de ferroaleaciones, producción de aluminio y emisiones de hexafluoruro de azufre por la producción de aluminio y magnesio y iv) Otras industrias: producción de celulosa y papel, producción de bebidas y alimentos, producción de halocarbonos y hexafluoruro de azufre.

1. Tendencias actuales en las industrias extractivas, de manufactura y de servicios

A escala internacional las tendencias de producción de las industrias extractivas de minerales, manufactura y de servicios han mostrado un crecimiento constante en las últimas cuatro décadas. La participación del sector industrial en el Producto Interno Bruto (PIB) mundial se redujo de 38.2 % en 1970 a 26.9 % en 2010 (IPCC, 2014). La tasa de crecimiento anual de la producción mundial de acero, cemento, amoníaco, aluminio y papel -las industrias más intensivas en energía- variaron del 2 % al 6 % entre 2005 y 2012.

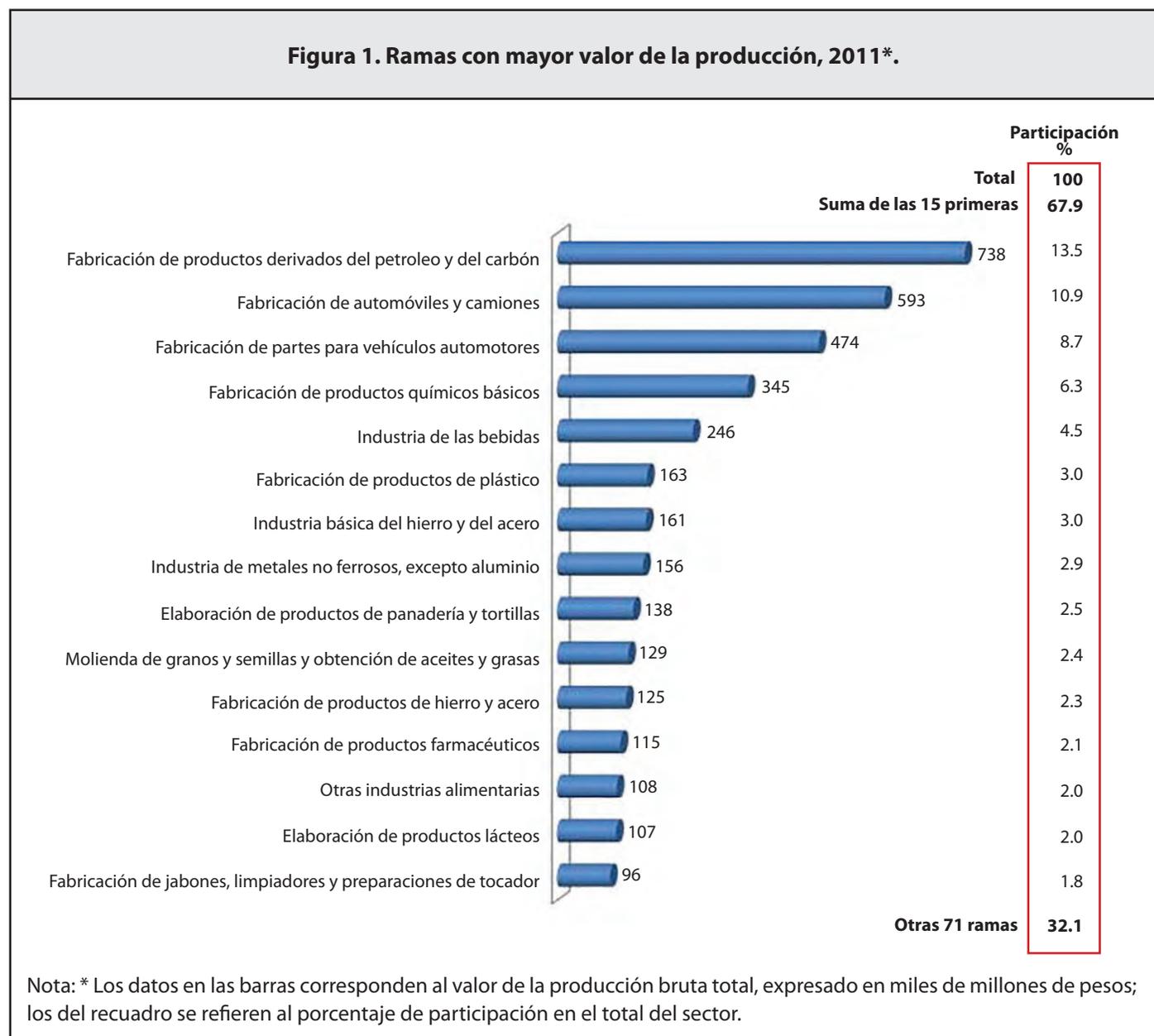
En México, los indicadores económicos de la actividad industrial se miden de acuerdo con el Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte (SCIAN) que incluye, entre otros, sectores como la minería (sector 21); la generación, transmisión y distribución de energía eléctrica; el suministro de agua y de gas por ductos al consumidor final (sector 21); la construcción (sector 23); las industrias manufactureras (Sectores 31 - 33), que incluyen 21 subsectores y 86 ramas (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 2013a).

A partir de 2007 la actividad industrial presentó una pérdida de dinamismo al crecer sólo 2.0 % anual que se profundizó en una contracción de la producción industrial entre 2008 y 2009, inducida por el efecto de la crisis financiera internacional que se impactó a la economía nacional. Lo anterior, afectó negativamente a los principales sectores industriales del país: al de la construcción y al manufacturero. Adicionalmente, en abril de 2009 la situación se agravó con el anuncio de la alerta por el brote de influenza (AH1N1), con lo cual algunas empresas e industrias adoptaron “paros temporales” para evitar el contagio entre sus trabajadores, lo que contribuyó a una caída de 9.9 % en la producción manufacturera entre abril y mayo de 2009. En el caso de la construcción, ésta se vio afectada al grado de que permaneció contraída durante 24 meses, tanto por la caída de la inversión -consecuencia de la crisis financiera- como por la reducción del consumo y el crédito, causada por la menor generación de empleos (Centro de Estudios de las Finanzas Públicas [CEFP], 2012).

La incipiente recuperación económica del país observada en 2010, se vio interrumpida por el menor crecimiento económico de los Estados Unidos de Norteamérica (EE.UU.). La desaceleración estadounidense repercutió en un menor dinamismo de las manufacturas mexicanas, que se encuentran estrechamente ligadas al comportamiento de la industria estadounidense a través del sector externo y ésta, a su vez, se ha visto afectada por los desequilibrios financieros en la Eurozona, que ha contagiado la inestabilidad en distintas economías del mundo y ha contribuido a una menor demanda global.

Para 2011, de las 86 ramas que conforman el sector manufacturero, 15 aportaron más de dos terceras partes del total nacional, como se observa en la gráfica de la Figura 1, destacando la industria petrolera y la automotriz que aportan más del 33 % del valor de la producción en conjunto (INEGI, 2013a).

Figura 1. Ramas con mayor valor de la producción, 2011*.



Fuente: (INEGI, 2013a)



La contribución al PIB del sector industrial se debe principalmente a la industria manufacturera, seguida de la minería y la construcción.

Dentro del sector manufacturero, la industria química en el 2012 participó con el 14.7 % del Valor Agregado Bruto (VAB) (2.6 % del nacional), incluyendo la industria del plástico y del hule, siendo el volumen de producción total de 11 269 miles de toneladas (INEGI, 2013b). Por su parte, la industria automotriz participó con el 20.1 % del VAB (3.7 % del nacional) produciendo 2'884,869 unidades (incluyendo tractocamiones, autobuses y camiones, entre otros.) (INEGI, 2013c). Para este mismo año, la industria siderúrgica aportó 5.15 % del VAB del total manufacturero (0.87 % del nacional) teniendo un valor de la producción de 113,026 millones de pesos, la cual incluye la producción de materias primas siderúrgicas, metales básicos siderúrgicos, laminados, piezas vaciadas y tubos, así como derivados siderúrgicos y acero por proceso (INEGI, 2013d).

La industria textil y del vestido contribuyó con 4.6 % del VAB de la industria manufacturera (0.80 % del nacional) teniendo un valor de la producción de 100,469 millones de pesos (INEGI, 2013e), mientras que la industria de transformación de alimentos y bebidas aportó 29.14 % del VAB (INEGI, 2013f).

Del mismo modo, la industria de la minería participó con 4.8 % del VAB del sector industrial (1.7 % del nacional), el cual incluye las industrias: minera; manufacturera; de la construcción; producción de electricidad; gas y agua, siendo su valor de producción de 183,738 millones de pesos. La estructura productiva de esta industria incluye la producción de metales preciosos, de industriales no ferrosos, de metales y minerales siderúrgicos y de minerales no metálicos (INEGI, 2013g).

2. Tendencias actuales en emisiones y factores de crecimiento

Las emisiones globales de GEI provenientes de la industria, manejo de residuos, y aguas residuales se incrementaron de 10.42 Gt CO₂-eq en 1990 a 12.98 Gt CO₂-eq en 2005, y a 15.51 Gt CO₂-eq en 2010. Estas son mayores a las emisiones de los sectores de uso final de edificios o del transporte, y representaron algo más del 30 % de las emisiones de GEI mundiales en 2010 (y poco más del 40 % si no se incluyen las emisiones de Uso del Suelo, Cambio del Uso del Suelo y Silvicultura (USCUSS) (IPCC, 2014). Éstas comprenden:

- Emisiones directas de CO₂ relacionadas con la energía para la industria (incluyendo aquellas por usos no energéticos de los combustibles fósiles).
- Emisiones indirectas de CO₂ derivadas de la producción de electricidad y calor para la industria.
- Emisiones de CO₂ de proceso.
- Emisiones de GEI distintas del CO₂.
- Emisiones directas provenientes de residuos / aguas residuales.

Por regiones, las emisiones globales directas e indirectas de GEI provenientes de la industria y de los residuos y aguas residuales, muestran que más de la mitad (52 %) de éstas son de la región de Asia, seguida de los países de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) -1990 (25 %), los países con economías en transición (9.4 %), Medio Oriente y África (7.6 %), y Latinoamérica y el Caribe (5.7 %). Entre 2005 y 2010, las emisiones de GEI de la industria crecieron a una tasa promedio anual global de 3.5 %, la cual comprende un crecimiento anual promedio de 7.0 % en la región de Asia, seguido de Medio Oriente y África (4.4 %), Latinoamérica y el Caribe (2.0 %), y los países con economías en transición (0.1 %), pero se redujo en los países de la OCDE-1990 (-1.1 %).

Para México, de acuerdo al INEGI 1990 - 2010, en 2010 las emisiones totales del país fueron 748,252.2 Gg CO₂-eq, representando por categoría las siguientes contribuciones: energía 67.3 %; agricultura 12.3 %; procesos industriales 8.2 %; uso de suelo, cambio de uso de suelo y silvicultura 6.3 %; y desechos 5.9 % (INECC, 2012a).

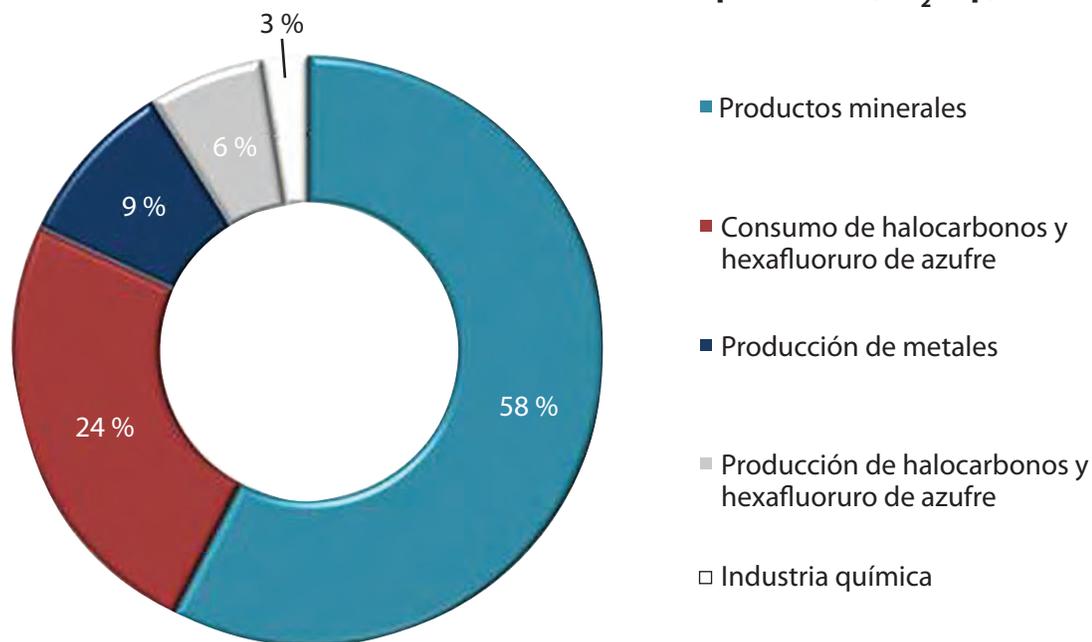
De acuerdo con el INEGI 1990-2010, las emisiones totales nacionales se incrementaron un 33.4 % entre 1990 y 2010, cabe resaltar que durante este periodo el sector de procesos industriales tuvo un crecimiento mayor al promedio, aumentó en 102.6

% su contribución, situándose como el segundo sector de mayor aportación en sus emisiones, sólo después del sector desechos. Las emisiones de este sector pasaron de 30,265.6 Gg de CO₂-eq en 1990 a 61,308.9 Gg de CO₂-eq en 2010, este aumento se debió al incremento en la utilización de piedra caliza y dolomita en la producción de cemento y en el consumo de gases fluorados (HFC y SF₆). Sin embargo, las emisiones de la industria química, disminuyeron 66.2 % durante este tiempo, como consecuencia de la reducción en la producción de petroquímicos básicos y secundarios (INECC, 2012a).

Por subcategorías, las emisiones presentaron la siguiente distribución: productos minerales 57.1 % (35,233.7 Gg); consumo de halocarbonos y hexafluoruro de azufre 24.3 % (14,919.0 Gg); producción de metales 9.3 % (5,709.6 Gg); producción de halocarbonos y hexafluoruro de azufre 6.4 % (3,897.8 Gg), e industria química 2.5 % (1,548.9 Gg). Respecto a 1990 se obtuvo una Tasa de Crecimiento Media Anual (TCMA) de 3.6 % (INECC, 2012b). Las emisiones derivadas de los residuos y aguas residuales no se considerarán en este capítulo.

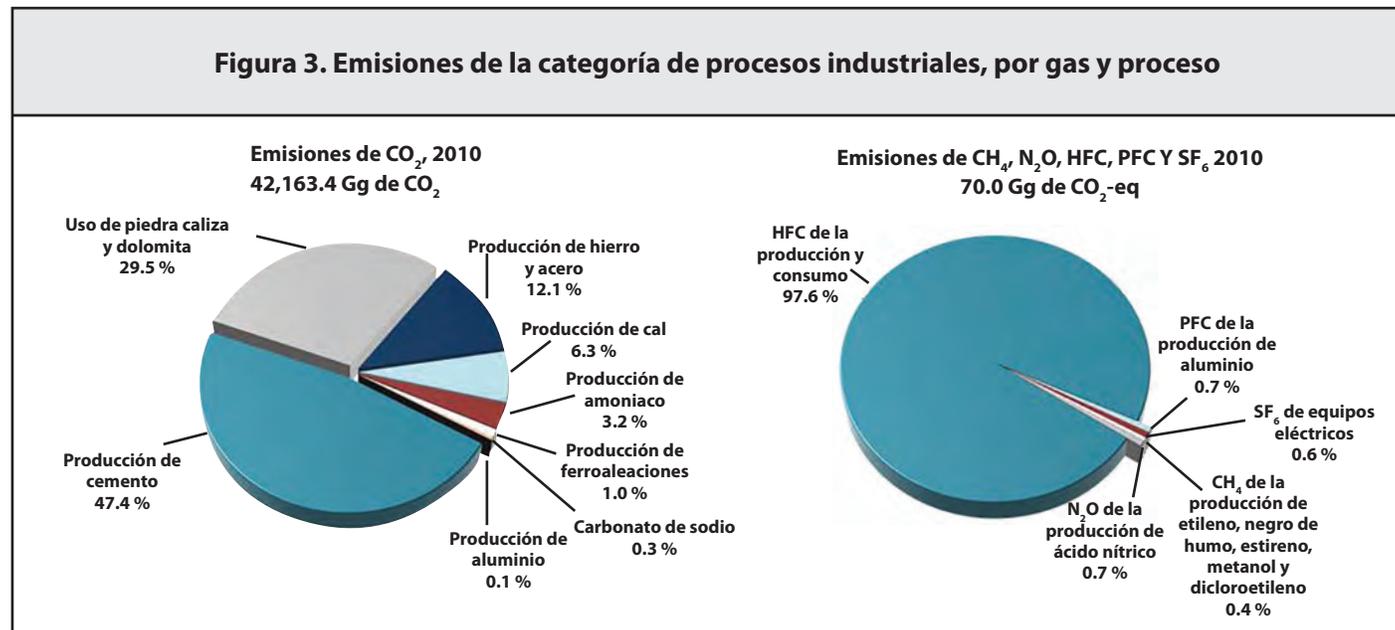
Figura 2. Emisiones de la categoría de procesos industriales, por subcategorías

Emisiones en unidades de bióxido de carbono equivalente (CO₂-eq.)



Fuente: Elaboración propia con datos de INECC, 2012a

En la figura 3, se presentan las emisiones de GEI en 2010 por gas y por origen.



Fuente: Elaboración propia con datos de INECC, 2012a

En cuanto a las emisiones por consumo de combustibles fósiles en este sector, en el periodo comprendido de 1990 a 2010, pasaron de 50,921 a 56,741 Gg de CO₂-eq, aumentando 11.4 % en estas décadas. La contribución a las emisiones por rama industrial en 2010 fue: hierro y acero, 13.7 % (7,798 Gg); industria química, 16.8 % (9,559 Gg); cemento, 16.7 % (9,457 Gg); pulpa, papel e impresión, 4.3 % (2,496 Gg); procesamiento de alimentos, bebidas y tabaco, 4.3 % (2,429 Gg); metales no ferrosos, 0.1% (70.2 Gg); y otras ramas de la industria menos intensivas en consumo de energía, 43.9 % (24,931 Gg).

2.2. Opciones tecnológicas de mitigación, prácticas y aspectos de comportamiento

En el caso de México se han hecho propuestas específicas para la mitigación de GEI en el sector industrial, incluidos el uso de nuevos quemadores de alta eficiencia, mejora de los sistemas existentes y cambio de combustibles. Programas adicionales incluyen la instrumentación y control de calderas y quemadores, y la promoción de medidas de eficiencia energética (Sheinbaum y Masera, 2000).

El consumo de energía en el país se basa principalmente en hidrocarburos (derivados de petróleo, y gas natural), en tanto el resto de las fuentes de energía contribuyen ligeramente a la mezcla energética. El gas natural está sustituyendo cada vez más al combustóleo en la generación de electricidad (Sheinbaum, Ruiz y Ozawa, 2011).

Una de las principales opciones de mitigación es incrementar el aprovechamiento de energías renovables para sustituir los combustibles fósiles. Por su ubicación, el territorio nacional cuenta con un gran potencial de fuentes renovables. Por ejemplo, el mayor potencial fotovoltaico debido a su alto nivel de irradiación solar (a nivel mundial) se sitúa en la zona norte del país. Los estados de Oaxaca, Tamaulipas, Baja California, Puebla y Veracruz cuentan con recurso eólico aprovechable. El potencial geotérmico es abundante, pues se cuenta con cerca de 800 km a lo largo del país susceptibles de aprovechamiento con plantas geotermoeléctricas. El aprovechamiento de la biomasa proveniente de residuos urbanos, agrícolas y forestales -abundantes en el país- es otra opción de mitigación. También se cuenta con potencial hidráulico suficiente para el aprovechamiento a pequeña escala en la región sur-sureste del territorio nacional.

El sector industrial tiene un amplio margen para lograr ahorros energéticos a través de la mejora en la eficiencia energética y la cogeneración. La cogeneración puede realizarse a partir, ya sea, de la biomasa, el gas natural o cualquier combustible fósil. Según el *Plan integral para el desarrollo de las energías renovables en México 2013-2018. Propuesta de escenarios y acciones necesarias para su desarrollo*, la cogeneración puede ser una opción de mitigación, ya que tiene un alto nivel de eficiencia que representa menores costos de reducción de emisiones; y a su vez cuenta con incentivos regulatorios similares a los de las tecnologías renovables.

El potencial de cogeneración del sector industrial estimado en el año 2009 fue cercano a los 12,000 MW. Las industrias siderúrgica, cementera, química y la minería, son las actividades con mayor demanda energética. Asimismo, en los estados de México, Veracruz, Nuevo León, Jalisco, Guanajuato y Puebla son aquellos en los que se presenta un potencial de cogeneración mayor a los 100 MW (Price Waterhouse Coopers [PWC], 2013).

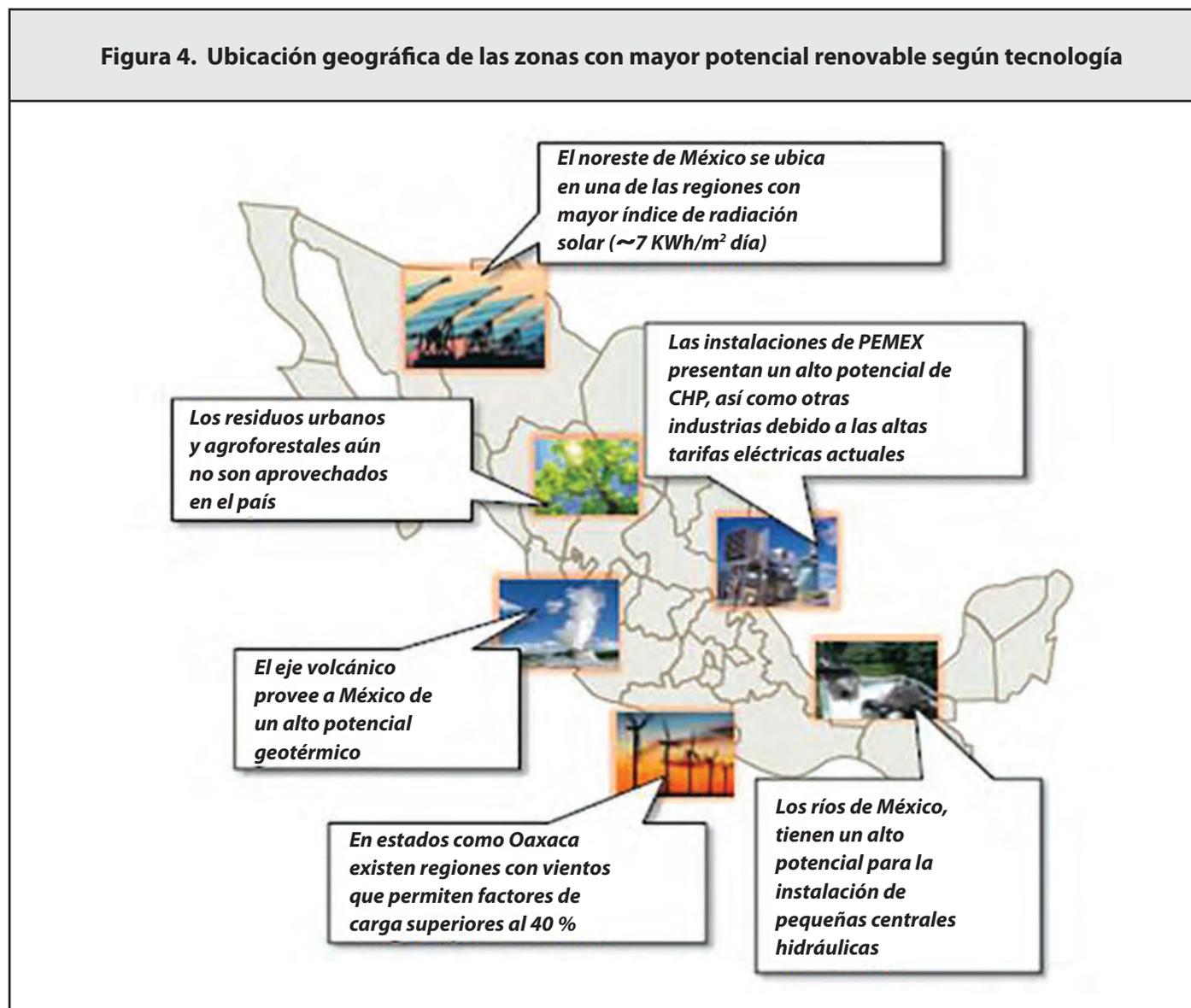
En México se han aplicado algunas de las seis opciones de mitigación planteadas en el contexto mundial, como se muestra en los siguientes apartados.

a) Hierro y acero

A nivel mundial, México ocupó en el 2013 la 13.^a posición entre los países productores de acero con 1.13 % del total de la producción global; en América Latina México es el segundo productor con 27.7 % del total regional. En cuanto a su consumo energético, en 2012 el sector siderúrgico fue el principal consumidor de energéticos del sector industrial con 14 %, siendo el de mayor demanda de gas natural con un 20 % del total del sector industrial, el tercer consumidor de electricidad del sector industrial con 4.4 % y el segundo de coque total (de carbón y de petróleo) con 44 %, con un 100 % del consumo de coque de carbón y sólo 2 % de coque de petróleo (Cámara Nacional de la Industria del Hierro y del Acero [CANACERO], 2014).

La industria siderúrgica nacional ha realizado esfuerzos durante los últimos años para la reducción de la intensidad de emisiones de CO₂ de sus procesos, alcanzando a nivel sector un promedio de 1.3 toneladas de CO₂ por tonelada de acero producido, ubicándolos muy por debajo del estándar mundial, que es de 1.8 ton CO₂ / ton Acero (CANACERO, 2014).

Figura 4. Ubicación geográfica de las zonas con mayor potencial renovable según tecnología



Fuente: (PWC, 2013)

b) Cemento

El sector cementero ha logrado disminuir sus emisiones de GEI, principalmente, a través de las siguientes acciones:

- Sustitución de los combustibles tradicionales por alternativos.
- Utilización adecuada y eficaz de los materiales residuales, tales como residuos de la industria petrolera.
- Uso de equipos de alta tecnología.

De acuerdo con los datos de la Cámara Nacional del Cemento (CANACEM) del año 2000 al 2007 se utilizaron más de 7.5 millones de llantas en un proceso de coprocesamiento y fueron usadas como combustible en los hornos de deshidratación de la materia prima como parte del proceso productivo del cemento.

Cementos Mexicanos (CEMEX) en su reporte de Sustentabilidad 2013 manifestó que a través de la utilización eficiente de tres tipos de transporte (autotransporte, barco y ferrocarril) evitaron la emisión de más de 132,600 ton de CO₂. Asimismo reportan incremento en la productividad de sus unidades de transporte, mejorando su rendimiento y eficiencia y permitiendo la reducción de 22,575 ton de CO₂, dentro del programa de certificación Transporte Limpio de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). Respecto del transporte marítimo, sustituyeron la navegación de dos motores a uno sólo, evitando el uso de 120 mil litros de combustible y reduciendo en 3,000 ton de CO₂ (CEMEX, 2014).

Por su parte, Cementos Chihuahua en los últimos años ha llevado a cabo las siguientes acciones:

- Sustitución de clinker en la molienda final por fillers, lo cual induce a consumir menos combustible fósil.
- Reducción de capas y gramaje en los envases de cemento, lo que se traduce como ahorro de papel y energía.
- Ubicación de plantas cementeras cercanas a las obras en desarrollo.
- Uso de aditivos en concreto como reductores de consumo de agua.
- Viveros propios y reforestación de las plantas, entre otras.

Una opción de mitigación costo efectiva relativa a la producción de cemento es el co-procesamiento de los residuos municipales en los hornos de las cementeras, Güereca, Torres y Juárez (2015) realizaron una evaluación del ciclo de vida para la producción de clinker con base a dos escenarios de combustible, el primero considerando 100 % de coque de petróleo y el segundo incluyendo un 20 % de residuos municipales, los resultados muestran que la inclusión de este tipo de combustibles en las plantas de cemento en México puede tener importantes impactos en la mitigación de impactos ambientales y de GEI, al sustituir el uso de combustibles fósiles y evitar la disposición de residuos en basureros (Güereca et ál., 2015).

Finalmente, un estudio del año 2009 hecho por la consultoría internacional ICF estima el aumento de emisiones de GEI en México asociados a la producción de cemento para el periodo 2006-2025 cuyos resultados proyectan un crecimiento de casi 58 % en el periodo al pasar de 28 Mt CO₂ a 48.2 Mt CO₂ (Center for Clean Air Policy [CCAP] , 2009). Dicha tendencia es mayor al promedio de crecimiento durante las dos últimas décadas a nivel nacional (INECC, 2012a) lo que hace necesaria una revisión cuidadosa sobre el crecimiento de esta categoría en un momento histórico en el que se pretende alcanzar el pico de las emisiones nacionales planteadas en el Programa Especial de Cambio Climático, 2009.

c) Productos químicos

Procter & Gamble (P&G) en la década del 2002 y 2012 logró reducir en 60.3 % sus emisiones de CO₂, lo que sitúa a la empresa encima de la meta de reducción de 50 % de estas emisiones por unidad de producción. P&G instaló dos plantas de cogeneración eléctrica para el abastecimiento de energía a todas sus plantas, llevó a cabo la implementación de programas y proyectos de reducción de consumo energético y reducción de materiales, con lo cual lograron disminuir el uso de energía en más de 71 % por unidad de producción entre en el periodo 2002-2013.

Otro ejemplo del sector químico es la empresa 3M México que a través de la implementación de diversas acciones ambientales ha logrado disminuir 2,024 ton de CO₂ en todos sus procesos. Asimismo, ha evitado la generación de 379 ton de residuos. Como parte de las acciones de gestión y hacer un uso racional de la energía eléctrica en sus plantas alrededor del mundo, la empresa lanzó al mercado soluciones para el ahorro de energía, tales como: películas para ventanas que reducen el uso del aire acondicionado al interior de los edificios mediante el bloqueo de luz infrarroja minimizando hasta en un 78 % el ingreso de calor y brillo y disminuyendo 99 % los rayos UV, entre otros (3M, 2014).

d) Pulpa y Papel

En el Programa de Desarrollo Sustentable de la Industria de la Celulosa y del Papel 2011-2016 destacan los siguientes resultados:

- Autogeneración del 24.4 % del total de la electricidad consumida.
- Importantes beneficios ambientales a través de la reforestación industrial y reciclaje.
- El sector de la Celulosa y del Papel es el único de siete sectores que puede reducir 27 millones de ton de CO₂-eq, es decir 7 % del total, tan sólo incrementando el índice de recolección de papel y el establecimiento de plantaciones forestales.

Esta industria reportó una inversión por más de 60 millones de dólares estadounidenses en el control y mitigación de emisiones a la atmósfera, y por 1,960 millones de dólares estadounidenses en plantas de cogeneración eléctrica (Cámara del Papel, 2011).

e) No-ferrosos (aluminio, otros)

En el subsector metales no-ferrosos se produce aluminio, cobre, zinc, plomo y cadmio. La producción de aluminio comprende la producción primaria y el reciclaje. La producción primaria comprende la extracción de bauxita, la refinación y fundición y usa cerca de 20 veces más energía que el reciclaje. La actividad en las refinerías es la más intensiva energéticamente, seguida del secado de la alúmina. En las instalaciones actuales se utilizan sistemas de ciclo combinado, razón por la cual un estudio elaborado por el Instituto de Ingeniería y el entonces Instituto Nacional de Ecología propone la modernización o rediseño de las fundidoras actuales con el fin de lograr un uso más eficiente de electricidad. Para ello, se desarrollarían celdas de drenado (cátodos de drenado) y ánodos inertes que reemplazarán los de carbón. A la par se reduce la producción de perfluorocarbonos; no obstante, esta tecnología sólo es aplicable en nuevas plantas.

Se podrían también cambiar los calentadores de vapor por sistemas de ciclo combinado o bombas de calor (Martínez et ál., 2010).

f) Procesamiento de alimentos

Dentro de la industria alimentaria se ha hecho uso de las fuentes renovables de energía con el fin de contribuir a la mitigación del cambio climático mediante la reducción de los GEI. Ya sea mediante el aprovechamiento de la energía térmica de un proceso (cogeneración), el cambio a combustibles más limpios (transportes, proceso), la mejora y eficiencia de los procesos de producción o con el uso de nuevos materiales (menos intensivos energéticamente) han sido algunas de las maneras en las que los productores de alimentos han mostrado su preocupación.

Energías renovables. Grupo Bimbo cuenta con el parque eólico llamado Piedra Larga, que se encuentra en el municipio Unión Hidalgo, Oaxaca. Con este desarrollo se buscó aprovechar las velocidades de viento de la zona del Istmo de Tehuantepec, mayores a los 10 m/s. El parque tiene una potencia instalada de 90 MW y una potencia nominal de 2 MW. La generación total de energía es de 333 GWh, la cual se distribuye a más de 100 instalaciones en México. Anualmente se evita el consumo de cerca de 65 millones de litros de diésel, con lo que se dejan de emitir a la atmósfera 180,000 ton de CO₂-eq (Grupo Bimbo, 2013).

Cogeneración: Según la Cámara Nacional de la Industria Azucarera y Alcohólica (CNIAA), al cierre de 2013 existían 18 ingenios azucareros interesados en la cogeneración. Su capacidad de generación de energía sobrante durante temporada de zafra se estima en 344 MW.

Los ingenios Constanza, San Nicolás, Tres Valles y La Gloria (en Veracruz); Huixtla (Chiapas) y Tala (Jalisco) están interconectados a la red, tres operan bajo el esquema de cogeneración con socios y los otros tres entregan su energía sobrante a Comisión Federal de Electricidad (CFE).

Con respecto a los logros en eficiencia energética, de los 54 ingenios existentes en México, el consumo de combustibles fósiles (combustóleo) ha decrecido; 21 de éstos ya no consumen petróleo y seis utilizan el bagazo como fuente generadora de electricidad durante todo el año.

La industria azucarera en el 2013 indicó que considerando la nueva legislación en materia energética, es prioridad el incremento de la eficiencia energética a través de proyectos de cogeneración en los ingenios azucareros; con ello se aprovechará la biomasa residual de la cosecha y bagazo de caña para la producción de energía (Zafranet, 2013).

g) Minería, metalúrgico

México se encuentra dentro de los primeros 10 lugares en la producción de 18 minerales, en los que destaca como el principal productor de plata y el décimo productor de oro a nivel mundial. Esta industria ha sido pionera en el uso de energías renovables y es reconocida por la Bolsa Mexicana de Valores. Actualmente cuatro empresas mineras forman parte de su primer Índice Sustentable: Minera Frisco, que aprovecha la energía solar en sus operaciones de Aguascalientes y Chihuahua al igual que Grupo México, que también produce electricidad a partir de vapor de agua; Minera Autlán utiliza la energía producida a través de una central hidroeléctrica de la cual formó parte de su construcción; e Industrias Peñoles que logró en 2012 que 20 % de la energía que consume fuera proveniente de fuentes renovables y opera el parque eólico ubicado en La Ventosa, Oaxaca. La central eólica cuenta con potencia actual de 80 MW, y genera anualmente más de 330 millones de KWh de energía limpia, evitando la emisión de 16,000 ton de CO₂-eq. Adicionalmente, en otras instalaciones se genera energía de autoconsumo mediante la cogeneración a partir de vapor. En el mismo reporte también destacan las acciones de forestación y reforestación dentro de las instalaciones de la empresa y en las áreas aledañas (Cámara Minera de México [CAMIMEX], 2013).

Existen compañías que tienen operaciones en diversas actividades pertenecientes al sector industrial, tales es el caso de Peñoles que reporta en su Informe de Sustentabilidad 2013 la emisión de un total de 2'283,056.2 ton de CO₂-eq; representando 2.8 % menos con respecto al año inmediato anterior. Asimismo, reporta una tendencia a la baja en las emisiones de GEI (ton CO₂-eq)/producción (ton) en el periodo del 2005 al 2013, pasando de 0.30 a 0.19 (Peñoles, 2014).

2.3. Los costos y los potenciales

Para calcular y estimar los costos de este fenómeno es determinante asignar valores económicos a los impactos climáticos o a los procesos de mitigación, así como la necesidad imperante de evitar pérdidas irreversibles en la biodiversidad y el adecuado manejo y administración del riesgo de un evento catastrófico. Por otro lado, para identificar los costos específicos del sector industrial y los niveles de riesgo, así como ponderar éstos de una forma adecuada, se requiere de dos factores: solidez de un análisis económico y toma de decisiones bien informadas (SEMARNAT, Secretaría de Hacienda y Crédito Público [SHCP], 2009).

En diversos estudios, tanto nacionales como internacionales, se ha manifestado que el costo de actuar para reducir los impactos de cambio climático es menor que el costo de inacción. La ausencia de acciones sufrirá costos económicos significativos y habrá pérdidas importantes al margen de los sectores económicos y de los precios del mercado (SEMARNAT, SHCP, 2009).

Los costos y potenciales de reducción de emisiones dependerán de los avances tecnológicos, y en gran medida del aumento de la temperatura y de la ubicación geográfica de la compañía, es decir el diferencial de costos y potenciales estará determinado

por una brecha geográfica y por la disponibilidad y el acceso al recurso hídrico, ya que estos factores afectarán a las empresas que demandan energía para los procesos industriales de calentamiento o enfriamiento.

La captura y secuestro de carbono ha sido planteada como una opción aplicable en las plantas de energía actuales y en las nuevas. El CO₂ capturado de las plantas de generación de energía eléctrica que utilizan combustibles fósiles sería inyectado a los pozos de crudo agotados; el beneficio sería doble: se incrementaría la producción de petróleo y se reducirían las emisiones de GEI con el almacenamiento seguro del CO₂ en los yacimientos una vez completadas las operaciones de extracción del petróleo. En los últimos años, Pemex se ha dado a la tarea de evaluar esta opción. De un total de 12 industrias ubicadas en la Región del Golfo de México y que emiten cerca de 20 millones de toneladas de CO₂ al año; si estas emisiones se utilizan para incrementar la recuperación de crudo, ello representaría una reducción de aproximadamente 3 % de los cerca de 700 Mt CO₂-eq que se emiten en México cada año (Lacy et al., 2013).

Conclusiones

El principal reto que se observó en la elaboración de este capítulo fue la falta de publicaciones científicas sobre los esfuerzos y oportunidades que existen en el sector industrial para la mitigación del cambio climático, encontrándose la mayor parte de la información en documentos oficiales del gobierno, o reportes propios de la industria. Esto representa un área de oportunidad para los investigadores nacionales para el desarrollo de nuevas líneas de investigación.

Entre los esfuerzos de mitigación que se identificaron en el sector industrial destacan la industria del hierro y acero que ha logrado reducir la intensidad de emisiones de CO₂ de sus procesos por debajo del estándar mundial, por su parte la industria del cemento logró disminuir sus emisiones de GEI a partir de la sustitución de los combustibles tradicionales por alternativos, y las industrias como la de pulpa y papel, procesamiento de alimentos y la minería han implementado la autogeneración de electricidad a partir de fuentes renovables.

La industria mexicana creció en promedio un 2 % anual desde 2007 y sufrió un fuerte deterioro por la crisis económica de 2008. El sector industrial nacional sufrió en los últimos años de una carencia de incentivos mientras se hacían más estrictas las regulaciones en materia ambiental. Más aún, se promovió en gran medida la instalación de empresas trasnacionales, en su mayoría maquiladoras, que empleaban mano de obra mexicana barata.

Los procesos productivos que generan emisiones de gases de efecto invernadero independientes de la combustión tienen su principal contribuyente en las empresas cementeras que contribuyeron con casi el 50 % de las emisiones del sector. Con una estimación de crecimiento del 9 % anual de 2016 a 2025, este sector posee un gran reto para el control de sus emisiones de gases de efecto invernadero que debe regularse si se deben cumplir las metas de reducción de emisiones establecidas por México en su Intended Nationally Determined Contributions (INDC).

La producción y consumo de HFC y SF₆ mostró un gran crecimiento y se deben tomar medidas para su regulación pronta por los compromisos de México para la supresión de HFC para 2030 así como para reducir las emisiones de estos potentes gases de efecto invernadero.

El sector industrial presenta una gran cantidad de opciones de mitigación de sus emisiones, tanto de gases criterio como de gases de efecto invernadero y forzantes climáticos de vida corta. Uno de los problemas que enfrenta es una fuerte crisis económica y falta de inversión y las metas de mitigación en este sector podrían alcanzarse con mayor facilidad si están acompañadas de la promoción de un mejor desempeño y eficiencia de producción. Las formas efectivas del control de las emisiones pueden encontrarse en una combinación de a) el diagnóstico, mediante un inventario de emisiones, b) la información del desempeño de las empresas, c) la producción más limpia, c) los sistemas de manejo ambiental integral y e) los acuerdos y convenios gubernamentales e industriales, entre otros.

Referencias

- 3M.** (5 de Junio de 2014). 3M México. Disponible en: http://solutions.3m.com.mx/wps/portal/3M/es_MX/about-3M/information/more-info/press-room/?PC_Z7_RJH9U52300NQ6027DTROJH2482000000_assetId=1361812044242 (septiembre 2014).
- Cámara del Papel.** (Marzo de 2011). Programa de Desarrollo Sustentable de la Industria 2011-2016. Disponible en: http://www.camaradelpapel.mx/pdf/Programa_Desarrollo_2011-2016.pdf. (Septiembre de 2014).
- Cámara Minera de México [CAMIMEX].** (2013). México País Minero. México: Cámara Minera de México.
- Cámara Nacional de la Industria del Hierro y del Acero [CANACERO].** (2014). *Perfil de la Industria Siderúrgica en México, 2004-2013*. México: Cámara Nacional de la Industria del Hierro y del Acero.
- Center for Clean Air Policy [CCAP].** (2009). *Sector-based Approaches Case Study: Mexico*. ICF International.
- Centro de Estudios de las Finanzas Públicas [CEFP].** (2012). *Evolución del Desempeño del Sector Industrial, 2007-2012*. México: Centro de Estudios de las Finanzas Públicas.
- Cementos Mexicanos [CEMEX].** (2014). *Informe de Desarrollo Sustentable 2013*. Disponible en: <http://www.cemexmexico.com/DesarrolloSustentables/InformesDesarrolloSustentable.aspx>. (Septiembre de 2014).
- CMM.** (2009). Modelos Integrales de Economía y Cambio Climático. *2o Reporte*. Centro Mario Molina, México.
- Grupo Bimbo.** (2013). *Infografías Verde>Parque Eólico "PIEDRA LARGA"*. Disponible en: <http://www.grupobimbo.com/es/grupo-bimbo-verde/infografia-verde-3/parque-eolico-piedra-larga.html> (septiembre 2014).
- Güereca, L.P., Torres, N. y Juárez, C.R.** (2015). The co-processing of municipal waste in a cement kiln in Mexico. A life-cycle assessment approach. *Journal of Cleaner Production*, 107, 741-748. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.05.085>
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático [INECC].** (2012a). *Actualización del Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 1990 - 2010, para la Categoría de Procesos Industriales*. SEMARNAT, Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. México: INECC.
- INECC.** (2012b). *México. Quinta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México: Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]** (2013a). *Perfil de la Industria Manufacturera*. México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- INEGI.** (2013b). *La industria química en México 2013*. Serie estadísticas sectoriales. México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- INEGI.** (2013c). *La industria automotriz en México 2013*. Serie estadísticas sectoriales. México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- INEGI.** (2013d). *La industria siderúrgica en México 2013*. Serie estadísticas sectoriales. México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- INEGI.** (2013e). *La industria textil y del vestido en México 2013*. Serie estadísticas sectoriales. México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- INEGI.** (2013f). *El sector alimentario en México 2013*. Serie estadísticas sectoriales. México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- INEGI.** (2013g). *La minería en México 2013*. Serie estadísticas sectoriales. México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC].** (2014). *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwicker and J.C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Lacy, R., Serralde, C., Climent, M., & Vaca, M.** (2013). Initial assessment of the potential for future CCUS with EOR projects in Mexico using CO₂ captured from fossil fuel industrial plants. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 19, 212-219.
- Martínez, F. J., Laguna, M. I., Leal, H. K., Sheinbaum, P. C., Briceño, V. S., Ordoñez, D. J. A. y Robles, M. G.** (2010). *Guía de metodologías y medidas de mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero para la elaboración de Programas Estatales de Acción ante el Cambio Climático*. Obtenido de Guía de metodologías y medidas de mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero para la elaboración de Programas Estatales de Acción ante el Cambio Climático. Disponible en: http://www.inecc.gob.mx/descargas/cclimatico/2010_guia_metodologias_peacc.pdf.
- Peñoles S.A de C.V.** (2014). *Informe de Desarrollo Sustentable 2013*. México: Industrias Peñoles, S.A.B. de C.V.
- Price Waterhouse Coopers [PWC].** (2013). *Plan integral para el desarrollo de las energías renovables en México 2013-2018. Propuesta de escenarios y acciones necesarias para su desarrollo*. Price waterhouse Coopers México, Climate Works Foundation, Iniciativa Mexicana para las Energías Renovables y World Wildlife Fund, México.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y Secretaría de Hacienda y Crédito Público [SEMARNAT, SHCP].** (2009). *La Economía del Cambio Climático en México*. México.



Sheinbaum, C. & Masera, O. (2000). Mitigation carbon emissions while advancing national development priorities: The Case of Mexico. *Climatic Change*, 47, 259-282.

Sheinbaum, C., Ruiz, B. J. & Ozawa, L. (2011). Energy consumption and related CO₂ emissions in five Latin American countries: Changes from 1990 to 2006 and perspectives. *Energy*, 36, 3629-3638.

Zafranet. (13 de Agosto de 2013). *Ingenios de Veracruz generan energía eléctrica*. Disponible en Zafranet Comunicaciones S.A. de C.V.: <http://www.zafranet.com/2013/08/ingenios-de-veracruz-generan-energa-elctrica/> (Septiembre de 2014).



Capítulo 7

RESIDUOS

Autores líderes:

María Laura Ortiz Hernández^{16, 17} Enrique Sánchez Salinas¹⁶,
Alexis Joavany Rodríguez Solís¹⁶, María Luisa Castrejón Godínez¹⁷.

Autor colaborador:

José Luis Arvizu Fernández¹⁸.

¹⁶Centro de Investigación en Biotecnología, ¹⁷Programa de Gestión Ambiental Universitario,
Universidad Autónoma del Estado de Morelos, ¹⁸Instituto de Investigaciones Eléctricas.

Palabras clave: Residuos, gases de efecto invernadero, compostaje, valorización.

Resumen

En este capítulo se proporciona información acerca de la generación, el manejo y la disposición final de los residuos, incluyendo a los residuos sólidos urbanos (RSU) y a los residuos peligrosos. Además, se presenta la información acopiada acerca de la generación, manejo y tratamiento de las aguas residuales en México. Asimismo, se reportan las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), de manera diferenciada entre la disposición final de los RSU y los peligrosos, así como por el tratamiento biológico de residuos y por incineración abierta de los RSU. De las emisiones globales, en la categoría de residuos se generan 44,130.8 Gg de dióxido de carbono equivalente ($\text{CO}_2\text{-eq}$), lo que equivale al 5.9 % de la contribución con respecto a las emisiones nacionales. De éstas, la eliminación de residuos sólidos contribuyó con el 50.1 %, el tratamiento y eliminación de aguas residuales con el 46.2 %, la incineración e incineración abierta con el 2.8 % y el tratamiento biológico de los desechos sólidos con el 0.9 %. Adicionalmente se presentan las opciones tecnológicas para la mitigación de emisiones provenientes de las diferentes corrientes de residuos, incluyendo la reducción, el reuso, el reciclaje (pre y posconsumo), el manejo del metano generado en los rellenos sanitarios, el compostaje, la digestión anaerobia, además de las diferentes tecnologías que se aplican para el tratamiento de las aguas residuales y su relación con la emisión de GEI.

Introducción

El crecimiento de la población, los cambios en los patrones de consumo y las diferentes actividades productivas que desarrollan las sociedades, han llevado necesariamente a la urbanización y a la utilización de los recursos naturales para la obtención de bienes y servicios, lo cual trae como consecuencia la generación de diversos tipos de residuos. Durante los últimos 15 años, los esfuerzos realizados en materia de gestión de residuos en México se han basado fundamentalmente en el manejo convencional: la disposición final. Hoy la gestión de residuos requiere de nuevos enfoques para resolver el problema, que incluya una visión transversal.

En la mayoría de los países, los municipios enfrentan el reto para la recolección, reciclaje, tratamiento y disposición final de residuos sólidos y aguas residuales. Uno de los pilares del desarrollo sostenible es el establecimiento de prácticas asequibles y eficaces de gestión integral de residuos. Las prácticas de la gestión integral de residuos y de las aguas residuales (GIRAR), promueven la salud pública, reducen simultáneamente las emisiones de GEI, mejoran la calidad de vida, previenen la contaminación del agua y del suelo, conservan los recursos naturales y proporcionan beneficios como la generación de energía renovable.

Con respecto a la emisión de GEI y de acuerdo con reportes del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés), los residuos son los responsables de la emisión de cerca del 5 % de las emisiones globales, lo cual refuerza la importancia de establecer estrategias para establecer una gestión integral que permita abatir los impactos negativos y la emisión de GEI (IPCC, 2014).

La mitigación de los GEI emitidos por los residuos, debe ser abordada en el contexto de la GIRAR. El aumento constante de la producción de residuos a nivel mundial, establece el reto de buscar la forma de realizar su gestión sin impactar negativamente en el ambiente, pero también una oportunidad, ya que se pueden combinar el desarrollo de tecnologías y estrategias para el manejo de residuos, con políticas públicas que permitan diseñar e implementar estrategias de gestión integral.

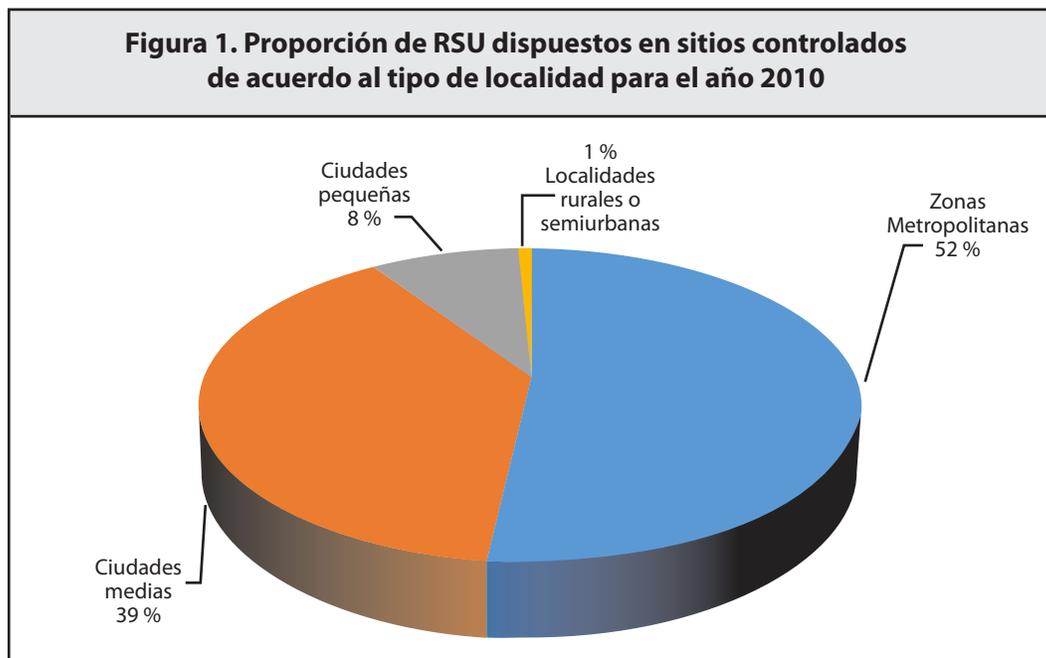
1. Tendencias de las emisiones

1.1. Generación, manejo y disposición final de Residuos Sólidos Urbanos (RSU)

La generación de RSU en el año 1998 fue de 30,550.67 miles de toneladas y para el año 2012 fue de 42,102.745 miles de toneladas (Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SNIARN, SEMARNAT], 2013a), lo que representa un incremento del 37.81 % para el periodo. Lo anterior puede relacionarse principalmente con el acelerado crecimiento de la población, la concentración poblacional en las áreas urbanas, el desarrollo industrial y los cambios de hábitos de consumo (Ojeda y Beraud, 2003; Castrejón et ál., 2015). Cabe señalar que la generación de residuos varía en función del tipo de entidad federativa y/o localidad, ya que es influenciada por factores culturales, niveles de ingreso, dinámicas de movimiento hacia los centros urbanos, entre otros.

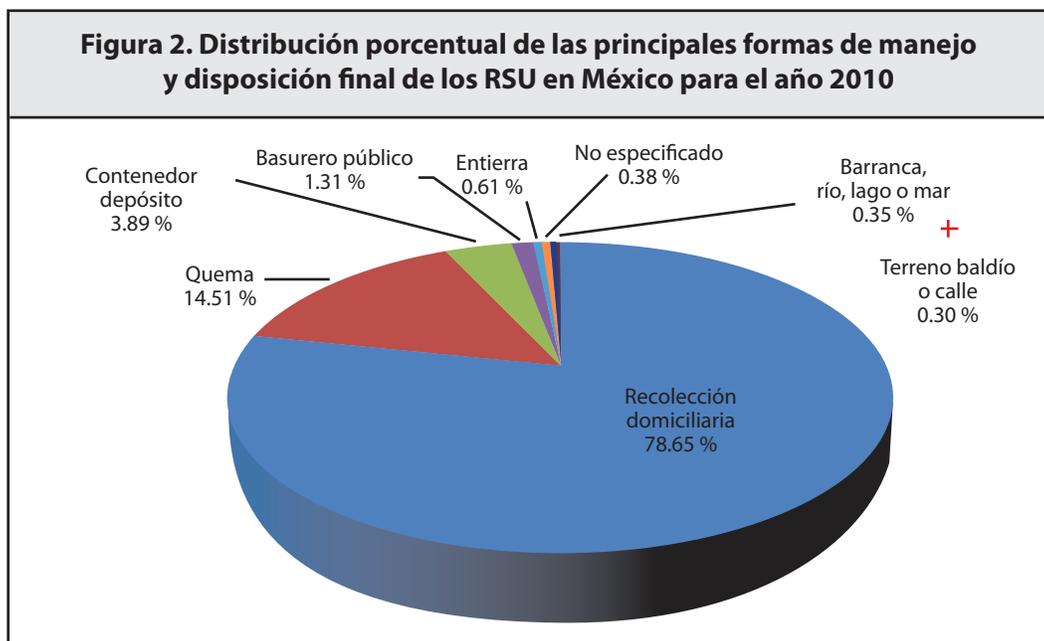
En México, generalmente el manejo de los RSU inicia desde su generación, almacenamiento, transporte y tratamiento, hasta su disposición final en algún sitio. Sin embargo, no se han incorporado en el territorio nacional técnicas relevantes para la solución ante esta problemática, por lo que frecuentemente los residuos se vierten sobre depresiones naturales del terreno. La opción más utilizada para la disposición de RSU son los rellenos sanitarios. En la actualidad pocas entidades cuentan con este tipo de instalaciones operando en condiciones sanitarias adecuadas. En México de 1995 a 2012 el número de rellenos sanitarios se incrementó de 30 a 260 (Diario Oficial de la Federación [DOF], 2013), y la cantidad de RSU que se depositaron en ellos aumentó de 5.95 millones de toneladas para el año 1995 a 27.98 millones de toneladas para el 2012 (SNIARN-SEMARNAT, 2013b).

En la Figura 1, se muestran las proporciones de RSU dispuestas en rellenos sanitarios de acuerdo al tipo de localidad para el año 2010. Como puede observarse, más del 50 % de los RSU nacionales que se disponen en rellenos sanitarios provienen de las zonas metropolitanas, en contraste con el 1 % correspondiente a las localidades rurales o semiurbanas (SNIARN-SEMARNAT, 2013c).



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos publicados en SNIARN-SEMARNAT (2013c)

La Figura 2, muestra la información relacionada con el manejo y la disposición final de los RSU en México. La recolección domiciliar ocupa el primer lugar, seguida de la quema, la disposición en un contenedor, en un depósito o en un basurero público; en entierros, en sitios no especificado, en barrancas, ríos, lagos o mares y en terrenos baldíos o calles.



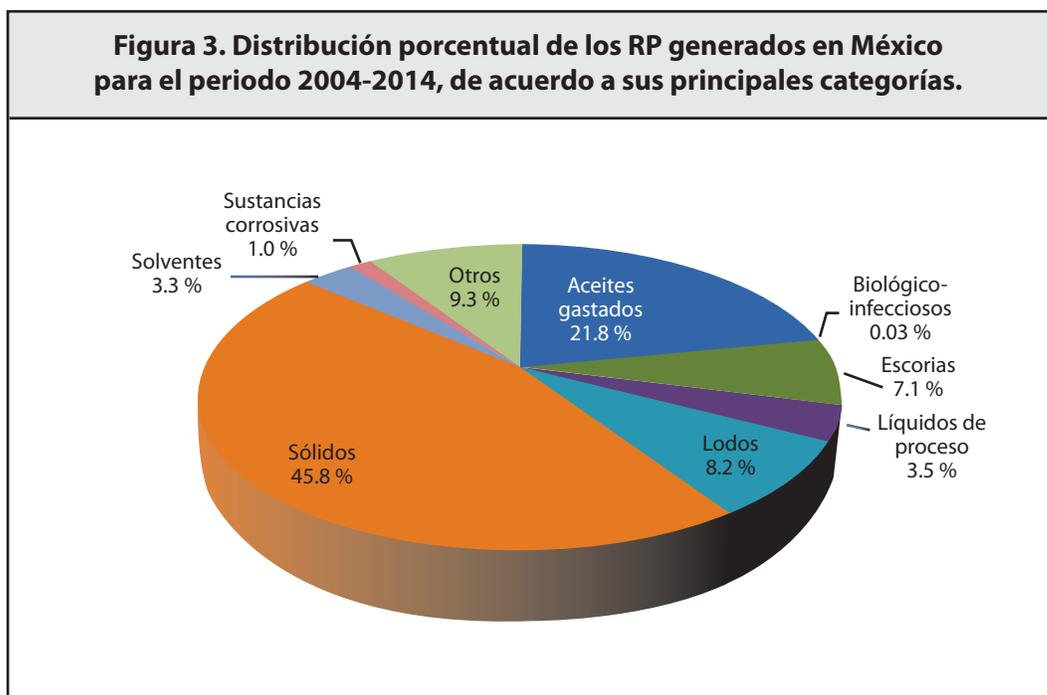
Fuente: elaboración propia a partir de datos publicados en Instituto Nacional de Estadística y Geografía - INEGI (2014)

1.2. Generación y manejo de Residuos Peligrosos (RP)

De acuerdo con los datos reportados por la SEMARNAT (2014), para el periodo comprendido entre el año 2004 y septiembre de 2014 en México se registraron 91, 283 empresas generadoras de RP, ubicadas principalmente en la Zona Metropolitana del Valle de México (14,139), Jalisco (8,788), Baja California (5,715), Estado de México (4,969) y Chihuahua (4,249). Estas empresas en su conjunto generaron cerca de 2.2 millones de toneladas de RP, distribuidas en diez categorías principales: aceites gastados, breas, biológico-infecciosos, escorias, líquidos de proceso, lodos, sólidos, solventes, sustancias corrosivas y otros. Como se observa en la Figura 3, los RP sólidos representan la principal categoría (965,629.1 ton), seguida de los aceites gastados (458,952.2 ton).

Estos RP por categoría de generador para el periodo anteriormente mencionado, corresponde a 12,492 ton para empresas microgeneradoras, 92,585 ton para pequeñas generadoras y 2'076,931 ton para grandes generadoras (SEMARNAT, 2014). Además el inventario nacional de residuos de plaguicidas obsoletos o caducos reporta, para el periodo 2009-2011, la generación de un volumen 44.584 litros y una cantidad de 262.474 kilogramos de este tipo de residuos (SNIARN-SEMARNAT, 2014a).

El manejo y disposición final de los RP en México se aborda mediante la prevención orientada a la reducción de los volúmenes de generación, reciclaje y reuso, y finalmente al tratamiento de los residuos para reducir su peligrosidad o volumen.



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos publicados en SEMARNAT (2014)

1.3. Emisiones de GEI por la categoría Residuos

Con la finalidad de ubicar las emisiones de CO₂ de México en el contexto internacional, para la cuantificación de las tendencias globales se requiere de datos nacionales sobre la generación de residuos y prácticas de gestión. Sin embargo, las estimaciones son inciertas debido a la falta de datos, datos inconsistentes o datos incompletos. La mayoría de los países en desarrollo utilizan los datos por defecto sobre la generación per cápita de residuos.

Para estimar la emisión de GEI de la categoría residuos, la metodología de las Directrices del IPCC (2006) considera las siguientes subcategorías: la eliminación de residuos sólidos debido a la descomposición anaeróbica de la materia orgánica contenida en

los residuos; el tratamiento biológico de los residuos sólidos; la incineración e incineración a cielo abierto de residuos; así como el tratamiento y eliminación de aguas residuales, ya que en algunos procesos de tratamiento de agua se produce metano (CH_4) por la degradación de los compuestos orgánicos en condiciones anaeróbicas.

Para el reporte de las emisiones de GEI por la categoría de residuos, primeramente se abordan las diferentes subcategorías en relación con los gases generados y finalmente, se reportan las emisiones globales de la categoría. De acuerdo con lo anterior, las emisiones de GEI se incrementaron en un 167 % durante el periodo 1990-2010, pasando de 16, 529.1 a 44,130.8 Gg de CO_2 -eq, este incremento se atribuye principalmente al crecimiento de la población, de la disposición de residuos sólidos en rellenos sanitarios tecnificados y del impulso dado en las últimas décadas al tratamiento de las aguas residuales municipales e industriales (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [INECC-SEMARNAT], 2012).

1.3.1. Emisiones de GEI por la disposición de RSU

Dentro de la categoría, la disposición de los RSU generó un porcentaje importante de las emisiones de GEI reportadas para el año 2010 (50.1 %), debido a que este proceso libera CH_4 como principal GEI. En la Quinta Comunicación Nacional se establece que las emisiones generadas por eliminación de RSU se incrementaron de manera significativa (232.4 %) en los 20 años correspondientes al periodo de estudio (1990-2010), pasando de 6 653.6 a 22 117.7 Gg de CO_2 -eq y presentando una tasa de crecimiento media anual (TCMA) de 6.2 %. Este incremento en las emisiones son consecuencia del impulso al manejo de los residuos sólidos en México, en particular por la disposición en rellenos sanitarios, donde los procesos anaeróbicos son más frecuentes que en tiraderos a cielo abierto y por el incremento en el tratamiento de aguas residuales en nuestro país, que generan lodos como residuos del proceso (INECC-SEMARNAT, 2012).

1.3.2. Emisiones de GEI generadas por el tratamiento biológico de residuos

En México los RSU contienen una alta proporción de materia orgánica, principalmente en los residuos de jardinería y de los productos comestibles. De acuerdo con los datos de generación de RSU, para el año 2012 la proporción de este tipo de residuos alcanzó un 52 %, unos 22 millones de toneladas (SNIARN-SEMARNAT, 2013d). Estos residuos son susceptibles de tratamiento biológico mediante compostaje aeróbico o mediante digestión anaeróbica, prácticas comúnmente implementadas para el manejo de los residuos, tanto en países desarrollados como en vías de desarrollo. El tratamiento de los lodos provenientes del tratamiento de las aguas residuales también puede ser realizado de la misma manera.

La aplicación de estos procesos de tratamiento biológico presenta ventajas muy importantes, como la reducción del volumen de los materiales de desecho y su estabilización, la destrucción de agentes patógenos presentes en los residuos, la generación de productos finales con potencial para ser reutilizados como fertilizantes y mejoradores de suelos y la producción de biogás, el cual puede ser aprovechado como combustible para procesos de calentamiento o para la producción de energía eléctrica (INECC-SEMARNAT, 2013). Sin embargo, aunque en proporciones menores respecto a la disposición sin tratamiento alguno, estos procesos generan emisiones de gases de GEI principalmente CH_4 y N_2O .

De acuerdo con los datos del Inventario Nacional de GEI 1990-2010, las emisiones generadas por el tratamiento biológico de los RSU y de los lodos del tratamiento de aguas residuales se incrementaron de 328.96 a 376.75 (ambos en Gg de CO_2 -eq) entre los años 1999 y 2010. Este incremento está relacionado directamente con las emisiones de CH_4 , pues las emisiones de N_2O se mantuvieron en un valor de 127.06 Gg de CO_2 -eq durante todo el periodo. El tratamiento biológico representó cerca del 0.9 % de las emisiones totales de la categoría de desechos (INECC-SEMARNAT, 2013).

1.3.3. Emisiones de CO_2 -eq por incineración e incineración abierta de RSU

La incineración de los residuos se define como la combustión de los desechos sólidos y líquidos en instalaciones de incineración controladas (incineradores), mientras que la incineración abierta, se refiere a la combustión de materiales combustibles no de-

seados al aire libre, en donde el humo y otras emisiones se liberan directamente a la atmósfera (INECC-SEMARNAT, 2013).

En México, de acuerdo con la información generada por el INEGI (2014), se estima que el 14.5 % de las viviendas habitadas en el país, ubicadas principalmente en el medio rural, tratan a sus residuos mediante incineración abierta, principalmente en los estados de Chiapas, Oaxaca, Guerrero y Tabasco. Las emisiones de CH_4 , NO_2 y CO_2 relacionadas con la incineración de residuos a cielo abierto fueron de 526.8 Gg de CO_2 -eq para el año 1990 y de 1 212.2 Gg de CO_2 -eq para el año 2010, registrándose un incremento del 130 % para el periodo (INECC-SEMARNAT, 2013).

Por otro lado, únicamente los residuos peligrosos generados en los hospitales son incinerados de manera controlada en hornos regulados y con autorización de la SEMARNAT. Este proceso genera emisiones de 0.8 Gg de CO_2 -eq (que incluye al CH_4 y al CO_2) y de 27.7 Gg de CO_2 -eq (que incluye a los gases CH_4 , N_2O y CO_2). Las emisiones de GEI relacionadas con la incineración de los residuos, se incrementaron en aproximadamente 135 % para el periodo 1990-2010, con emisiones de cercanas a los 527 Gg de CO_2 -eq, para el año base 1990 y a los 1,240 Gg de CO_2 -eq, para el 2010 (INECC-SEMARNAT, 2013).

La quema incontrolada de residuos para la reducción de volumen en países en desarrollo sigue siendo una práctica común que contribuye a la contaminación del aire (Hoornweg, 1999). En México la incineración a cielo abierto se realiza principalmente en zonas rurales. Una práctica reciente es la incineración de desechos sólidos en hornos de las plantas de cementos para la generación de energía. Bogner et ál. (2007) mencionan que la tasa de incineración de residuos está aumentando en países en desarrollo como China, la incineración de residuos en este país aumentó rápidamente de 1.7 % en el 2000 a 5 % en el 2005.

1.4. Generación, manejo y emisiones de GEI de aguas y lodos residuales

En las últimas décadas México ha experimentado un incremento en el consumo de agua y, consecuentemente, en la generación de aguas residuales. Sin embargo, de acuerdo con SNIARN-SEMARNAT (2013e), la generación de aguas residuales a nivel nacional para el año 2003 fue de 255.30 m³/s y para el 2012 fue de 229.73 m³/s lo cual indica una disminución del 10 %. Se requiere especial atención para el conocimiento del volumen total de las aguas residuales generada, transportada y tratada, tanto aquellas de origen municipal como aquellas de origen industrial.

Las emisiones de CH_4 a partir de las aguas residuales municipales experimentó un incremento del 126.6 % en el periodo de 1990 y 2010, con emisiones de 188.0 Gg de metano (equivalente a 3,948.2 Gg de CO_2 -eq) y de 426.0 Gg (que corresponde a 8,946.5 Gg de CO_2 -eq), respectivamente. Mientras que para las aguas residuales de origen industrial el incremento en las emisiones de CH_4 para el periodo fue de 149.7 %, ya que en 1990 se emitieron 181.3 Gg (3,808.1 Gg de CO_2 -eq) y 452.7 Gg (9,507.6 Gg de CO_2 -eq) para el año 2010 (INECC-SEMARNAT, 2012).

Para el caso de las emisiones de N_2O provenientes de las aguas residuales, se reportan emisiones de 1,263.4 Gg de CO_2 -eq, para el año 1990 y de 1,942.3 Gg de CO_2 -eq, para el año 2010, lo cual representa un incremento del 53.7 %. Cabe señalar, que para el caso de las emisiones de N_2O , la Quinta Comunicación Nacional (QCN) no distingue entre aguas residuales municipales e industriales.

En lo que respecta a los lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales, se debe prestar atención debido a que en México se carece de información detallada sobre las cantidades generadas y su manejo (Rojas y Mendoza, 2011); debido a que un manejo inadecuado de los lodos puede generar afectaciones al ambiente que tienden a agravarse y generalizarse (Ortiz, Gutiérrez y Sánchez, 1995). La disposición y/o aprovechamiento final de los lodos residuales implica un reto económico y de ingeniería, ya que involucran tanto la inversión en infraestructura como el desarrollo de tecnologías que reduzcan su volumen y los estabilicen; lo anterior con la finalidad de reducir o eliminar sus propiedades contaminantes (Beecher et ál., 2005).

Existen diferentes métodos para reducir el volumen y estabilizar los lodos residuales; los tratamientos para la reducción de su volumen son deshidratación e incineración. El problema con estos tratamientos es que la deshidratación únicamente reduce

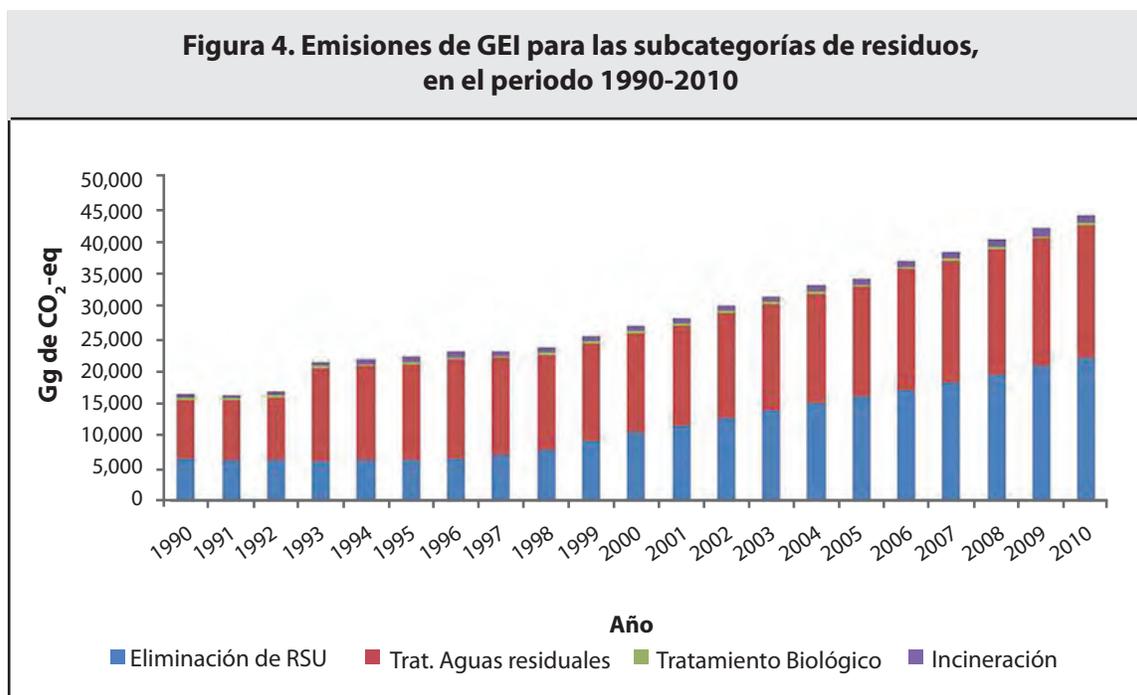
en un 20 % el volumen mientras que la incineración, si bien reduce el volumen en un 80 % y elimina los compuestos orgánicos tóxicos, destruye las bacterias y nutrientes que pudieran ser útiles para usarlo como fertilizante. Además, el proceso genera GEI, provocando contaminación ambiental considerable y altos costos de operación (Cardoso, 2003). Por otra parte, los procesos para la estabilización de lodos residuales son: digestión aeróbica (en donde las bacterias aeróbicas consumen la materia orgánica); digestión anaeróbica (en el cual la materia orgánica es consumida por bacterias anaeróbicas y es posible generar energía eléctrica mediante la utilización del biogás producido durante la digestión); y tratamiento químico (que generalmente consiste en añadir cal a los lodos provocando fermentaciones ácidas que evitan la proliferación de microorganismos). En los tres casos anteriores, la estabilización está enfocada a eliminar o disminuir la materia orgánica presente en los lodos residuales. Sin embargo, otros compuestos como metales pesados, plaguicidas y material inorgánico seguirán presentes, por lo que es importante someter los lodos residuales resultantes a un análisis para determinar si son un residuo peligroso o no y así determinar el tipo de manejo y disposición final adecuado (García, 2006).

Por otro lado, los lodos residuales pueden reutilizarse y aprovecharse para producción de biodiésel (Kargbo, 2010), o ser utilizados como materia prima para construcción de carreteras y edificios (LeBlanc, Matthews y Richard, 2009). Rojas y Mendoza (2011) mencionan que en México se generan alrededor de 640 millones de toneladas por año de lodos provenientes de las 2,029 Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) que tiene registradas la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). Así mismo, se menciona que el 64 % de estos lodos generados son depositados como relleno en el suelo (a cielo abierto) generando problemas de contaminación ambiental y salud pública. Además, el 51 % de los lodos residuales es estabilizado mediante digestión anaeróbica; sin embargo no se recupera el biogás generado durante este proceso (Jiménez y Wang, 2006). En lo que respecta a las emisiones de GEI correspondiente a los lodos residuales del tratamiento de aguas, no existen datos de su contribución específica, estas son incluidas en las emisiones respectivas de las aguas residuales de origen municipal o industrial (INECC-SEMARNAT, 2013).

1.5. Emisiones globales de la categoría residuos en México

En México, en la categoría de residuos se generan 44,130.8 Gg de CO₂-eq, lo que equivale al 5.9 % de la contribución del total de las emisiones nacionales. De estas emisiones, la eliminación de residuos sólidos contribuyó con el 50.1 % (22,117.7 Gg de CO₂-eq), el tratamiento y eliminación de aguas residuales con el 46.2 % (20,396.4 Gg de CO₂-eq), la incineración e incineración abierta con el 2.8 % (1,239.9 Gg de CO₂-eq) y el tratamiento biológico de los desechos sólidos con el 0.9 % (376.8 Gg de CO₂-eq). La principal emisión en 2010 de la categoría corresponde al CH₄, que representa el 93.6 % (41,323.4 Gg de CO₂-eq), seguido del N₂O con 5.1 % (2,238.1 Gg de CO₂-eq) y del CO₂ con 1.3 % (569.4 Gg de CO₂-eq) (INECC-SEMARNAT, 2012).

En la Figura 4, se muestra la tendencia de las emisiones de GEI de las subcategorías de residuos, para el periodo 1990-2010.



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos publicados en INECC-SEMARNAT (2013)

2. Opciones tecnológicas para la mitigación de las emisiones de residuos

2.1. Reducción, reuso y reciclaje de residuos pre-consumo

La revisión exhaustiva de la literatura especializada disponible, pone en evidencia la carencia de datos respecto a la reducción de residuos pre-consumo. Sin embargo, el Diario Oficial de la Federación (DOF) publicó el 21 de mayo de 2013 la adición de dos fracciones al Artículo 7 de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, estableciendo que son facultades de la Federación (DOF, 2014):

Fracción VI. Expedir las normas oficiales mexicanas que establezcan, entre otros, los criterios de eficiencia ambiental y tecnológica que deben cumplir los materiales con los que se elaborarán productos, envases, empaques y embalajes de plásticos y poliestireno expandido que al desecharse se convierten en residuos. Dichas normas deberán considerar los principios de reducción, reciclaje y reutilización en el manejo de los mismos.

Fracción XXIV. Promover, difundir y facilitar el acceso a la información a todos los sectores de la sociedad sobre los riesgos y efectos en el ambiente y la salud humana de los materiales, envases, empaques y embalajes que al desecharse se convierten en residuos, en colaboración y coordinación con los gobiernos de las entidades federativas, de los municipios, de otras dependencias y entidades involucradas.

No obstante, no existen evidencias de esfuerzos realizados en México en esta materia.

2.2. Reducción, reuso y reciclaje de residuos post-consumo

Actualmente, la opción más utilizada para el manejo de los RSU en México, es la disposición final en los rellenos sanitarios; sin embargo, el esquema de disposición en tiraderos a cielo abierto aún prevalece, principalmente en ciudades pequeñas y comunidades rurales o semiurbanas del país. A nivel mundial se ha establecido que la mitigación de las emisiones de GEI en el sector residuos se realizará a través del manejo integral de los residuos. A lo largo de los años se han desarrollado y establecido alrededor del mundo, diferentes tecnologías para el manejo de los residuos, dentro de las que destacan la implementación de rellenos sanitarios con recuperación de gas para la reducción de las emisiones de CH₄, el reciclado de residuos para disminuir su cantidad, y el compostaje de los residuos orgánicos disminuyendo la generación de GEI. Otros procesos que reducen la generación de GEI en comparación con la disposición de los residuos, son los procesos térmicos como la incineración de los residuos o su combustión industrial, el tratamiento mecánico-biológico de los residuos y la digestión anaerobia. Sin embargo, la aplicación de estas tecnologías de mitigación de la emisiones generadas por los residuos, depende de intereses y posturas locales, regionales o nacionales respecto al manejo de los residuos o la mitigación de GEI (Bogner et ál., 2007; 2008). Estas tecnologías están siendo implementadas gradualmente en el país.

En México existen 841 centros de acopio de residuos valorizables, cuyo objetivo es la reducción del volumen generado en la disposición final de los RSU, así como proteger la salud pública, y preservar y conservar la naturaleza. En el cuadro 1, se muestran las cantidades en kg/día de los residuos valorizables recolectados en centros de acopio.

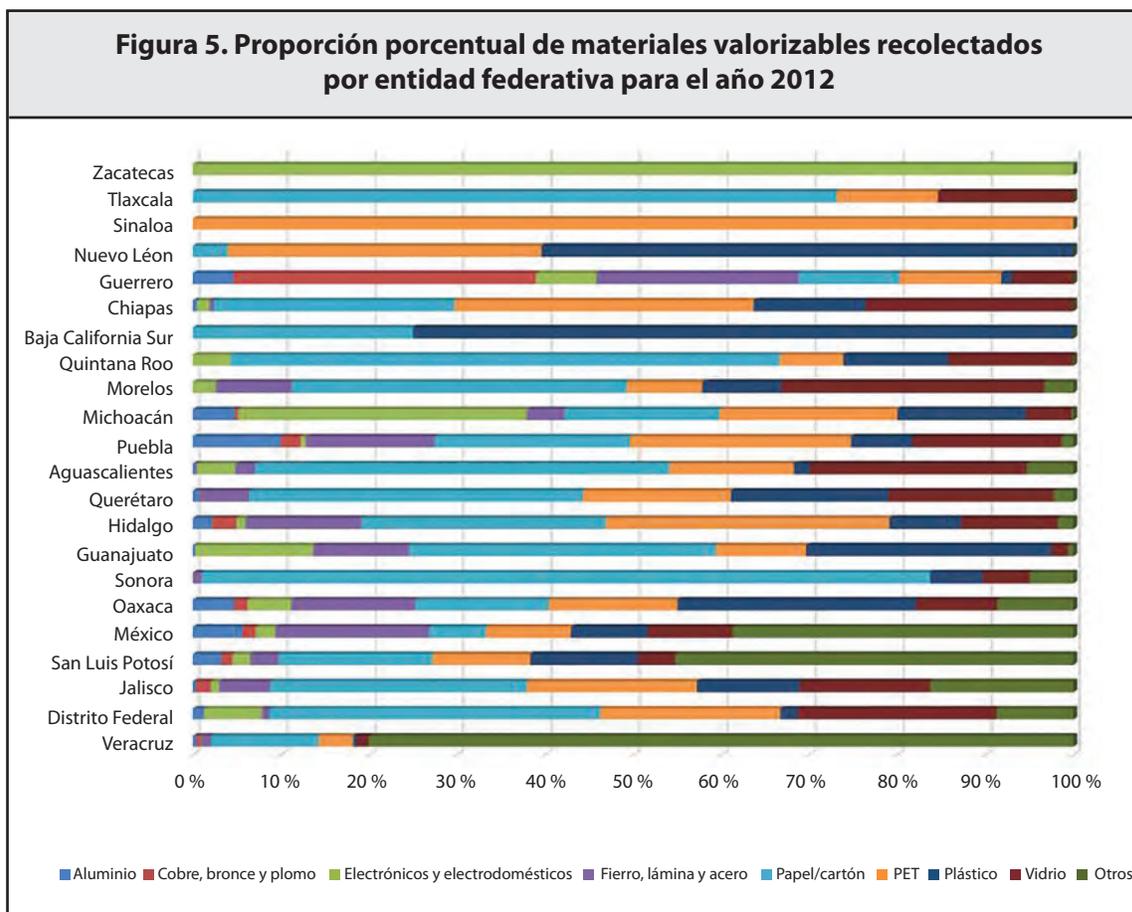
Cuadro 1. Residuos valorizables recolectados en centros de acopio a nivel nacional para el año 2012	
Nombre de residuos	Promedio diario (kg)
Papel/cartón	143,187
Otros	74,364
PET	70,798
Vidrio	62,051
Plástico	41,115
Electrónicos y electrodomésticos	22,842
Fierro, lámina y acero	21,868
Aluminio	6,129
Cobre, bronce y plomo	5,709

Fuente: (SNIARN-SEMARNAT, 2014b)

Sin embargo, aunque el reciclaje se ha incrementado en un 154 % en el periodo 2002-2011 (INECC-SEMARNAT, 2013), en el país aún resulta bajo. Para el año 2011 se recicló el 4.8 % del volumen de RSU generados (SNIARN-SEMARNAT, 2012), aunque esta cifra podrían alcanzar el 10 % en virtud de que muchos de los RSU son susceptibles de reciclarse antes de llegar a los sitios de disposición final, tanto en los contenedores como en los vehículos de recolección.

En la figura 5, se muestran la cantidad porcentual de materiales valorizables recolectados por entidad federativa para el año 2012. Para el caso de papel/cartón, vidrio, PET, electrónicos-electrodomésticos y aluminio es el Distrito Federal quien ocupa el primer lugar con 65,418; 39,285; 35,629; 11,350 y 2.207 kg/día en promedio, respectivamente; para cobre, bronce y plomo el primer lugar lo ocupa Guerrero con 3,000 kg/promedio diario; Guanajuato ocupa el primer lugar en reciclar fierro-lámina-acero y plástico con 5,044, 12,924 kg/promedio diario respectivamente y Veracruz ocupa el primer lugar en otros residuos con un valor de 30,299 kg/promedio diario.

Cabe señalar que de los 32 estados de México, los siguientes: Baja California, Campeche, Coahuila, Colima, Chihuahua, Durango, Nayarit, Tabasco, Tamaulipas y Yucatán, no cuentan con información detallada sobre los RSU reciclados. Actualmente no se cuentan con datos acerca de la proporción de mitigación de GEI con el reciclaje.



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos publicados en SNIARN-SEMARNAT (2014b)

2.2.1. Manejo del metano generado en los rellenos sanitarios y cogeneración de energía

De acuerdo con el reporte del IPCC, en el sector residuos se genera principalmente metano, que proviene de la descomposición anaeróbica de los residuos sólidos urbanos, seguido de dióxido de carbono del tratamiento las aguas residuales (IPCC, 2006). La descomposición anaerobia de los desechos sólidos en los rellenos sanitarios genera principalmente metano, este gas de efecto invernadero tiene un factor de calentamiento global 28 veces mayor al del CO₂ (IPCC, 2014). Por tal motivo la mitigación de las emisiones derivadas del manejo del metano en los rellenos sanitarios, es de suma importancia.

El metano producido por los rellenos sanitarios puede ser usado para generar electricidad mediante máquinas, turbinas y otras tecnologías, incluso puede ser refinado e inyectado en las redes de tuberías de gas natural, generándose múltiples beneficios económicos, ambientales y de salud pública (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos [USEPA], 2011). En México el manejo del metano está en un proceso de evaluación y desarrollo, y existen muy pocos ejemplos exitosos de su manejo para la generación de energía.

Los residuos que se disponen en los rellenos sanitarios presentan un componente significativo de materia orgánica, este material al descomponerse libera metano, que puede ser separado para realizar un proceso de compostaje o que permita disminuir su impacto en el volumen de residuos, estrategias que se están explorando en México (Islas, Manzini y Masera, 2007). En general, los rellenos sanitarios se convierten en cementerios de basura sin utilización posterior alguna. Sin embargo, estos sitios de disposición final de residuos cuentan con un potencial poco explotado en México, el relacionado con la recuperación de gas metano y su utilización para la generación de energía eléctrica.

La recuperación y utilización del metano ha sido practicada ampliamente en países desarrollados con experiencias positivas. Además, si no se aprovecha este recurso, puede ser una fuente importante de gas de efecto invernadero, el principal contribuidor para el cambio climático. A partir de 2003, en México, se toma en cuenta la recuperación de metano (equivalente a 1 Gg de CH₄ anual) del relleno sanitario de Salinas Victoria, ubicado en la zona conurbada de Monterrey, Nuevo León (INECC-SEMARNAT, 2012; Sistema Integral para el Manejo Ecológico y Procesamiento de Desechos [SIMEPRODE], 2014), el cual es empleado como combustible para la operación de la primera planta de generación de electricidad de este tipo en nuestro país (Cuadro 2).

Cuadro 2. Proyectos nacionales para la generación de energía eléctrica a partir de metano en rellenos sanitarios

Relleno sanitario	Localidad	Administración	Capacidad de captación de CH ₄ (m ³ /hr)	Capacidad de generación de energía eléctrica (MW)	Año
En operación					
Salinas Victoria	Monterrey	SIMEPRODE		12.7	2003
	Ensenada		560	0.34	2007
	Nuevo Laredo		1,480	1.7	2007
En desarrollo					
	Cautla		842	1.4	2008
	Nogales		1,000	1.5	2008
	Saltillo		1,290	1.8	2008
Potencial de mitigación 281 Mt CO ₂ -eq por año					

Fuente: (INECC-SEMARNAT, 2012; SIMEPRODE, 2014)

2.2.2. Compostaje

La descomposición aeróbica de los residuos orgánicos por compostaje resulta principalmente en la emisión de CO_2 y H_2O . Sin embargo, debido a la naturaleza del proceso, se pueden generar algunas emisiones de CH_4 , aunque la mayoría se oxida a CO_2 cerca de la superficie de la pila de compostaje, abatiendo las emisiones (Bogner et ál., 2007; Brown y Subler, 2007).

Las emisiones derivadas del proceso de compostaje, no se contabilizan en los inventarios de GEI, pues se considera que la mayor emisión del proceso de descomposición, es de CO_2 y de origen biogénico. Sin embargo, dependiendo del proceso que se implemente y de sus operaciones unitarias, los GEI pueden ser emitidos a partir del manejo de las instalaciones, más que del mismo proceso de descomposición (Lou y Nair, 2009). No obstante, el compostaje de los residuos orgánicos puede mitigar las emisiones de GEI mediante la aplicación de composta que genera los siguientes eventos (Lou y Nair, 2009):

- Disminución de los fertilizantes y pesticidas químicos necesarios en el sector agropecuario, lo que reduce las emisiones de GEI al disminuir la cantidad de combustibles fósiles necesarios para su producción y aplicación.
- Favorece el crecimiento de las plantas, lo que incrementa la fijación y almacenamiento de carbono en su interior, removiendo CO_2 de la atmosfera.
- Secuestra el de carbono en el suelo. La USEPA estima que es posible secuestrar 50 kg de carbono (183 kg de CO_2) por tonelada de composta húmeda aplicada, y a gran escala, la mitigación puede ser significativa.
- Aumenta la facilidad de labranza y del manejo del suelo, reduciendo las emisiones generadas por los combustibles fósiles utilizados por la maquinaria de trabajo agrícola.

En México las primeras plantas de compostaje se construyeron a finales de la década 1960 y principios de la década 1970. De acuerdo a un estudio realizado por el Instituto Nacional de Ecología en 2005, existen identificadas en México 61 plantas de compostaje, estas plantas están instaladas principalmente en el Distrito Federal (14) y el Estado de México (22), el resto de la plantas de compostaje se encuentran ubicadas en los estados de Aguascalientes, Guerrero, Jalisco, Michoacán, Morelos, Nuevo León, Oaxaca, Querétaro, Quintana Roo, Tabasco, Veracruz y Yucatán (Instituto Nacional de Ecología [INE], 2005). Sin embargo, no todas se encuentran en operación o inclusive algunas fueron construidas pero jamás operaron (Rodríguez y Córdova, 2006). A la fecha, no existe un inventario oficial que permita tener una mayor certeza sobre este tema. La planta de composta del relleno sanitario de Bordo Poniente, en la Ciudad de México, es posiblemente la única que ha sido constante en su producción: 750 toneladas de composta por día. La planta procesa los residuos orgánicos de la Central de Abastos y parte de los residuos de jardín generados en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (INECC-SEMARNAT, 2013). El tratamiento por compostaje de los residuos se realiza en el país principalmente en las ciudades de México con 247.5 miles de toneladas al año, Zapopan 198.0 miles de toneladas al año, Tonalá 132 miles de toneladas al año, Oaxaca 66.0 miles de toneladas al año y Monterrey 39.6 miles de toneladas al año (INECC-SEMARNAT, 2013).

2.2.3. Digestión anaerobia

El rápido crecimiento de la población, el grado de avance tecnológico, las medidas de conservación, la adopción de tecnologías energéticamente eficientes y el precio de los combustibles, demandan el uso de energías renovables como la biomasa, cuya utilización presenta características singulares y beneficios notables. Además, son una fuente teóricamente inagotable, que se producen cíclica y continuamente.

La digestión anaerobia es un proceso biológico complejo y degradativo en el cual parte de los materiales orgánicos de un sustrato (residuos animales y vegetales) son convertidos en biogás, mezcla de dióxido de carbono y metano con trazas de otros elementos, por un consorcio de bacterias que son sensibles o completamente inhibidas por el oxígeno o sus precursores (e.g. H_2O_2). Utilizando el proceso de digestión anaerobia, es posible convertir gran cantidad de residuos, residuos vegetales, estiércoles, efluentes de la industria alimentaria y fermentativa, de la industria papelera y de algunas industrias químicas, en subproductos útiles. En la digestión anaerobia más del 90 % de la energía disponible por oxidación directa se transforma en

metano, consumiéndose sólo un 10 % de la energía en crecimiento bacteriano. En la digestión anaerobia, los microorganismos metanogénicos desempeñan la función de enzimas respiratorios y, junto con las bacterias no metanogénicas, constituyen una cadena alimentaria que guarda relación con las cadenas enzimáticas de células aeróbicas. De esta forma, los residuos orgánicos se transforman completamente en biogás, que está constituido por una mezcla de gases. Su composición depende del tipo de residuo orgánico utilizado para su producción y de las condiciones en que se procesa (Cuadro 3).

Cuadro 3. Composición química del biogás		
Componentes	Formula química	Porcentaje
Metano	CH ₄	60-70
Gas carbónico	CO ₂	30-40
Hidrogeno	H ₂	1.0
Nitrógeno	N ₂	0.5
Monóxido de carbono	CO	0.1
Oxígeno	O ₂	0.1
Ácido sulfhídrico	H ₂ S	0.1

Fuente: (Botero y Preston, 1987)

El uso de este biogás para generación de energía eléctrica, mitiga emisiones de GEI en un rango del 30 % al 90 % en comparación con la generación con combustibles fósiles (80 % carbón y 20 % gas natural) (Schubert et ál., 2009). El costo de cogeneración con biogás se encuentra en un rango de 3 a 10 USD/kWh (Chum et ál., 2011; Ramón, Romero y Simanca, 2013; Fernández, 2012). Dentro de las utilidades que hasta el momento se han dado al biogás en México, se incluyen la producción de electricidad y su uso como combustible (Gas LP). En el cuadro 4 se muestran las entidades federativas que han desarrollado proyectos para generar biogás a partir de residuos.

2.2.4. Valorización energética de los residuos

A nivel mundial, los combustibles fósiles (petróleo, carbón y gas natural) han sido empleados para la generación de energía. Sin embargo, la disminución de las reservas mundiales y la problemática ambiental han aumentado la necesidad de encontrar nuevos recursos energéticos. México se ubica en el 9.º lugar por sus reservas de petróleo, 4.º en América por sus reservas de gas natural y es también muy rico en fuentes renovables de energía (solar, viento, hídrica, geotérmica y biomasa). Sin embargo, el potencial energético de estos tipos de fuente no han sido ampliamente explotadas (Aleman et ál., 2014a).

Una forma de generar energía, es a través de la biomasa, que comprende una extensa gama de materia biológica, tales como madera o residuos de madera, productos residuos de la industria alimenticia, aguas residuales, residuos sólidos urbanos (RSU), residuos agrícolas, entre otros. La producción potencial de energía a partir de la biomasa para México, se estima entre 2,635 y 3,771 PJ/año, donde el 77.9 % provendría de la biomasa sólida (plantaciones de eucalipto y residuos agroindustriales), el 20.1 % de los líquidos con potencial energético (caña de azúcar, *Jatropha curcas* y aceite de palma) y el 2 % a partir del biogás (RSU y estiércol del ganado) (Aleman et ál., 2014a). Una alternativa a dicha situación es la generación de energía a través de los residuos y de manera particular lo sólidos municipales, por medio de su combustión directa o mediante los gases generados por los procesos de descomposición (Aguilar, Armijo y Taboada, 2009).

Arvizu, Huacuz y Saldaña (2006) reporta que desde 1991 el Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE) desarrolló un proyecto para evaluar la factibilidad técnico-económica de generación con el biogás producido en los rellenos sanitarios del Distrito Federal (DF). En ese año existían en el DF seis sitios clausurados y tres en operación. Como parte del proyecto se instaló una

planta piloto de 20 kW de capacidad de generación eléctrica, que a la vez sirvió para demostrar el concepto, en colaboración con Comisión Federal de Electricidad, Compañía de Luz y Fuerza, y el Departamento del Distrito Federal. Paralelamente se desarrollaron metodologías de laboratorio para la evaluación metanogénica de los residuos sólidos urbanos, modelos matemáticos para predecir la producción de gas y energía de acuerdo con las características de los sitios, y técnicas para adaptar motores diésel para operar con biogás. En cinco de los sitios estudiados se identificó un potencial de 26 MW, con costos de generación entre 2 y 3 centavos de dólar por kWh.

En la República Mexicana existen varios ejemplos de uso de gas metano generado en los rellenos sanitarios, uno de ellos se encuentra en el relleno sanitario de Salinas Victoria, Nuevo León, administrado por el Gobierno del Estado de Nuevo León, a través del Sistema Integral para el Manejo Ecológico y Procesamiento de Desechos (SIMEPRODE) y la participación de la Iniciativa Privada. La capacidad de generación del relleno sanitario para 2003 fue de 7.4 MW, incrementándose a 12.72 MW para 2007 y 15.9 para 2010, con posibilidad de incrementarse a 25 o 30 MW en el 2016. La energía eléctrica generada se aprovecha primordialmente para fines de alumbrado público en siete municipios de Nuevo León, entre los cuales se encuentran Monterrey, San Nicolás de los Garza y Apodaca, utilizando para esto la red del sistema eléctrico nacional de Comisión Federal de Electricidad (Aleman et al., 2014b; Arvizu, 2011; Aguilar et al., 2009).

Cuadro 4. Entidades federativas que han producido biogás a partir de residuos.

Entidad federativa	A partir de que residuo se genera	Tecnología en el cual se generó el biogás	Producción total de biogás	Uso final	Generación total de energía	Autor
Baja California	Relleno sanitario		$L_0=1,152 \text{ m}^3/\text{h}$ (2012 cantidad mayor)	Abastecimiento energía eléctrica pública	Capacidad máxima: 1.90 MW	Aguilar, Taboada y Ojeda, 2011
Guanajuato	Granja ganadera Excretas de ganado doméstico (32,000 Kg/día)	Biodigestor	160 m^3 de biogás con 60 % de metano	90% de abastecimiento energía eléctrica de la granja	90 kw-h/día	Frías, 2009
Estado de México	Establo de ganado vacuno (0.50 $\text{m}^3/\text{día}$ de excreta)	Biodigestor piloto	5 m biogás/mes	Sustituto gas LP	Capacidad calorífica del Biogás obtenido= 5,000 Kcal/ m^3 de Biogás	Otlica, 2012
Tabasco Inicial)	Contenido gástrico ruminal u54.08 m^3 tipo cúpula	Biodigestor anaerobio hidráulica 90 días	945.9 m^3 Tiempo de retención			Canepa y Olivier, 2013
Estado de México	42 cabras, 28 vacas, 8 becerros, 12 cerdos, 106 borregos y 6 caballos 873 kg/día	Reactor anaerobio	8.43 m^3 biogás/día Tiempo de retención hidráulica 28 días	Generación de energía eléctrica 0.44 kWe		López y Peñaloza, 2013

L_0 : Potencial de generación de metano ($\text{m}^3 \text{CH}_4/\text{Mg}$ de RSU)

Fuente: (Aguilar, Taboada y Ojeda, 2011; Frías, 2009; Otlica, 2012; Canepa y Olivier, 2013; López y Peñaloza, 2013)

En otro estudio llevado a cabo en el relleno sanitario de Querétaro por SCS Engineers (2005a), en la recuperación reportada de biogás fue de 3.2 MW en el 2009, ascendente hasta 5.4 MW en el 2016 y descendiendo a 3.8 MW en el 2019. En el mismo año, SCS Engineers estimó la capacidad máxima de generación de energía eléctrica del relleno sanitario de Chihuahua en 3.3 MW para el 2009, ascendiendo hasta 4.3 MW en el 2013 y descendiendo a 2.6 MW en el 2019 (SCS Engineers, 2005b).

El relleno sanitario de Ensenada, Baja California, ha sido objeto de estudio para estimar el potencial de producción eléctrica del biogás generado por los residuos depositados. Aguilar et ál. (2011 y 2013), reportan que se llegará a una capacidad de generación de energía de 1.9 MW en el 2019. Dicha energía podría aumentar la capacidad de generación eléctrica existente en Ensenada aproximadamente en un 3.46 % y abastecer el 60 % de la energía necesaria para alumbrado público, con un ahorro de \$1,423 millones de dólares estadounidenses.

Un estudio realizado por Aguilar et ál. (2014) en cuatro comunidades (dos rurales y dos urbanas) de Mexicali, Baja California, mostraron que el potencial de producción energética usando el biogás generado en los sitios de disposición final para 2013 fue de 4,082.40 y 21,578.40 MW/h para las comunidades urbanas de Mexicali y Tijuana. Esta energía equivale aproximadamente al 6 % y 40 % de la energía requerida para la iluminación de Tijuana y Mexicali respectivamente. Para el caso de las comunidades rurales de Vicente Guerrero y San Quintín el potencial energético fue de 583.2 MW/h para cada una y se estima un ahorro de \$109,000 dólares estadounidenses para cada comunidad.

Durante el periodo de 2013-2030 los cuatros sitios de disposición final de residuos tiene un potencial de generación de 760,492.8 MW/h, lo que equivale a un ahorro de \$142'210,000 dólares estadounidenses. La reducción de emisiones de CO₂ -eq sería de aproximadamente 5'196,492 toneladas en el mismo periodo, con un valor de \$57'160,000 dólares estadounidenses en el mercado de carbono. Alemán et ál. (2014b) reportan diferentes casos de generación de bioenergía exitosos en México a diferentes escalas, destaca un caso en el estado de Nuevo León que consistió en la apertura en 2006 de la granja "El Chanco" en Cadereyta, la primera de las tres plantas de generación eléctrica a partir de biogás (65 kW para 2005). La iniciativa incluye un conjunto de nueve granjas de cerdos en los municipios de Cadereyta, Allende y Montemorelos. Estas granjas han mitigado sus emisiones de metano a la atmósfera a través de la captura y quema de biogás generado por la digestión de estiércol de cerdo. El proyecto pretende utilizar el estiércol de cerdo para: obtener biogás; generar electricidad para el consumo de la granja; vender la energía excedente a la red nacional de la Comisión Federal de Electricidad (CFE); y obtener lodo orgánico utilizable como fertilizante agrícola.

Arvizu et ál. (2006) y Arvizu y Huacuz (2003) señalan que con el biogás que ya producen los residuos sólidos urbanos confinados en los últimos cinco años, sería posible soportar una capacidad de generación eléctrica cercana a los 80 MW, e incorporar 16 MW adicionales con los nuevos residuos que, año con año, se estarán acumulando en los rellenos sanitarios existentes. De esta forma, a lo largo de diez años la capacidad total de generación eléctrica podría ascender a 240 MW. En el caso de que todos los residuos sólidos urbanos actualmente producidos fueran confinados en rellenos sanitarios, la capacidad de generación eléctrica por medio del biogás resultante podría llegar a los 400 MW para todo el país.

2.3. Tecnologías de tratamiento de aguas residuales, ventajas y desventajas con relación a la emisión de GEI

Cuando se generan aguas residuales, que se definen como "aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos público urbano, doméstico, industrial, comercial, de servicios, agrícola, pecuario, de las plantas de tratamiento y en general, de cualquier uso, así como la mezcla de ellas" (Ley de Aguas Nacionales, 2013), se hace necesario la aplicación de un tratamiento que permita la remoción de sustancias orgánicas e inorgánicas, que pueden estar en forma de partículas en suspensión y/o disueltas. Lo anterior con el objetivo de alcanzar una calidad de agua que cumpla con la normativa de descarga o por el tipo de reutilización a la que se destinará. Al retirar el material contaminante, se obtienen subproductos residuales, como los lodos y emisiones gaseosas, como son los gases de efecto invernadero (GEI).

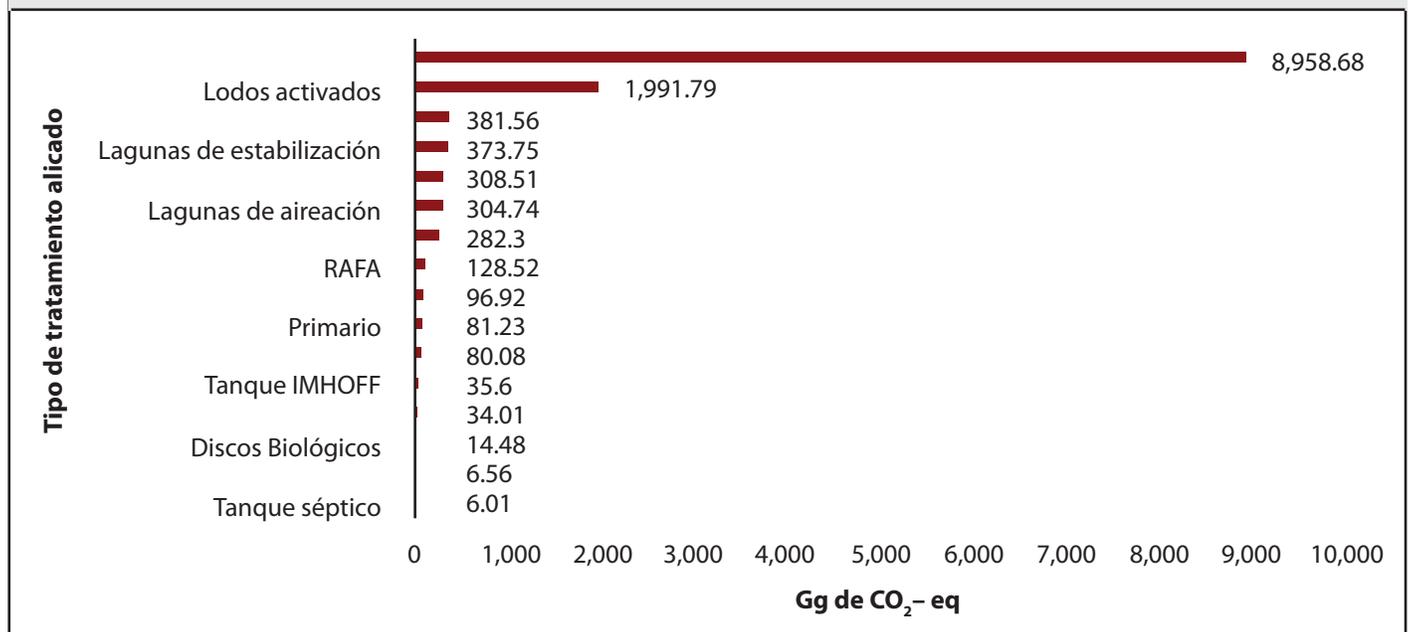
En el año 2012, se contaba con un total de 2,342 plantas de tratamiento de aguas residuales municipales, con un caudal tratado de 99.8 m³/s en el mismo año, la industria trató 60.5 m³/s de aguas residuales, en 2 530 plantas en operación a nivel nacional.

Del total de agua residual que se genera (7.24 miles de $\text{hm}^3/\text{año}$ de municipales y 6.61 miles de $\text{hm}^3/\text{año}$ de industriales), sólo se tratan una fracción de los dos tipos de aguas residuales.

En la selección de tecnologías para el tratamiento se deben tomar en cuenta no solo los aspectos técnicos y económicos sino también, los impactos ambientales generados. En este sentido, las emisiones de GEI constituyen uno de los impactos negativos más relevantes del sector y deben ser considerados en el proceso de selección del tipo de tratamiento a implementar. Se estima que el metano producido por el tratamiento de aguas residuales constituye cerca del 5 % de las fuentes de emisión de metano global (Fadel y Massoud, 2001).

Los subproductos obtenidos del tratamiento de las aguas residuales, depende del tipo de tratamiento que se aplique. En México se han realizado estudios dirigidos a la contabilización de los GEI provenientes de cada tipo de tratamiento de aguas residuales, de acuerdo con la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) en 2012, el 68.5 % de las emisiones de CH_4 , son aportadas por el agua no tratada que se descarga a un cuerpo receptor. En segundo lugar se encuentran las emisiones del tratamiento por lodos activados con un aporte del 15.2 % (Figura 6).

Figura 6. Emisiones de CH_4 por tipo de sistema de tratamiento y descarga



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos publicados en CONAGUA (2012).

Los sistemas de tratamiento de aguas residuales pueden incluir etapas de procesos anaerobios. El CH_4 generado en ese tipo de sistemas puede recuperarse para cogeneración de energía o quemarse en antorcha. La cantidad de CH_4 que se quema o se recupera para generar energía debe restarse del total de las emisiones, mediante el uso de un parámetro separado para la recuperación de CH_4 . La cantidad de CH_4 que se recupera se expresa como "R". Cuando no se disponen de estos datos el valor recomendado es cero. En México se cuentan con registros de algunas plantas de tratamiento de agua residual que aprovechan el biogás generado por el tratamiento de los lodos (CONAGUA, 2012), el Cuadro 5, se enumeran las PTAR que realizan este aprovechamiento.

3. Acciones propuestas para la mitigación en la categoría residuos

De acuerdo con la QCN, hasta el año 2011 la categoría de residuos ha contribuido a la mitigación de 1.05 Mt de CO₂-eq/año, 24 % de la meta al año 2012 (4.44 CO₂-eq/año), principalmente relacionadas con la reducción de las emisiones de GEI en los rellenos sanitarios. En esta categoría se identificaron acciones con el potencial para generar un abatimiento de 26 Mt de CO₂-eq al año 2020, que incluyen (INECC-SEMARNAT, 2012):

1. Impulsar la participación del sector privado en proyectos de reciclaje, separación de residuos, reutilización, confinamiento de desechos, y creación de centros de acopio.
2. Desarrollar mecanismos y regulaciones que hagan corresponsables a las organizaciones del manejo de los residuos que generan.
3. Corregir los sistemas tarifarios de los servicios de recolección y tratamiento, de forma que se incentive la reinversión en mejoras tecnológicas y logísticas, y se puedan implementar las mejores prácticas a nivel mundial.
4. Reforzar las campañas educativas e informativas para sensibilizar a la población sobre la importancia de reducir la generación de desechos y el consumo de agua. Los proyectos que deben impulsarse dentro de este sector caen en cuatro categorías básicas.
5. Tratamiento de aguas residuales. Además del beneficio por reducción de emisiones, el agua tratada se puede aprovechar para otras actividades, mientras que el CH₄ se puede aprovechar en la generación de electricidad para la operación de las plantas de tratamiento de aguas residuales.
6. Captura y aprovechamiento de biogás producto de rellenos sanitarios y PTAR. En los rellenos sanitarios de gran capacidad, el aprovechamiento del CH₄ para la generación de electricidad genera ingresos que superan la inversión tecnológica.
7. Reciclaje. Esta actividad incrementó su capacidad en 154 % entre 2002 y 2011, y ofrece grandes oportunidades para el sector industrial por el ahorro de costos asociado. No obstante, se requiere hacer mayores esfuerzos para lograr un mayor proceso de recuperación y reciclaje de los residuos.
8. Composta. Puede ayudar a aumentar la productividad de la producción agrícola, pero aún es necesario analizar con mayor profundidad el valor en el mercado y las alternativas para lograr proyectos viables.

Cuadro 5. PTAR que actualmente queman o aprovechan el biogás o en proceso de hacerlo

Entidad	Nombre de la planta	Proceso de tratamiento	Caudal tratado (L/s)	Observaciones
Chihuahua	Norte	Lodos activados	473	Se quema biogás
	Chihuahua Sur		1,749	Se usa en calentamiento de biodigestor
	Norte		1,350	El biogás se envía a otra planta de tratamiento
	Sur		1,650	Quema de biogás en construcción
Coahuila	Principal	Lodos activados	900	Se quema biogás
Guanajuato	León	Primario/biofiltros	1,525	Se usa en calentamiento del biodigestor
	León	Primario avanzado, lodos activados	100	Se quema biogás
Jalisco	El ahogado	Lodos activados	1,500	Se congnera energía
Nuevo León	Norte	Aireación extendida	2,057	Se quema el biogás y cogeneración de energía
	Dulces nombres	Lodos activados	4,440	
Puebla	San Francisco	Primario avanzado	1,100	El lodo se trata en la planta de Atoyac Sur
	Alseseca		500	Se quema biogas
	Atoyac Sur		200	
	Barranca del Conde		180	El lodo se trata en la planta de Atoyac Sur
	Parque Ecológico		80	
Querétaro	San Pedro Mártir	Dual Anaerobio-aerobio	400	Quema de biogás y cogeneración de energía
Sinaloa	Culiacán Norte	Primario avanzado	1,533	
Tamaulipas	Morelos	Biofiltros	100	Se quema el biogas
	Tierra Negra	Lodos activados	800	
Veracruz	FIRIOB	Lodos activados	750	

Fuente: (CONAGUA, 2012).

Se tienen identificados proyectos para el aprovechamiento de biogás para generación de energía en 29 rellenos sanitarios de 19 ciudades de la República Mexicana, con un potencial de abatimiento de 4.4 MtCO₂-eq (INE, 2010).

Conclusiones

Las acciones propuestas para la mitigación y las opciones tecnológicas para la mitigación de las emisiones de GEI en la categoría residuos y su tendencia, dependen fundamentalmente de la precisión de los inventarios realizados de estas emisiones, y la incertidumbre de estos inventarios depende básicamente de tres factores que son: la metodología aplicada; las fuentes de información de los datos de la actividad; y de los factores de emisión empleados en cada actividad.

Las metodologías internacionales en general y del IPCC en particular, proponen el empleo de metodologías y software estandarizado para reducir al máximo la incertidumbre asociada a la metodología, así como valores regionales por defecto para

reducir la incertidumbre de los factores de emisión por defecto, dejando como mayor fuente de incertidumbre la asociada a las fuentes de información, que en países desarrollados es sistemática y transparente, en tanto que en países en desarrollo, son la mayor fuente de incertidumbre en los inventarios.

No obstante el gran esfuerzo desarrollado en los últimos 20 años en nuestro país para realizar los inventarios de este sector, que ha dado como resultado las cifras discutidas en las páginas anteriores, y ante la diversidad de fuentes de emisiones consideradas en la Metodología IPCC 2006, en términos generales no existe información sistemática y ordenada de estas actividades que garantice una baja incertidumbre o una alta confiabilidad de los resultados citados. Sin embargo, han cumplido con el objetivo para informar oportunamente a la Convención Marco de las Naciones Unidas ante el Cambio Climático que periódicamente se han realizado.

Se ha experimentado que el cambio de metodología del IPCC versión 1996 a 2006 trae grandes diferencias en cuantos a las emisiones. La metodología 2006 incorpora el modelo descomposición de primer orden (FOD por sus siglas en inglés) para la estimación de las emisiones de CH_4 provenientes de los desechos sólidos depositados en sitios de disposición final, en lugar del método anterior de equilibrio de masas recomendado por la Metodología 1996. Así mismo, la metodología incorpora para la estimación de emisiones del sector en cuestión nuevas subcategorías, tales como el tratamiento biológico de los desechos, la incineración a cielo abierto y la aportación de fosas sépticas, letrinas y canales de conducción de las aguas residuales, así como los residuos industriales, actividades no registradas en nuestro país.

Si se quiere disponer de inventarios confiables de primer nivel que sustenten las acciones de mitigación y la selección de tecnologías de mitigación al igual que en países desarrollados, se debe disponer de la información continua, transparente y prácticas que garanticen su confiabilidad mediante los registros de calidad que permitan estimar su incertidumbre, y esto solo es posible mediante leyes en la materia que se observen sin tergiversación en beneficio de un verdadero combate al cambio climático.

Referencias

- Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos [USEPA].** (2011). *Guía para el aprovechamiento del gas metano en rellenos sanitarios*. Disponible en: <http://biogas-iclei.pacmun.org.mx/wp-content/uploads/2013/04/g-Guia-Aprovechamiento-Gas-Metano-EPA-COCEF-ICMA-Julio-2011.pdf>. (Agosto de 2014).
- Aguilar, V. Q., Armijo, V. C. y Taboada, G. P.** (2009). El potencial energético de los residuos sólidos municipales. *Ingeniería Revista Académica*, 13(1), 59-62.
- Aguilar, V. Q., Taboada, G. P. y Ojeda, B. S.** (2011). Potencial de producción eléctrica del biogás generado en un relleno sanitario. *Ingeniería e Investigación*, 31(3), 56-65.
- Aguilar, V. Q., Taboada, G. P. & Ojeda, B. S.** (2013). Seasonal analysis of the generation and composition of solid waste: potential use-a case study. *Environmental Monitoring and Assessment*, 185(6), 4633-4645.
- Aguilar, V. Q., Taboada, G. P., Ojeda, B. S. & Cruz, S. S.** (2014). Power generation with biogas from municipal solid waste: Prediction of gas generation with *in situ* parameters. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 30, 412-419.
- Alemán, N. G., Casiano, F. V., Cárdenas, C. D., Díaz, C. R., Scarlat, N. & Mahlkecht, J.** (2014a). Renewable energy research progress in Mexico: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 32, 140-153.
- Alemán, N. G., Sandate, F. L., Meneses, J. A., Díaz, C. R. & Dallemand, J. F.** (2014b). Bioenergy Sources and Representative Case Studies in Mexico. *J Pet Environ Biotechnol*, 5(190), 2.
- Arvizu, J. L.** (2011). La basura como recurso energético. Situación actual y prospectiva en México. *Boletín IIE*. Enero-marzo, 36-44 pp.
- Arvizu, J. L. y Huacuz, J. M.** (2003). Biogás de rellenos sanitarios para producción de electricidad. *Boletín IIE*, 27(4), 118-123.
- Arvizu, J. L., Huacuz, J. M. y Saldaña, M. J.** (2006). Evaluación del potencial energético de los rellenos sanitarios. *Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: investigación, desarrollo y práctica*, 1(1), 1-14.
- Beecher, N., Harrison, E., Goldstein, N., McDaniel, M., Field, P., & Susskind, L.** (2005). Risk perception, risk communication, and stakeholder involvement for biosolids management and research. *Journal of environmental quality*, 34(1), 122-128.
- Bogner, J., Abdelrafie, A. M., Diaz, C., Faaij, A., Gao, Q., Hashimoto, S., Mareckova, K., Pipatti, R. & Zhang, T.** (2007). Waste Management. In *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 863 pp.
- Bogner, J., Pipatti, R., Hashimoto, S., Diaz, C., Mareckova, K., Diaz, L. & Gregory, R.** (2008). Mitigation of global greenhouse gas emissions from waste: conclusions and strategies from the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Fourth Assessment Report. Working Group III (Mitigation). *Waste Management & Research*, 26(1), 11-32.
- Botero, B. M., y Preston, R. T.** (1987). Biodigestor de bajo costo para la producción de combustible y fertilizante a partir de excretas. *Manual para su instalación, operación y utilización. Centro Internacional de Agricultura Tropical. Cali, Colombia*, 353-362.
- Brown, S. & Subler, S.** (2007). Composting and greenhouse gas emissions: a producer's perspective. *Bicycle*, 48(3), 37-41.
- Canepa, J. R. y Olivier, J. A.** (2013). Degradación anaerobia del contenido gástrico ruminal bovino para la obtención de biogás, en un biodigestor tipo cúpula. *Ingeniería*, 17(1), 57-65.
- Cardoso, L.** (2003). Manejo de lodos residuales en México. In *XXVII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. (3-8, diciembre: Brasil). Memorias. Puerto Alegre, Brasil*. 1-7.
- Castrejón, G. M., Sánchez, S. E., Rodríguez, A. & Ortiz, H. M.** (2015) Analysis of Solid Waste Management and Greenhouse Gas Emissions in Mexico: A Study Case in the Central Region. *Journal of Environmental Protection*, 6, 146-159.
- Chum, H., Faaij, A., Moreira, J., Berndes, G., Dharmija, P., Dong... Pingoud, K.** (2011). Bioenergy. In: *IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation*. New York, NY, USA.: Cambridge University Press. Cambridge, United Kingdom. 309 pp.
- Comisión Nacional del Agua [CONAGUA].** (2012). *Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento*, México DF. 280 pp.
- Diario Oficial de la Federación [DOF].** (2013). Programa Sectorial de Medio Ambiente y Recursos Naturales 2013-2018 (PROMARNAT). Diario Oficial de la Federación 12-12-2013.
- DOF.** (2014). Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos. Diario Oficial de la Federación 04-06-2014.
- Fadel, M. & Massoud M.** (2001). Methane emissions from wastewater management. *Environmental Pollution*, 114(2), 177-185.
- Fernández, R. T.** (2012). Digestión anaerobia para una sustentable Ciudad de México. Universidad Autónoma Metropolitana, 6 pp.

- Frías, H. J. T.** (2009). Potencial y oportunidades de desarrollo de biocombustibles a partir de materiales no alimenticios en Guanajuato. *Ide@CONCYTEG*, 4(54), 1271-1286.
- García, O. N.** (2006). Lodos residuales: estabilización y manejo. *Caos conciencia*, 1, 51-58.
- Hoornweg, D.** (1999). What a waste: solid waste management in Asia. Report of Urban Development Sector Unit, East Asia and Pacific Region, World Bank, Washington, D.C. 43 pp.
- Instituto Nacional de Ecología [INE].** (2005). Sistematización de la información existente sobre los programas municipales de composteo. Elaborado por Nathalie Jean-Baptiste bajo la coordinación de Ana Córdova. Numero de contrato: INE/ADE-023/2005. México.
- INE** (2010). México, Potencial de mitigación de gases de efecto invernadero en México al 2020 en el contexto de la cooperación internacional.
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos** [INECC-SEMARNAT]. (2012). *Quinta comunicación nacional ante la convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático*. Primera edición, ISBN 978-607-8246-50-2. México. D.F. 441 pp.
- INECC-SEMARNAT.** (2013). *Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 1990–2010*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, México.
- INEGI.** (2014). Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Estadística, Medio Ambiente. Asentamientos y Actividades Humanas. Recuperado el 29 de julio de 2014. Disponible en: <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/temas/default.aspx?s=est&c=21385>.
- IPCC.** (2006). 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, General Guidance and Reporting. Volume 5. Waste prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., et al. (Ed.).
- IPCC.** (2014). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.
- Islas, J., Manzini, F., & Masera, O.** (2007). A prospective study of bioenergy use in Mexico. *Energy*, 32(12), 2306-2320.
- Jiménez, B., & Wang, L.** (2006). Sludge Treatment and Management. Chapter 10 in *Municipal Wastewater Management in Developing Countries: Principles and Engineering*. (pp. 237-292.) Ujang Z. and Henze M. Eds.
- Kargbo, D. M.** (2010). Biodiesel production from municipal sewage sludges. *Energy & Fuels*, 24(5), 2791-2794.
- LeBlanc, R. J., Matthews, P., & Richard, R. P.** (2009). *Global atlas of excreta, wastewater sludge, and biosolids management: moving forward the sustainable and welcome uses of a global resource*. UN-HABITAT. ISBN: 978-92-1-132009-1.
- Ley De Aguas Nacionales** (2013). Diario Oficial de la Federación, México, 07 de junio 2013.
- López, V. M. y Peñaloza, C. T. F.** (2013). *Sistema para generar bioenergía a partir de desechos pecuarios en el centro de investigación de la Facultad de Veterinaria de la UNAM en Chapa de Mota, Estado de México*. Tesis de licenciatura. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México. 123 pp.
- Lou, X. F. & Nair, J.** (2009). The impact of landfilling and composting on greenhouse gas emissions – A review. *Bioresource Technology*, 100(16), 3792–3798.
- Ojeda, B. S. & Beraud, L. J.** (2003). The municipal solid waste cycle in Mexico: final disposal. *Resources Conservation and Recycling*, 39(3), 239–250.
- Ortiz, H. M., Gutiérrez, R. M., y Sánchez, S. E.** (1995). Propuesta de manejo de los lodos residuales de la planta de tratamiento de la ciudad industrial del valle de Cuernavaca, estado de Morelos, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 11(2), 105-115.
- Otlca, D. J.** (2012). Aprovechamiento de biogás proveniente del abono de ganado vacuno en un establo ubicado en Ixtapaluca Estado de México. Tesis de Maestría en Ingeniería Civil. Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura U. Z. Instituto Politécnico Nacional. 88 pp.
- Ramón, A. J., Romero, F. L., y Simanca, J.** (2013). Diseño de un biodigestor de canecas en serie para obtener gas metano y fertilizantes a partir de la fermentación de excrementos de cerdo. *Revista Ambiental agua, aire y suelo*, 1(1), 15-23.
- Rodríguez, S. M. A. y Córdova, V. A.** (2006). Manual de compostaje municipal: tratamiento de residuos sólidos urbanos. *SEMARNAT, EME y GTZ. México*.
- Rojas, R. R. y Mendoza, E. L. G.** (2011). El potencial de generación de energía eléctrica empleando biosólidos como fuente de materia prima: El caso de la ciudad de Ensenada, Baja California. *Hacia la sustentabilidad: Los residuos sólidos como fuente de energía y materia prima*, 343-349.
- Schubert, R., Schellnhuber H. J., Buchmann N., Epiney A., Griebhammer R. Kulesa M., Messner D., Rahmstorf S., & Schmid J.** (2009). *Future bioenergy and sustainable land use*. Routledge. USA: 361 pp. ISBN: 978-1-84407-841-7.
- SCS Engineers.** (2005a). Estudio de pre-factibilidad para la recuperación de biogás y producción de energía en el relleno sanitario de Querétaro, Querétaro, México.



SCS Engineers. (2005b). Estudio de pre-factibilidad para la recuperación y utilización en el relleno sanitario de Chihuahua, Chihuahua, México. Disponible en: <http://bva.colech.edu.mx/xmlui/handle/123456789/HASH24184ea5895de884f05cc6>. (20 de junio 2014).

SEMARNAT. (2014). Residuos peligrosos. Recuperado el 20 de junio de 2014, de <http://www.semarnat.gob.mx/temas/gestion-ambiental/materiales-y-actividades-riesgosas/residuos-peligrosos>.

Sistema Integral para el Manejo Ecológico y Procesamiento de Desechos [SIMEPRODE]. (2014). Disponible en: http://www.nl.gob.mx/?P=simeprode_bioenergia. (22 de agosto 2014).

Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SNIARN-SEMARNAT]. (2012). Informe de la situación del medio ambiente en México. Compendio de estadísticas ambientales, indicadores ambientales y desempeño ambiental. Capítulo 7. Residuos. Recuperado el 18 de junio de 2014, de http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_12/pdf/Cap7_residuos.pdf.

SNIARN-SEMARNAT. (2013a). Indicadores básicos del desempeño ambiental de México. Disponible en: http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/indicadores13_cd/conjuntob/indicador/04_residuos/4_2.html. (20 de junio 2014).

SNIARN-SEMARNAT. (2013b). Consulta temática. Resumen de la disposición final estimada de residuos sólidos urbanos. Disponible en: http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/ibi_apps/WFServlet?IBIF_ex=D3_RSM01_06_D&IBIC_user=dgeia_mce&IBIC_pass=dgeia_mce. (18 de junio 2014).

SNIARN-SEMARNAT. (2013c). Consulta temática. Disposición estimada de residuos sólidos urbanos por tipo de localidad. Disponible en: http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/ibi_apps/WFServlet?IBIF_ex=D3_RSM01_08_D&IBIC_user=dgeia_mce&IBIC_pass=dgeia_mce. (20 de junio 2014).

SNIARN-SEMARNAT (2013d). Consulta temática. Generación estimada de residuos sólidos urbanos por tipo de residuo. Disponible en: http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/ibi_apps/WFServlet?IBIF_ex=D3_RSM01_03&IBIC_user=dgeia_mce&IBIC_pass=dgeia_mce. (enero 2015).

SNIARN-SEMARNAT. (2013e). Consulta temática. Agua residual generada, colectada y tratada. Disponible en: http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/ibi_apps/WFServlet?IBIF_ex=D3_AGUA07_15&IBIC_user=dgeia_mce&IBIC_pass=dgeia_mce. (20 de junio 2014).

SNIARN-SEMARNAT. (2014a). Consulta temática. Inventario de residuos peligrosos de plaguicidas obsoletos o caducos, por categoría toxicológica, periodo 2009-2011. Disponible en: http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/ibi_apps/WFServlet?IBIF_ex=D3_RESIDUOP01_23&IBIC_user=dgeia_mce&IBIC_pass=dgeia_mce. (20 de junio 2014).

SNIARN-SEMARNAT. (2014b) Consulta temática. Centros de acopio y cantidad de materiales valorizables recolectados según tipo de material. Recuperado el 20 de junio de 2014. Disponible en: http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/ibi_apps/WFServlet?IBIF_ex=D3_RSM01_15&IBIC_user=dgeia_mce&IBIC_pass=dgeia_mce.



Capítulo 8

AGRICULTURA

Autor líder:

José Antonio Benjamín Ordóñez Díaz¹⁹.

Autores colaboradores:

Tomás Hernández Tejeda²⁰, María de Lourdes de la Isla de Bauer²¹,
Santiago López Ridauro⁴, Omar Rojas García¹¹ y Sandro Cervantes Núñez¹.

¹UNAM PINCC Programa de Investigación en Cambio Climático,
Universidad Nacional Autónoma de México, ⁴INRA Institut National de la Recherche Agronomique de Francia,

¹¹ITESM Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, ¹⁹UNAM Facultad de Ciencias,

²⁰SAGARPA INIFAP Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias,

²¹COLPOS Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo.

Palabras Clave: Agrícola, rural, desarrollo, mitigación, ganadero, cultivo, emisiones.

Resumen

En México las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), provenientes del sector agricultura equivalen al 12.3 % respecto al total de las emisiones nacionales (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático [INECC], 2013). Estudios de vulnerabilidad en el sector agropecuario señalan que el incremento en la temperatura afecta gran parte del territorio y los escenarios generados por diversos modelos convergen en un incremento de la temperatura y disminución en la precipitación en el corto y mediano plazo (Conde et ál., 2006); cabe señalar que el sector utiliza cerca del 75 % de agua para el desarrollo agrícola y pecuario, mismo que se puede ver limitado (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT], 2013). En este sector, se aprecia una disminución del 15 % de cabezas de ganado ovino y pavos; disminución del 9 % para ganado caprino y 6 % para el porcino, para el periodo comprendido de 1980 al 2012, mientras que las aves para carne aumentaron 307 % y las aves para huevo 265 % en el mismo periodo (Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta [SIACON], 2013).

Las acciones de mitigación identificadas en este sector versan en la conservación y uso sustentable de suelo, agua y vegetación, la reconversión productiva en agricultura, la utilización eficiente de fertilizantes, la aplicación de la labranza de conservación o cero; existen otras medidas que pueden impulsarse, como el fomento a proyectos para la captura de carbono y reducción de las emisiones de óxido nitroso en la agricultura, la eliminación en la utilización del fuego, la gestión de los suelos agrícolas, manejo de fertilizantes, técnicas de cultivo, así como el control y la disminución de emisiones por fermentación entérica y manejo de estiércol (Valdez et ál., 2010; INECC, 2013; SEMARNAT, 2013).

El panorama general permite apreciar que la política de implementación multisectorial de programas de gobierno encaminados a aliviar la pobreza y detener la degradación ambiental en este sector, necesita reforzarse para obtener resultados; ya que se han enfocado más en establecer mecanismos de subsidio y de control, en lugar de mecanismos de desarrollo de capacidades entre los habitantes incorporados a dichos programas; el ingreso diario de los campesinos es un factor limitante para la incorporación de más personas en las actividades productivas del campo, y de ahí que busquen oportunidades en otras regiones (De la Isla, 2009; Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación [SAGARPA], 2012a; SEMARNAT, 2013).

Introducción

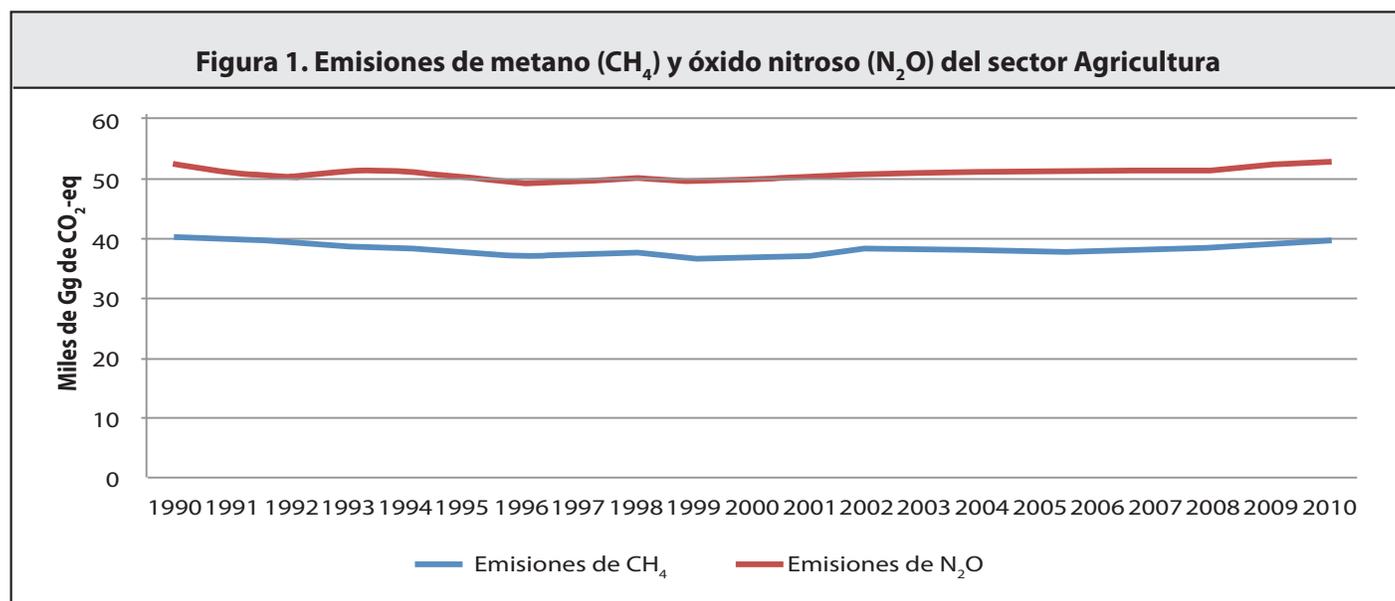
Debido a sus características geográficas, México ha sido el centro de origen y diversificación de numerosas plantas y frutos que se han difundido mundialmente, lo cual ha enriquecido las posibilidades alimenticias, la agricultura y la alimentación a nivel mundial (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2009). México, cuenta con un territorio nacional de 198 millones de hectáreas (ha) de las cuales 145 millones se dedican a la actividad agrícola y pecuaria; 30 millones de ha son consideradas tierras de cultivo y 115 millones de ha son de agostadero (FAO, 2009). La producción agrícola y ganadera es una actividad fundamental de las zonas rurales y en ellas habita el 22 % de la población nacional (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática [INEGI], 2010). Es por ello que el desarrollo rural debe ser parte relevante del progreso económico, cultural, de innovación tecnológica e industrial en nuestro país (González y Ruíz 2001; 2007; INECC, 2013; Ordóñez et ál., 2013).

La producción agrícola y pecuaria tiene como objetivo principal, sustentar y proveer de alimento a la población. Una prioridad que está incluida en la agenda nacional, a fin de garantizar la seguridad alimentaria en México, es conocer la situación actual de este sector, y así, poder implementar acciones que permitan el desarrollo, la permanencia y la sustentabilidad de las actividades agrícolas y pecuarias. (INECC, 2013; SEMARNAT, 2013).

Según el INEGI (2011), la inversión en México dedicada a este sector es del 3.8 % del Producto Interno Bruto (PIB); en los últimos años, la producción de los cultivos y el número de cabezas de ganado ha disminuido por fenómenos hidrometeorológicos atípicos; entre los que se encuentran: las prolongadas sequías, las heladas y las inundaciones (FAO, 2009), dichos fenómenos se han visto incrementados en magnitud y duración por el actual cambio climático (INECC, 2013).

1. Evolución de las emisiones en el sector agricultura y sus causas

Las emisiones totales del sector agricultura, en giga-gramos de dióxido de carbono equivalentes (Gg de CO₂-eq), para el periodo comprendido del año de 1990 al año 2010 (Figura 1.), fueron en promedio del orden de 89,129.01 Gg de CO₂-eq con un máximo de 92,785.90 Gg de CO₂-eq (que corresponde al año de 1990) y un mínimo de 86,161.00 Gg de CO₂-eq (para el año de 1999). En el año base de 1990 las emisiones totales del sector se estimaron en 92,785.90 Gg de CO₂-eq, mientras que para el año 2010 las emisiones registradas fueron del orden de 92,184.60 Gg de CO₂-eq. Hay en esta serie diferencias graduales de ±7 % en las emisiones de 1990 a 1999 y de 2010 respecto al año de 1990 la diferencia es del -1 % (INECC, 2013).



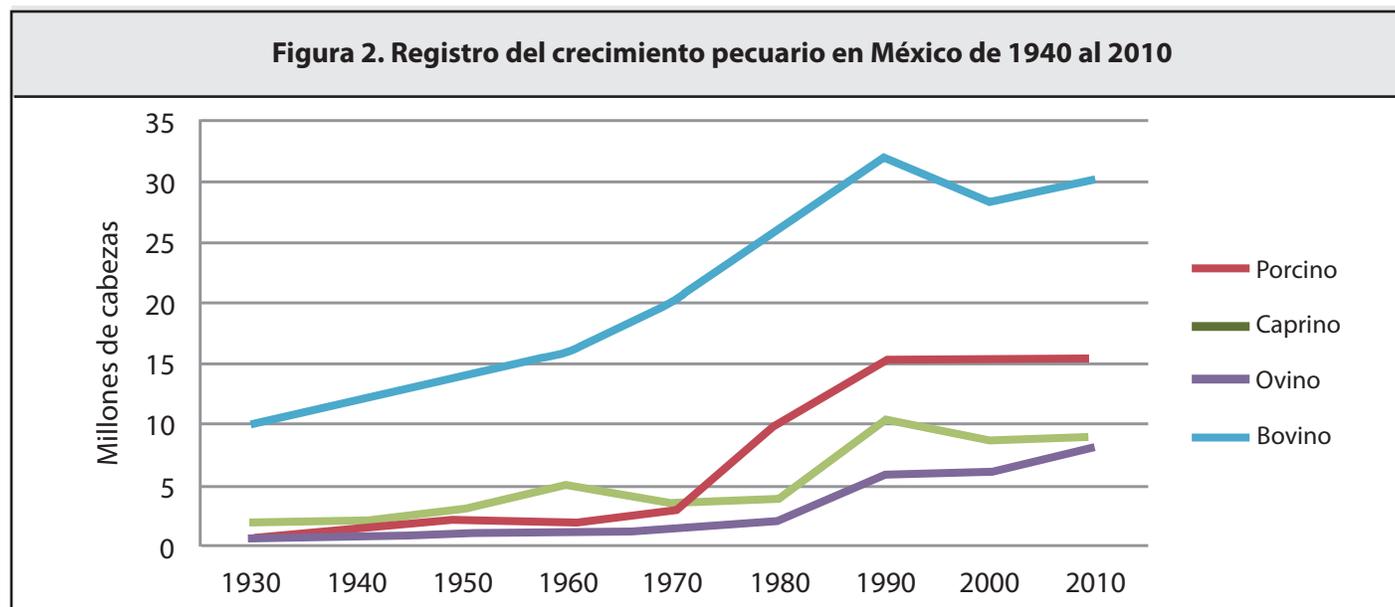
Fuente: (INECC, 2013)

Las emisiones promedio de CH_4 ocupan el 43 % y las de N_2O el 57 % restante. Las emisiones del sector muestran una disminución del 3 % en las emisiones de CH_4 y un incremento de casi 1 % en las emisiones de N_2O ; la principal causa de la variación en las emisiones a lo largo del periodo de 1990 a 2010, fue la dinámica del número de cabezas; el ganado de carne disminuye un 6 %, mientras que las aves aumentan 162 %; se presenta una reducción en el número de equinos (64 %), mulas y asnos (78 %), incluso cabras (14 %); además hay un incremento de ganado lechero (60 %), de ovinos (39 %) y porcinos (2 %), aunado al crecimiento económico en el periodo 1990-2009 reportado a la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), (del Río et ál., 2010), y a que en el sector se pagaron los salarios anuales promedio más bajos (\$25 pesos diarios), respecto a otros sectores; estos dos últimos indicadores económicos presentan una estrecha correlación con las emisiones, con la mano de obra disponible para sembrar y cosechar, y con la presencia de fenómenos hidrometeorológicos extremos (p.ej. la afectación de la sequía al hato ganadero) (INECC, 2013).

De acuerdo con diversos autores (González y Ruíz, 2001; 2007; Ordóñez et ál., 2013), no se cuenta con información detallada que incluya los tipos de clima y dietas más importantes por tipo de ganado en México. Su conocimiento permitiría reducir la incertidumbre asociada a los factores de emisión sugeridos por defecto, por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC). La información de las emisiones de N_2O de los suelos es preliminar, pues no se ha validado en su totalidad (INECC, 2013).

La información estadística colectada para el inventario de emisiones de GEI 1990-2010, proviene de los anuarios estadísticos de los Estados Unidos Mexicanos 2006 y 2007, del INEGI (2010) y del Sistema de Información Agroalimentaria-SIACON (2013), estas bases de datos son complementarias y no detallan la estructura del hato ganadero (es decir, hay modificaciones en el número de cabezas del ganado lechero; se actualiza el número de caballos, mulas, asnos y se incluyen el número de pavos o guajolotes), como en los censos anteriores elaborados por el INEGI, lo que no permite hacer extrapolaciones o asumir tendencias del incremento o decremento de las cabezas de animales que existen en el país (sin incluir aves) de forma directa. Bajo este escenario (Figura 2), se revisaron datos censales desde 1930 y se analizaron las tendencias centrales del incremento – decremento en dichos animales domésticos, de los datos provenientes del INEGI para los años de 1930, 1940, 1950, 1960, 1970, 1980, 1990, 2000, y 2010.

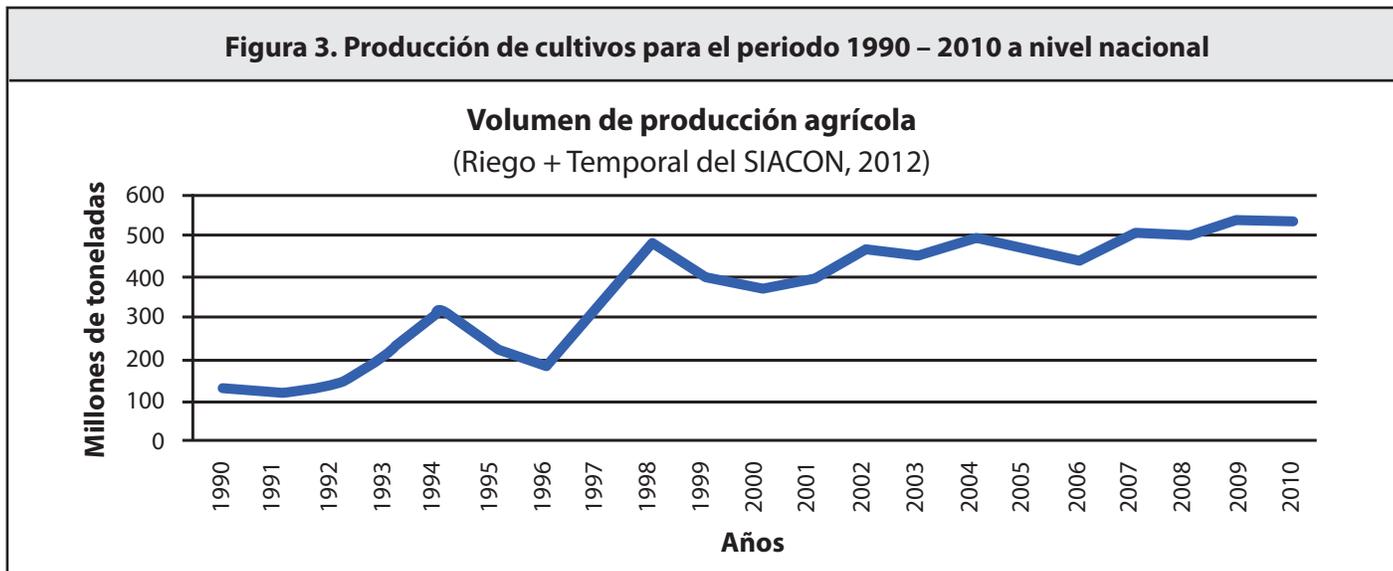
Figura 2. Registro del crecimiento pecuario en México de 1940 al 2010



Fuente: elaboración propia basada en los datos del INEGI (1930 a 2010)

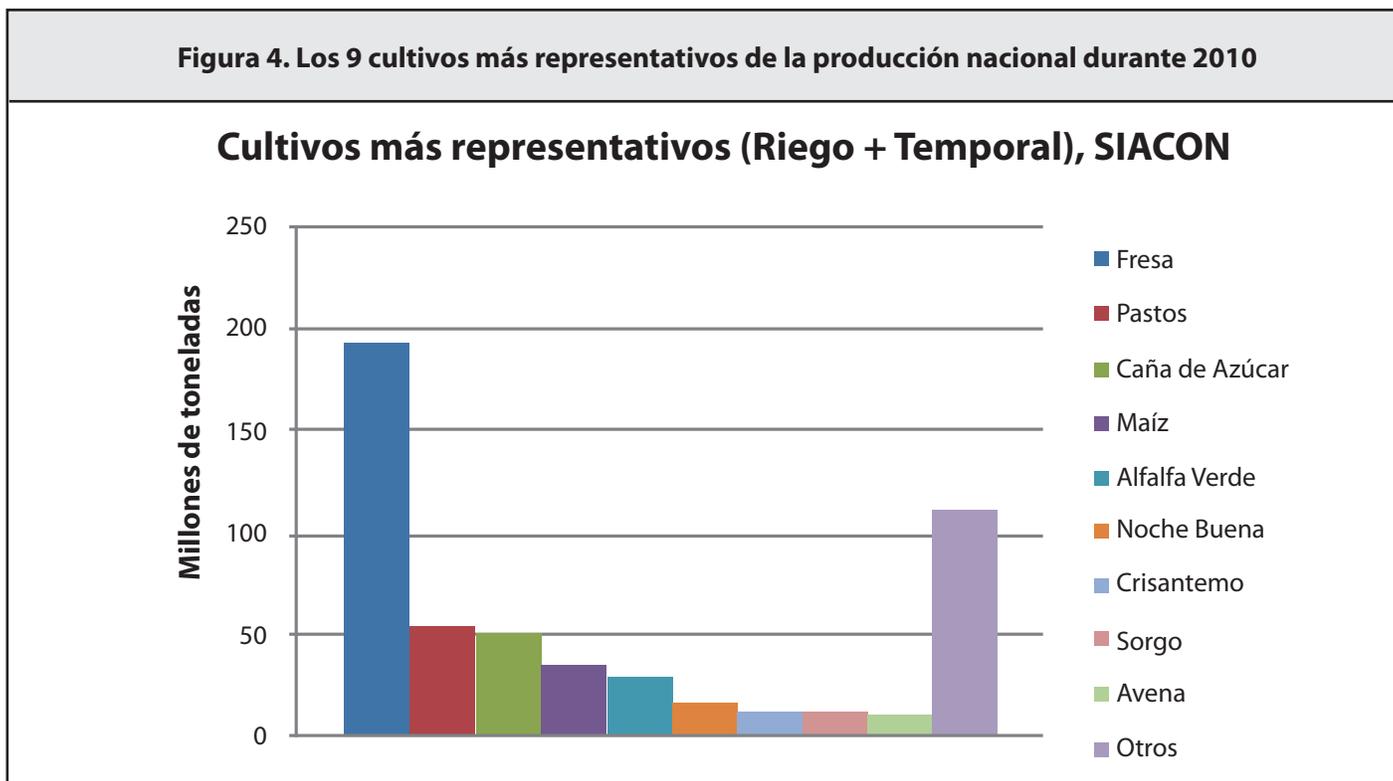


En el sector agrícola, la producción de 1990 fue de 154 millones de toneladas y, para el año 2010, fue de 524 millones de toneladas con un aumento del 339 % (Figura 3).



Fuente: elaboración propia basada en los datos del SIACON (2013)

Durante el año 2010 se identificaron 308 cultivos, de los cuales 9 son los más representativos (Figura 4).



Fuente: elaboración propia basada en los datos del SIACON (2013)

2. Tecnologías y prácticas de mitigación en el sector agrícola y ganadero

La agricultura emite a la atmósfera cantidades significativas de CO₂, CH₄ y N₂O; los flujos de estos gases pueden ser reducidos por un manejo más eficiente de los flujos de carbono y nitrógeno en los ecosistemas agrícolas (IPCC, 2014).

Martínez et ál., (2010), identifican oportunidades para mitigar emisiones de GEI en las siguientes actividades u opciones agrícolas: a) mejora de prácticas agrícolas; b) rotación de cultivos; c) reducción en la utilización de pesticidas y fertilizantes; d) uso controlado y restringido de cultivos con organismos genéticamente modificados; e) implementación de sistemas complejos como los agrosilvopastoriles; f) utilización de biomasa como combustible (Alemán et ál., 2014); g) promover la recuperación de la cobertura vegetal de áreas abandonadas; h) irrigación y bombeo nocturno de agua; i) establecimiento de áreas de producción de composta; j) educación tecnológica y ambiental adecuada para los agricultores (extensionistas pequeños y grandes) y; k) participación en la producción de etanol y biocombustibles (Valdez et ál., 2010; García et ál., 2015).

Se han realizado diversos estudios que proponen la utilización de la biomasa residual de los cultivos, la producción de etanol de la caña de azúcar y sorgo, así como otros cultivos como el aceite de palma y *Jatropha curca*; donde se han obtenido como resultado escenarios potenciales que sugieren el establecimiento de los cultivos y su aprovechamiento a nivel regional (García et ál., 2015), solo que dichos estudios emplean estadísticas a nivel grueso que enmascaran las características socio ambientales, económicas y culturales a nivel local, entre las que se encuentran y deben incorporarse: los costes del establecimiento de las plantaciones, jornales, renta de las tierras, equipo, materiales, costes de la cosecha, traslado y procesamiento de materia prima, evaluar el cambio en el uso de suelo, cuidar los nutrientes del suelo y el capital natural que ocurre en su entorno.

En la ganadería los rumiantes como los bovinos y ovinos son fuente importantes de CH₄ y representan cerca de la tercera parte de las emisiones de este gas (Martínez et ál., 2010; INECC, 2013). Todo el ganado libera N₂O del estiércol como resultado de la excreta de nitrógeno en heces y orina, y metano como producto de la descomposición anaeróbica de la materia orgánica a nivel del rumen por bacterias metanogénicas. Las prácticas identificadas para reducir emisiones de esta fuente son: a) mejoramiento de las prácticas de alimentación; b) utilización de agentes o aditivos en la dieta para disminuir la producción de metano (Cobos, 2011; Portela, 2012); c) cambios de gestión a largo plazo (en particular permitir que los animales alcancen su ciclo de vida y no inducirlo con la utilización de hormonas; d) estabular el ganado con mejores condiciones de hábitat; e) dar un manejo adecuado e integral a sus residuos; f) establecimiento de biodigestores; g) movilidad del ganado en caso de sequía; h) profesionalización en la producción pecuaria y; i) promoción de la educación ambiental y tecnológica (González y Ruíz, 2001; 2007; Ordóñez et ál., 2013).

La mejora en las prácticas de alimentación consiste principalmente en la utilización de provisiones concentradas en reemplazo de forrajes, agregar determinados aceites o semillas oleaginosas a la dieta, mejora en la calidad de los pastos y la optimización del consumo de proteínas para reducir la excreción de nitrógeno (De la Isla, 2009).

A nivel nacional SAGARPA (2012a), ha identificado seis acciones de mitigación a desarrollar en el sector Agricultura (Cuadro 1).

Cuadro 1. Acciones de mitigación para el sector agricultura

Acciones	Descripción
Tecnificación de riego	Es una estrategia que crea sinergias con actividades de mitigación como el ahorro de energía y agua; se ha aplicado en 578,429 ha, hasta alcanzar un 1'830,000 ha de superficie con riego tecnificado, de 5.6 millones de ha, que operan bajo este régimen hídrico, lo que significa un ahorro al sector de 3.5 mil millones de m ³ de agua por año.

Modernización sustentable de la agricultura tradicional (MasAgro)	MasAgro es una estrategia de mejora de las prácticas de cultivo –principalmente en productores de temporal– mediante el acceso a tecnologías modernas y con el apoyo de investigaciones para enfrentar procesos como la erosión del suelo, la escasez de agua y la utilización inadecuada de fertilizantes para reducir emisiones de GEI en los campos agrícolas. Este programa inició en 2010 y se impulsará, en colaboración con el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), hasta 2020.
Labranza de conservación y prácticas sustentables de manejo de suelos	A través de este programa, en los últimos 3 años, se otorgaron apoyos para la adquisición de implementos de labranza de conservación en 229,200 ha. El PECC establece una meta de 250,000 ha para el periodo 2008-2012. Se realizaron prácticas sustentables para la conservación de suelos en 471,473 ha, lo que representa una reducción y captación de emisiones de GEI superiores a la meta establecida que era en el orden de 0.32 mega-toneladas de dióxido de carbono equivalentes (Mt CO ₂ -eq), en el periodo 2008-2012.
Reconversión productiva	Entre 2008 a junio de 2012 se reconvirtieron 540,000 ha de tierras degradadas y con bajo potencial productivo y siniestralidad recurrente, a cultivos perennes y diversificados; esta superficie es 80 % superior a la propuesta originalmente en el PECC de 298,000 ha.
Cosecha en verde de la caña de azúcar	Como parte de este programa se cosecharon en verde 164,800 ha de la superficie industrializable de caña de azúcar, entre 2008 a junio de 2012, para reducir emisiones resultado de la quema de caña en un volumen de 0.11 Mt CO ₂ -eq, en ese periodo.
Uso apropiado de fertilizantes	Se alcanzó la producción de 2.88 millones de dosis de biofertilizantes, lo cual ayudará a reducir la utilización de fertilizantes químicos. Para fomentar la fertilización óptima, en 2011 y 2012 se realizaron 161 experimentos de calibración del sensor GreenSeeker para nitrógeno.

3. Eficiencia en la mitigación

Según la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP), (2015), los programas gubernamentales, tienen como objetivo: a) elevar la productividad del minifundio a través de modelos de asociatividad (*clúster*) y de la integración de la cadena productiva; b) promover la tecnificación del agua, así como la utilización óptima y sustentable de la misma; c) promover la producción nacional de insumos estratégicos (fertilizantes y semillas mejoradas); d) impulsar la innovación, el desarrollo tecnológico aplicado y la asistencia técnica con un nuevo extensionismo; e) manejar y prevenir riesgos climáticos y de mercado; f) promover la producción de alimentos sanos e inocuos; g) fomentar el financiamiento oportuno y competitivo; h) impulsar el desarrollo regional (p.e. agroparques y proyectos estratégicos); i) planear el balance oferta-demanda, conocido con el nombre de Tablero de Control. No obstante, la situación es que no hay transparencia ni seguimiento en dichos programas, lo que genera fuertes incertidumbres en el sector (González y Ruíz, 2001; 2007; Diario Oficial de la Federación [DOF], 2013; Ordóñez et ál., 2013).

La Quinta Comunicación Nacional, identifica en el sector Agricultura la propuesta de mitigación en el contexto de Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL), que ha sido aprovechada y aplicada por los productores privados en ranchos porcícolas a fin

de manejar los residuos en biodigestores, producir metano, quemarlo y generar electricidad. No se cuenta con la información fina y detallada del número de proyectos implementados y las toneladas de CH_4 reducido a CO_2 , así como, de la eficiencia a nivel nacional de las reducciones netas de CO_2eq asociado a proyectos de mitigación en este sector (SEMARNAT, 2012).

De acuerdo con De la Isla (2009), existen diversas formas para reducir emisiones por prácticas agrícolas que aumentan la productividad, y por lo tanto, los residuos de carbono que se almacenan en el suelo, ejemplo de ello es la mejora de las variedades, mayor rotación de cultivos y prácticas que reducen el barbecho. La adopción de sistemas con menor dependencia de fertilizantes, pesticidas y otros insumos.

El aporte de este sector al PIB es del 1.4 %. Con una importación en promedio de granos y oleaginosas de 18.18 millones de toneladas que equivalen al 36 %, considerando la seguridad alimentaria como un concepto; y no se han implementado estrategias bien definidas de mitigación en este sector, ante el cambio climático (DOF, 2013; SAGARPA, 2012b; INECC, 2013).

Las estadísticas nacionales (SIACON, 2013), permiten apreciar un descenso en el número de cabezas de ganado (-2 %) derivado posiblemente de sequías prolongadas (Rodríguez y Juárez, 2011) y de la falta de alimento para el ganado. En aves, está asociado a la fiebre aviar, pero su tasa de crecimiento sigue en aumento. En ovinos y cabras, deviene de la sequía y reducción de pastizales (De la Isla, 2009). Finalmente en cerdos, está asociado a influenza H1/N1 (Rodríguez y Del Moral, 2010).

4. Perspectivas Sistémicas (incluida la evaluación integrada de la agricultura)

La población rural de México en 1950 era del 57.4 % y la urbana de 42.6 %; para el 2010 la población rural es del 22 % y la urbana del 77.8 %, esto hace que el sector agrícola tenga menos poblaciones rurales que se dedican al campo (INEGI, 2010). El fenómeno de reducción de la población en parte se explica por el abandono de tierras y la migración de agricultores, marginales o de subsistencia, hacia ranchos que ofrecen jornales y garantizan alimentos por unos meses al año; a esto se suman otros factores como: el hecho de que se establezcan monocultivos tecnificados, que tienden a reducir la rotación en los cultivos, la recuperación de los ciclos agrícolas y la diversidad de los policultivos; una disminución en la demanda de mano de obra para la producción, y los elevados costos de la tecnificación (De la Isla, 2009; Ordóñez et ál., 2013). Esto sin tomar en cuenta las condiciones infrahumanas de vivienda, salud, alimentación y compensación salarial (como se observa actualmente en diversos estados, tales como: Baja California, Colima, Guanajuato, Sonora, Sinaloa, Nayarit, Veracruz, Chiapas, Oaxaca, Tabasco y Estado de México, principalmente; por lo que, varios autores (González, 1983; Toledo et ál., 1989; Pérez, 2008; De la Isla 2009; Ordóñez et ál., 2013), convergen en una visión panorámica del deterioro ecológico vigente en México, asociado a la expansión de las actividades agrícolas y pecuarias, al abatimiento de diversos ecosistemas y a la falta de educación en el manejo adecuado de los recursos naturales (De la Isla, 2009; Almeida, Nuñez y Barahona et ál., 2010; Ordóñez et ál., 2013).

5. Sinergias, intercambios, y las interacciones con la adaptación y otras opciones de mitigación

El sector Agricultura se encuentra en una continua sinergia con el sector Uso de Suelo, Cambio en el Uso de Suelo y Silvicultura (USCUSS), derivado de la dinámica de procesos asociados a la transformación de las coberturas vegetales naturales en áreas agrícolas, pecuarias y urbanas (Ordóñez et ál., 2013; Rodríguez et ál., 2015).

De acuerdo con Galindo, 2009; De la Isla, 2009; Valdez et ál., 2010; Ordóñez et ál., 2013 y García et ál., 2015, se pueden identificar en las prácticas agrícolas acciones de adaptación que atienden a la mitigación, entre las que destacan:

- Estudios sobre cultivos resistentes a la inundación, a temperaturas elevadas y a la sequía, y sobre la disseminación responsable, planificada y ordenada de tales cultivos.
- Introducción de variedades de mayor rendimiento.
- Implementación de nuevos esquemas y técnicas de riego para regiones áridas cultivadas.
- Ejecución de sistemas de control de plagas y enfermedades.



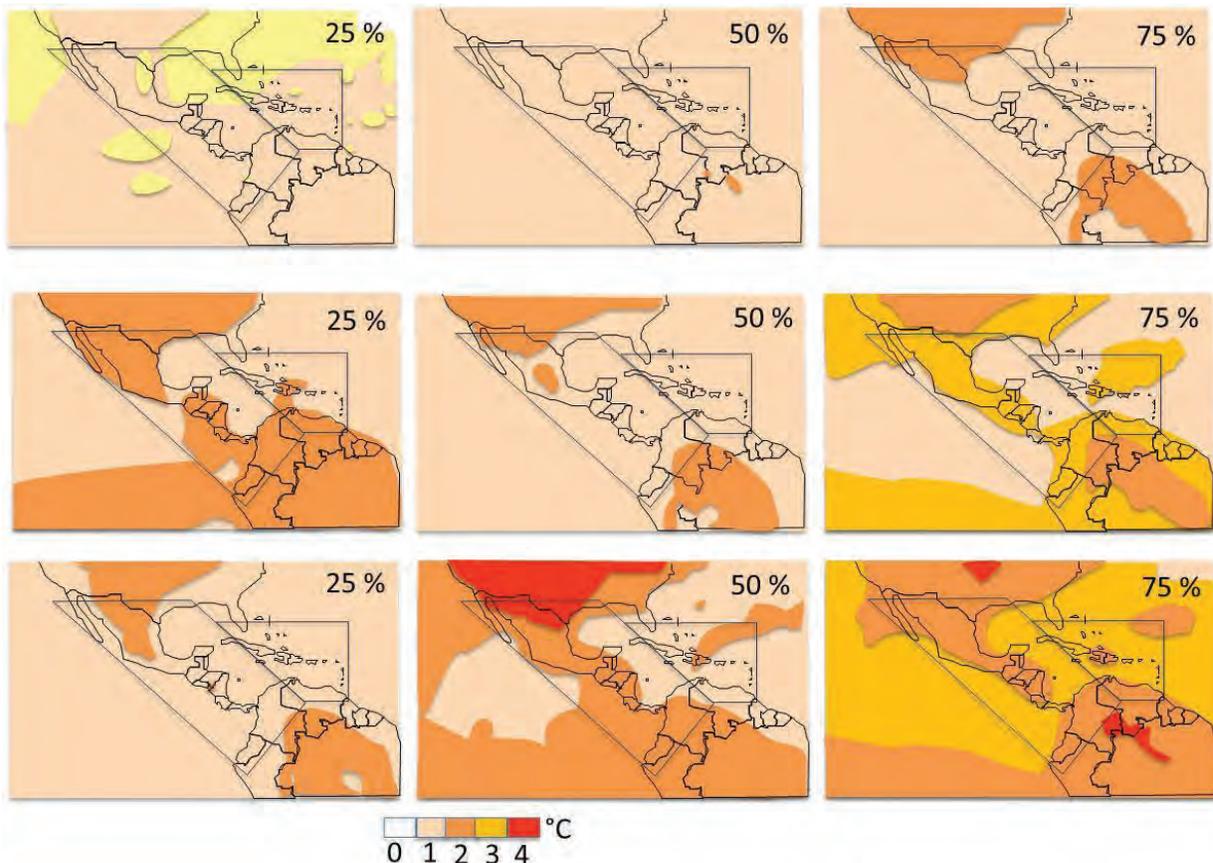
- Reducción de los efectos de la contaminación del suelo y del agua superficial, producida por la utilización indiscriminada de pesticidas, herbicidas y fertilizantes.
- Redistribución de la agricultura más sensible al clima del altiplano y regiones con más agua, sin que ello impacte substancialmente el cambio de uso de suelo.
- Promoción de los seguros agrícolas y pecuarios de fácil acceso y costo asequible, donde se incluyan índices meteorológicos. Estas pólizas de seguros permiten a los agricultores manejar mejor los riesgos y los estimulan a invertir en actividades agrícolas que exigen una inversión inicial más alta.
- Difusión y divulgación de la información adecuada sobre el cambio climático, a través de agencias gubernamentales, escuelas y medios de comunicación.
- Aplicación de una normatividad internacional en la utilización de agroquímicos, basado en análisis previo del suelo y sus propiedades.
- Fomento de los sistemas agrosilvopastoriles, del aprovechamiento de tierras marginales para cultivos perennes, así como de la labranza de conservación.
- Uso adecuado de fertilizantes orgánicos.
- Empleo de los residuos de la cosecha como biocombustible.
- Establecimiento de plantaciones para la producción de etanol y biodiésel.
- Estimación de los consumos de gas y diésel en el sector

6. Cambio climático, perturbaciones naturales y fenómenos extremos

El efecto invernadero es un fenómeno natural que ha mantenido una relación estrecha entre la temperatura atmosférica y el desarrollo de los seres vivos. Este balance perfecto se ha modificado, la agricultura tiene una relación muy compleja ya que de forma directa contribuye con GEI derivados de actividades como: fertilización, fermentación entérica, cambio en el uso de suelo, prácticas agrícolas intensivas, degradación del suelo, elevado consumo de agua, contaminación por uso de pesticidas y agroquímicos, que en su conjunto conforman un ciclo negativo que nutre al cambio climático, aquí se debe considerar un cambio de paradigma en los programas de gobierno, acciones sugeridas y educación, que permita aumentar la productividad sin dañar el ambiente (De la Isla 2009; Ordóñez et ál., 2013)

En el Atlas de proyecciones climáticas globales y regionales del IPCC (2013), se muestra para la región del continente americano donde se localiza México, un incremento en la temperatura y disminución en la precipitación a nivel nacional, para los siguientes 20, 50 y 75 años (Figura 5.). En México como en el resto del mundo, se han demostrado los efectos del cambio climático, al acentuarse los fenómenos hidrometeorológicos a un ritmo sin precedente, derivados del aumento en las concentraciones de gases de efecto invernadero por actividades humanas (Gay y Martínez, 1995; IPCC, 2014), en este sentido, los costos adyacentes a dichos fenómenos han superado en nuestro país los 50,000 millones de pesos (SEMARNAT, 2012).

Figura 5. Escenarios de cambio climático para México



Fuente: (IPCC, 2011)



Uno de los fenómenos que más afecta a los países de la región tropical y de las latitudes medias, es la intensificación del Niño (Oscilación del Sur -ENSO-), por su influencia directa en la producción agrícola; se identifican las heladas, granizadas, sequías, golpes de calor, pérdida de humedad en el suelo, disminución y periodos anómalos en la precipitación, aunado a los excesos en la frecuencia de los desastres naturales y severidad en las condiciones climáticas que se han registrado con mayor intensidad en los últimos años (Conde, 2007; la Isla, 2009; Conde et ál., 2008 y 2011).

7. Riesgos e incertidumbres ambientales y otros

Diferentes autores (Conde et ál., 1997; 2008 y 2011; Magaña et ál., 2000, Conde, 2007; De la Isla, 2009; Martínez et ál., 2010; Ordóñez et ál., 2013) identifican las incertidumbres asociadas al efecto directo de la variabilidad climática en el sector agrícola-pecuario; se han generado diferentes escenarios y evaluaciones que permiten identificar riesgo y zonas vulnerables bajo ciertas premisas, así como el aumento o disminución de la precipitación y temperatura; en todos los casos, los resultados obtenidos sugieren buscar ya mecanismos de adaptación para que se reduzca el daño por eventos hidrometeorológicos extremos y la aplicación de acciones inmediatas de mitigación. Uno de los indicadores de riesgo es la dependencia de las importaciones de granos básicos (47 % maíz) y de alimentos como carne y huevo. Los presupuestos ejercidos en este sector no resuelven el problema, lo acentúan. (SAGARPA, 2012a).

8. Co- beneficios, ventajas y desventajas, efectos indirectos

Las Acciones Nacionales Apropriadas de Mitigación (NAMA, por sus siglas en inglés), para el sector agropecuario pueden generar co-beneficios asociados, por ejemplo: la transformación de las emisiones de CH_4 generando energía y modificando el potencial de calentamiento al pasar de 21 a 1 unidad de CO_2 -eq, mediante la utilización de biodigestores y co-generadores (Valdez et ál., 2010; García et ál., 2015); se puede aumentar la producción agrícola con labranza cero (De la Isla, 2009; Ordóñez et ál., 2013); desarrollar cultivos con técnicas de hidroponía, donde se consume menos agua y se deja de afectar el suelo (De la Isla, 2009; Ordóñez et ál., 2013).

Se han identificado un gran número de acciones, todas ellas requieren de: capacitación, seguridad social, transferencia económica y tecnológica, inversión, innovación, implementación, control, monitoreo, verificación, seguimiento y certificación (Martínez et ál., 2010; INECC, 2013; Ordóñez et ál., 2013). La ventaja en la implementación de estas acciones a nivel nacional, radica en que son medidas urgentes que demandan los campesinos y productores en general (De la Isla, 2009; Ordóñez et ál., 2013); las desventajas son: la ausencia de educación ambiental, los elevados costos de capacitación y transferencia tecnológica, la falta de refacciones y técnicos capacitados, la ausencia de servidores públicos que ejerzan adecuadamente los recursos y entiendan los proyectos adecuándolos a las condiciones biogeográficas y culturales (SEMARNAT, 2012; Ordóñez et ál., 2013; IPCC, 2014).

Los efectos indirectos de estas acciones pueden en el corto y mediano plazo, dar como resultado, un desarrollo adecuado con una revalorización de las comunidades campesinas y de los productos del campo, oportunidades de empleo para profesores, investigadores y tecnólogos del campo. Asimismo, mitigar las emisiones de GEI; recobrar servicios ambientales y frenar el deterioro ambiental (De la Isla, 2009; SAGARPA 2012a; SEMARNAT, 2012; Ordóñez et ál., 2013; IPCC, 2014), al mismo tiempo que se le quita presión a la biodiversidad tanto directa como indirectamente (Galindo, 2009; Sarukhán et ál., 2009), es decir, que se reducen los factores que la ponen en riesgo.

9. Oportunidades y barreras

El sector agrícola y pecuario en México se encuentra en un rezago, sólo los grandes productores cuentan con el capital para la transferencia tecnológica y mano de obra barata (SAGARPA, 2012a), el punto central es que este sector debe proveer a la población nacional, y más allá de las fronteras por los productos que se exportan (p.e., el aguacate y la fresa, entre otros). Las oportunidades radican en el control de calidad de los productos, la certificación de productos orgánicos, los precios y lo relacionado a la cadena de valores.

Los programas gubernamentales promueven la agricultura de subsistencia, basada en los ciclos de temporal, muchos de ellos no consideran técnicas en el mejoramiento del riego y en el balance de nutrientes del suelo, a fin de usar menos agroquímicos. Almeida et ál. (2010), sugiere el desarrollo de estudios más prácticos que ayuden a controlarlas plagas y enfermedades; así como capacitar a los usuarios y beneficiarios del bosque en cuanto al aprovechamiento integral de los recursos naturales, en ello observa la relevancia de la educación ambiental. A lo anterior se suma el requerimiento de mantener la ética, equidad y participación comunitaria (De la Isla, 2009).

10. Los costos y los potenciales

De acuerdo con Galindo (2009), la cuantificación de los impactos del cambio climático es una tarea compleja que requiere combinar modelos científicos y económicos de forma consistente, generar escenarios económicos en un horizonte de tiempo muy amplio y reconocer la existencia de un margen de incertidumbre importante en los resultados obtenidos y de riesgos significativos que resultan particularmente difíciles de evaluar; además es necesario como lo señala Stern (2008) y Nordhaus (2008), considerar factores que no tienen un valor de mercado pero que resultan fundamentales tales como la pérdida de biodiversidad. Asimismo, existe un debate intenso sobre la definición de la tasa de interés de descuento a utilizar (Galindo, 2009); no obstante ello, desde la óptica de la política pública y de la sociedad en general, resulta un ejercicio particularmente útil poder cuantificar los costos del cambio climático, en la medida en que ello permite identificar opciones y alternativas y construir estrategias de desarrollo lo más eficientes posibles para enfrentar los desafíos del cambio climático (De la Isla, 2009; Ordóñez et ál., 2013).

Las estimaciones de los costos en el sector agrícola para el año 2050 (Cuadro 2), alcanzan un promedio de 2.45 % respecto del PIB, sólo que estos escenarios referenciales no consideran que el aporte del sector en términos generales al PIB es del 1.4 % en promedio, eso quiere decir, que está en riesgo nuestra seguridad agroalimentaria y, que la biodiversidad se va afectar intensamente.

Cuadro 2. Estimación diferencial de los costos del sector agrícola y pecuario en México al año 2050

Sector	Tasa de descuento 0.5 %				Tasa de descuento 2.0 %				Tasa de descuento 4.0 %			
	B1	A1B	A2	Promedio	B1	A1B	A2	Promedio	B1	A1B	A2	Promedio
Agrícola	2.11 %	2.82 %	2.42 %	2.45 %	1.37 %	2.44 %	1.56 %	1.79 %	0.80 %	1.07 %	0.90 %	0.92 %
Pecuario	1.10 %	1.44 %	1.24 %	1.26 %	0.71 %	0.94 %	0.80 %	0.82 %	0.41 %	0.55 %	0.46 %	0.47 %
Biodiversidad	0.02 %	0.05 %	0.02 %	0.03 %	0.01 %	0.03 %	0.01 %	0.02 %	0.01 %	0.02 %	0.00 %	0.01 %
Biodiversidad indirecto	0.23 %	0.42 %	0.16 %	0.27 %	0.13 %	0.16 %	0.06 %	0.12 %	0.08 %	0.01 %	0.01 %	0.03 %

Fuente: (Galindo, 2009)

Por su parte García et ál., (2015), presentan costos estimados de inversión basado en escenarios potenciales en las opciones de bioenergía, que van de los 228.8 millones de dólares estadounidenses con una mitigación de 35 Mt CO₂-eq (producción de biodiesel de *Jatrophas*), a los 2,312.6 millones de dólares estadounidenses con un potencial de 354.5 Mt CO₂-eq (derivado de la producción de etanol por caña de azúcar).

Vale decir que la política de implementación multisectorial de programas de gobierno encaminados a aliviar la pobreza y detener la degradación ambiental, no ha obtenido los resultados esperados, por el contrario, ha modificado la relación que los habitantes tenían con su entorno y entre sí, generando más problemas ambientales y marginación social; esta se ha enfocado a establecer un mecanismo de subsidio y de control, y no de desarrollo de capacidades entre los habitantes incorporados a dichos programas.

11. Brechas de información

Uno de los puntos de mayor importancia para llevar a cabo los inventarios nacionales de emisiones en este sector, es poder contar con datos de actividad precisos. Por ejemplo, en las revisiones realizadas a fin de conocer el número de cabezas de ganado, se encontró que los valores reportados por el SIACON y los reportados por INEGI en los censos ejidales, agrícolas y pecuarios difieren en un 5 % en promedio, valor que los hace más aceptables y reduce incertidumbres, el detalle es que se deben tener registros censales anuales, sobre la estructura, alimentación y especies que conforman el hato ganadero, así como de un registro espacialmente explícito de la distribución espacial (considerando el clima y la geografía) y características propias tanto de los hatos, como de las actividades agrícolas que ocurren en nuestro país (De la Isla, 2009; González y Ruíz, 2001; 2007; Ordóñez et ál., 2013).

Conclusiones

En principio hay que decir que los sectores agrícola y pecuario en México han sido rezagados de la economía nacional durante las últimas décadas. México pasó de ser la nación autosuficiente, a importar en la actualidad el 45 % de sus productos alimenticios.

Según del Río et ál. (2010), la economía de México desde 1990 se ha caracterizado por tener periodos de estabilidad financiera, disminución de la pobreza y la deuda externa, así como incrementos en el gasto social. Sin embargo, se han acentuado crisis económicas (en los años 1995, 2009 y 2015) que representan puntos de inflexión a la baja en los más importantes indicadores socioeconómicos, tales como el empleo, los salarios y la pobreza, lo que conlleva un impacto de forma directa al sector agropecuario (INECC, 2013).

Este sector presenta además de este impacto, el problema de la falta de producción de información, particularmente científica, sobre los programas y sus instrumentos de ejecución (cuantificación de las acciones, evaluaciones, etc.), lo cual no permite identificar plenamente avances en la implementación de estrategias de mitigación y hace poco probable que las medidas de mitigación se vean incrementadas en el corto plazo.

Aunque las dependencias del sector forman parte del Sistema Nacional de Cambio Climático y cuentan con acciones concretas en el ámbito de la reducción de emisiones, éstas no han podido consolidarse para desarrollar esta y más tareas, entre otras cosas por la existencia de barreras institucionales y el propio devenir estructural del campo mexicano.

Las estrategias de mitigación pueden considerarse fragmentadas, y, es evidente, que se requiere de trabajo en las comunidades de productores para fomentar acciones que ayuden a crear opciones reales de mitigación de GEI en el campo y que éstas, simultáneamente, ayuden a las comunidades a salir del cuadro de pobreza en el que se encuentran.

Finalmente, para el logro de los objetivos mundiales de no superar los 2° C de temperatura media global, se requiere de la descarbonización de la energía (IPCC, 2014; Veysey et ál., 2015). La introducción de energías renovables, entre ellas la biomasa, es una estrategia de mitigación que falta promoverse en la agenda política nacional.

Referencias

- Alemán** N.G., Casiano, F. V., Cárdenas, Ch. D., Díaz, Ch. R., Scarlet, N., Mahlkecht, J., (...) Parra, R. (2014). Renewable energy research progress in Mexico: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 32, 140-153.
- Almeida**, L. Núñez, I., y Barahona, A. (Coord.) (2010). *Educación para sustentabilidad ambiental: una perspectiva necesaria*. México: Facultad de Ciencias-UNAM. Parte 2. Proyecto Clave: SEP-2003-C02-44766. 156 p.p.
- Climate Action Reserve**. (2015). <http://www.climateactionreserve.org/how/projects/>
- Cobos**, P. (2011). La importancia de la ganadería ante el cambio climático: Oportunidades y retos. C onvención Nacional Ganadera 2011, Puerto Vallarta, Jalisco. México. Confederación Nacional de Organizaciones Ganaderas. 35 p.p.
- Conde**, C., Liverman, D., Flores, M., Ferrer, R., Araújo, R., Betancourt, E., (...) Gay, C. (1997). Vulnerability of rainfed maize crops in Mexico to climate change. *Climate Research*, 199 (9),17-23.
- Conde**, C., Ferrer, R. & Orozco, S. (2006). Climate change and climate variability impacts on rainfed. *Atmósfera* 19 (3),181-194.
- Conde**, C. (2007). México y el cambio climático global. México: Universidad Nacional Autónoma de México [UNAM]- CCA p. 28. Disponible en: http://www.atmosfera.unam.mx/editorial/libros/mexico_cambio_climatico/Mexico_y_el_cambio_climatico_global.pdf.
- Conde**, C., Martínez, B., Sánchez, O., Estrada, F., Fernández, A., Zavala, J., & Gay, C. (2008). Escenarios de Cambio Climático (2030 y 2050) para México y Centro América. Temperatura y Precipitación. Disponible en: http://www.atmosfera.unam.mx/gcclimatico/index.php?option=com_content&view=article&id=61&Itemid=74
- Conde**, C., Estrada, F., Martínez, B., Sánchez, O., & Gay, C. (2011). Regional climate change scenarios for Mexico. *Atmósfera* 24 (1), 125-140.
- De la Isla**, de B. M. (2009). Agricultura: Deterioro y Preservación Ambiental. México: Colegio de Postgraduados-Mundi-Prensa, S.A. de C.V. ISBN 978-607-7699-02-6. 166 p.
- Del Río**, M. A., Manuel, D. e Islas, I. (2010). *Implicaciones de la política macroeconómica, los choques externos y los sistemas de protección social en la pobreza, la desigualdad y la vulnerabilidad en América Latina y el Caribe*. México: CEPAL, Naciones Unidas. 106 p.p.
- Diario Oficial de la Federación [DOF]**. (2013). Decreto por el que se aprueba el Programa Sectorial de Desarrollo Agropecuario, Pesquero y Alimentario 2013-2018. (Viernes 13 de diciembre de 2013). Cuarta sección. pp. 50-112.
- Food and Agriculture Organization of United Nations [FAO]**. (2009). *La FAO en México: Más de 60 años de cooperación 1945- 2009*. pp.43-52; 54-94. México: Agroanálisis A.C. Disponible en: http://www.fao.org.mx/documentos/Libro_FAO.pdf
- Galindo**, L. (2009). La economía del cambio climático en México: Síntesis. Estudio desarrollado a petición de las Secretarías de Hacienda y Crédito Público y de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México: Universidad Nacional Autónoma de México. 67 p.p.
- García**, C., Riegelhaupt, E., Ghilardi, A., Skutsch, M., Islas, J., Manzini, F. y Masera O. (2015). Sustainable bioenergy options for Mexico: GHG mitigation and cost. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 43,545-552.
- Gay**, C. & Martínez, J. (1995). Mitigation of Emissions of Greenhouse Gases in Mexico. *Interciencia*, 20(6),336-342.
- González**, C. (1983). *Capital extranjero en la selva de Chiapas 1863-1982*. México:Universidad Nacional Autónoma de México. p.88
- González**, A. & Ruiz, S. (2001). Methane emissions factors from cattle manure in Mexico. *Bioresource Technology*, 80,63-71.
- González**, A. & Ruiz, S. (2007). Methane conversion factors from cattle manure in Mexico. *Atmósfera* 20(1):83-92.
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático [INECC]**. (2013). *Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 1990-2010*. p 384. México: Coordinación del Programa de Cambio Climático del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, SEMARNAT.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática [INEGI]**. (2010). Volumen y crecimiento. Población total según tamaño de localidad para cada entidad federativa, 2010. INEGI. México. Disponible en: http://cuentame.inegi.org.mx/poblacion/rur_urb.aspx?tema=P
- INEGI**. (2011). Producto interno bruto nominal del tercer trimestre de 2011. Boletín de prensa núm. 459/11. Aguascalientes, México. Disponible en: <http://www.inegi.org.mx/sistemas/bie/cuadrostadisticos/GeneraCuadro.aspx?s=est&nc=492&c=23920>
- Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC]**. (2013). Annex I: Atlas of Global and Regional Climate Projections In: Van Oldenborgh, G.J., Collins, M., Arblaster, J., Christensen, J.H., Marotzke, J.S., Power, B., Rummukainen, M. & Zhou, T. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [T.F. Stocker, D. Qin, G.K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. (...) P.M. Midgley (Eds.)]. United Kingdom: Cambridge University Press.
- IPCC**. (2014). Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [O. Edenhofer, , R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, (...) J.C. Minx (Eds.)]. United Kingdom: Cambridge University Press.

- Magaña, V.** Conde, C., Sánchez, O. y Gay, C. (2000). Evaluación de escenarios regionales de clima actual y de cambio climático futuro para México. pp. 9 -26. En: C. Gay (Comp.). *México, una visión hacia el siglo XXI. El cambio climático en México*. México: Instituto Nacional de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México, US Country Studies Program. 220 p.p
- Martínez, F. J.,** Laguna, M. I., Leal, H. K., Sheinbaum, P. C., Briceño, V. S., Ordoñez, D. J., Robles, M. G. y Peña, R. E. (2010). *Guía de metodologías y medidas de mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero para la elaboración de Programas Estatales de Acción Climática*. Instituto Nacional de Ecología (INE) – Instituto de Ingeniería, UNAM. 200 p.p.
- Nordhaus, W.** (2008). *A question of Balance: Weighing the options on Global Warming Policies*. New Haven & London, UK: Yale University Press. 192 p.
- Ordóñez, J.,** Hernández, T. T., Galicia, N., Jiménez, Á., Núñez, R., León, G., (...) y Carrera, J. (2013). *Agricultura*. pp 103-122. En: Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 1990-2010. Capítulo V. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México: Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. 384 pp.
- Pérez, E.** (2008). El lado oscuro de la ganadería. Problemas del Desarrollo. *Revista Latinoamericana de Economía* 39(154),217-227.
- Portela, D.** (2012). Evaluación in vitro de subproductos agrícolas y plantas con capacidad desfaunante sobre la producción de metano. [Tesis de Maestría]. Colegio de Postgraduados. Montecillos, Texcoco, Estado de México.
- Rodríguez, A.,** Meza, L., y Cerecera, F. (2015). *Investigación científica en agricultura y cambio climático en América Latina y el Caribe*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL]. Santiago de Chile: Naciones Unidas.
- Rodríguez, L. y del Moral, B.** (2010). Perspectivas del sector porcícola mexicano para 2010: recuperación de los efectos de la crisis económica y de la influenza (A) H1/N1. *Análisis de Coyuntura Económica* 3(2), 21-23.
- Rodríguez, L. y Juárez, C.** (2011). *Impacto de la sequía sobre los mercados agropecuarios en México*. *Economía Actual*. UAEMEX. 4(4), 26-29.
- Sarukhán, J.,** Patricia, K., Carabias, J., Soberón, J., Dirzo, R., Llorente, B. J., (...) de la Maza, J. (2009). *Capital natural de México. Síntesis: conocimiento actual, evaluación y perspectivas de sustentabilidad*. México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [CONABIO]. 100 pp.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación [SAGARPA].** (2012a). *Programa Sectorial 2007-2012*. México: Autor. 95 pp.
- SAGARPA.** (2012b). *El sector agropecuario ante el desafío del cambio climático*. Volumen I. México: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). 428 pp.
- Secretaría de Hacienda y Crédito Público [SHCP].** (2015). Presupuesto de egresos de la federación 2015, enero de 2015 resumen económico por destino del gasto. México: SAGARPA.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT].** (2012). *Quinta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. México: Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. 399 pp.
- SEMARNAT.** (2013). Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales. Indicadores Clave y de Desempeño Ambiental. Edición 2012. México.
- Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta [SIACON].** (2013). Información de la Producción Agrícola Nacional por Entidad Federativa de los años 1980 a 2012. México: Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación [SAGARPA], Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP].
- Smith, P.,** Martino, D., Cai, Z., Gwary, D., Janzen, H., Kumar, P., (...) Scholes, B. (2007). Policy and technological constraints to implementation of greenhouse gas mitigation options in agriculture. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 118(1), 6-28.
- Stern, N.** (2008). The economics of climate change. *The American Economic Review*, 1-37.
- Toledo, V.,** Carabias, J., Toledo, C. y González, C. (1989). *La producción rural en México*. Alternativas ecológicas. México: Universidad Nacional Autónoma de México. Fundación Universo Veintiuno. 402 pp.
- Valdez, V.,** Acevedo, M. & Hernández, S. (2010). Distribution and potential of bioenergy resources from agricultural activities in Mexico. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.14, 2147-2153.
- Veysey, J.,** Octaviano, C., Calvin, K., Martinez, S., Kitous, A., McFarland, J., & Van der Zwaan, B. (2015). Pathways to Mexico's Climate Change Mitigation Targets: A Multi-Model Analysis. *Energy Economics*, (online). DOI: 10.1016/j.eneco. 2015.04.011.



Capítulo 9

SILVICULTURA Y OTROS USOS DEL SUELO

Autor líder:

José Antonio Benjamín Ordóñez Díaz¹⁹.

Autores colaboradores:

Jorge Escandón Calderón¹, Tomás Hernández Tejeda²⁰, Ricardo Rivera Vázquez²⁰, Fausto Quintana Solórzano²⁸, Carlos Mallén Rivera²⁰ y Sandro Cervantes Núñez¹.

¹UNAM PINCC Programa de Investigación en Cambio Climático, Universidad Nacional Autónoma de México, ¹⁹UNAM Facultad de Ciencias, ²⁰SAGARPA INIFAP Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, ²⁸UNAM CRIM Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias.

Palabras clave: Silvicultura y otros usos del suelo.

Resumen

La silvicultura es la ciencia que se encarga de la gestión, uso, conservación y reparación de los bosques, y sus recursos asociados. Los bosques son importantes a nivel socio-económico, debido a que una gran proporción de la población mundial, depende de los bienes, servicios y valores financieros que estos proporcionan.

El 73 % de las 190 millones de hectáreas (mega-hectáreas) (Mha) de suelo, que abarca el territorio mexicano, cuentan con vegetación forestal. La tasa de deforestación nacional durante los últimos años, ha disminuido de forma muy importante, sin embargo, el tipo de vegetación que presenta una mayor pérdida de cobertura es la selva caducifolia, seguido de aquellas áreas forestales cercanas a centros urbanos en crecimiento. Del año 2000 al registro más actualizado de vegetación, se observa una tendencia a la estabilización de la tasa de deforestación, disminuyendo por consiguiente las emisiones provenientes del sector económico agricultura, silvicultura y otros usos de suelo (AFOLU, por sus siglas en inglés). Entre las múltiples causas de esta estabilización, se encuentra el abandono de tierras por migración del sector rural, el cual favorece la recuperación de la cobertura.

En el sector forestal, se reconocen dos opciones básicas de mitigación de carbono: a) conservación de biomasa forestal y b) reforestación. Mediante la reducción de emisiones por deforestación y degradación de los bosques, conservación e incremento de las capturas de dióxido de carbono (REDD+), es posible que México mejore su balance de emisiones de este gas.

México no sólo es un país megadiverso biológicamente, sino también a nivel cultural. Las cuencas más importantes del país son ocupadas significativamente (en un 49 %) por pueblos indígenas, en cuyos territorios (que representan el 14.3 % del territorio nacional), están presentes casi la totalidad de los 45 tipos de vegetación nacional. El 51 % de todos los bosques mesófilos de montaña del país es compartido por 28 pueblos indígenas. Del total de 152 Áreas Naturales Protegidas (ANP) federales, 52 tienen en su interior población indígena.

El objetivo de este capítulo es mostrar el panorama general del sector forestal, las tendencias de deforestación y cambio de uso de suelo, la evolución de las emisiones en el sector y sus causas, las medidas propuestas con potencial de mitigación en el sector, las modificaciones y ajustes necesarios a la Ley Forestal para REDD+; la importancia de los pueblos indígenas y la cubierta forestal; los co-beneficios, ventajas y efectos indirectos de medidas de mitigación; entre otros aspectos relevantes en este sector.



Introducción

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) tiene como objetivo principal lograr la estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera, para evitar que las actividades antropógenas provoquen interferencias peligrosas en el sistema climático. La preocupación más grande gira en torno a lograr estabilizar las concentraciones lo antes posible, a un nivel en el cual se le permita a los ecosistemas que se adapten naturalmente al cambio climático, donde la producción de alimentos no se vea amenazada y que el desarrollo económico prosiga de manera sostenible (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático [INECC], 2013) (véase la Introducción del Volumen II del RMCC).

Existen básicamente dos criterios para abordar el cambio climático: reducir las fuentes o mejorar los sumideros de GEI (Mitigación) y adoptar medidas que permitan a la humanidad hacer frente a los efectos del cambio climático (Edenhofer et ál., 2014). A pesar de un número cada vez mayor de políticas de mitigación del cambio climático, las emisiones antropogénicas totales de GEI continúan registrando grandes aumentos decadales absolutos. Desde 2000 hasta 2010, las emisiones anuales de GEI crecieron en promedio 1.0 giga-tonelada de dióxido de carbono equivalente ($\text{Gt CO}_2\text{-eq}$) (2.2 %) por año, en comparación con las 0.4 $\text{Gt CO}_2\text{-eq}$ (1.3 %) por año, registradas entre 1970 y 2000. En 2010 el total de las emisiones de GEI antropogénicas llegó a las 49 (± 4.5) $\text{Gt CO}_2\text{-eq/año}$, de las cuales, el sector económico AFOLU aporta el 24 % y el 0.87 % de emisiones directas e indirectas respectivamente (Panel Intergubernamental de Cambio Climático [IPCC], 2014a).

La cobertura forestal alrededor del mundo, desempeña un papel bastante importante en el ciclo global del carbono. Los bosques son importantes a nivel socio-económico, debido a que una gran proporción de la población mundial, depende de los bienes, servicios y valores financieros que estos proporcionan. Aunado a lo anterior, los bosques ofrecen una multitud de servicios ecosistémicos, donde la mitigación del cambio climático es sólo uno de muchos que son vitales para el bienestar humano (véase el Capítulo 6. Ecosistemas de México, del Tomo II del RMCC). La silvicultura se comprende como la ciencia y arte de la gestión, uso, conservación y reparación de los bosques, y sus recursos asociados, tales como el suministro de leña, madera, recreación, hábitat de vida silvestre, gestión natural de la calidad del agua, empleo, protección del paisaje y de la comunidad, paisajes estéticamente atractivos, manejo de cuencas, gestión de la biodiversidad, sumideros de carbono y control de erosión. Los bosques desempeñan un papel clave en la mitigación del cambio climático, y a su vez, este último también afecta a los bosques y a su contribución a las estrategias de mitigación (Smith et ál., 2014).

En México, reducir las emisiones de gases efecto invernadero (GEI) derivadas de la deforestación y degradación forestal, así como conservar y aumentar los acervos forestales de carbono, se plantea como una estrategia fundamental para cumplir las metas nacionales de mitigación del cambio climático. Incluso se puede afirmar que durante los últimos años el país ha realizado avances significativos en la formulación de políticas nacionales y el desarrollo de organismos estatales para abordar la agenda del cambio climático. Sin embargo, y más allá de la importancia de estos avances institucionales, la política climática relacionada con el sector forestal sufre una serie de limitaciones que reflejan el lugar periférico que aún ocupa en la agenda política nacional.

1. Panorama general del sector forestal y la silvicultura en México

Según datos de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) (2010) 73 % de las tierras de México cuentan con vegetación forestal. De las 190 millones de hectáreas (Mha) de suelo, que abarca el territorio mexicano, 142 Mha están ocupados por una gran variedad de ecosistemas forestales: bosques de pino, pino-encino y encinares, bosques de niebla o mesófilos, selvas húmedas y selvas secas y vegetación de zonas áridas.

Los bosques templados cubren 32.3 Mha, los bosques mesófilos 1.8 Mha, las selvas húmedas y subhúmedas 33 Mha y "otros tipos de vegetación arbórea" 3.9 Mha (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2005), la vegetación de zonas áridas se extiende en más de 56 Mha. Además de su elevada biodiversidad, los sistemas forestales del país

prestan otros importantes servicios ambientales globales, como los de regulación climática y regionales, como captura y calidad del agua, protección de suelos y mitigación de los impactos de desastres naturales (Merino, 2012).

Durante décadas México ha sido un país con altas tasas de deforestación. Sin embargo, hasta ahora, la información que documenta estos procesos presenta no solo limitaciones, sino también desacuerdos importantes, tanto respecto a las cifras, como a los métodos de medición, la duración de los periodos considerados, la línea base utilizada e incluso respecto a las definiciones de "terreno forestal" y "deforestación". En 2005 la FAO estimaba que la deforestación en México oscilaba entre 400 mil y 1.3 Mha anuales; según estimaciones de CONAFOR, entre 1993 y 2000, las pérdidas forestales fueron de 410 mil ha anuales, y entre 2000 y 2004 de 312 mil ha anuales (FAO, 2009). Una evaluación reciente realizada por el Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sustentable (CCMSS) sostiene que en los últimos cinco años la frontera forestal se ha mantenido estable. Se puede concluir que la tasa de deforestación durante los últimos años, para el conjunto del país ha disminuido de forma muy importante y que el deterioro forestal tiene intensidades y modalidades muy diversas en las distintas regiones. El tipo de vegetación en el que las pérdidas son mayores es la selva caducifolia. Otro tipo de áreas forestales particularmente amenazadas son las que se ubican en las zonas cercanas a los centros urbanos en crecimiento (Merino, 2012).

Los procesos de degradación forestal son multicausales, en ellos se conjugan factores que originan presiones directas e indirectas sobre las áreas forestales. Entre los primeros se encuentran: la tala clandestina, los cambios de uso de suelo, los incendios y las plagas forestales. Otros factores que afectan indirectamente las perspectivas de la sustentabilidad forestal es paralelo al proceso general que se observa en el país, al menos en los últimos 20 años, de retirada de los programas de fomento a la producción en el campo (Chapela, 2012); la desorganización de ejidos y comunidades y los problemas de linderos entre predios que limitan las iniciativas de uso sostenible y protección forestal, que tienen altos costos de transacción y exigen cooperación entre usuarios y habitantes de las áreas forestales; la extrema pobreza y la marginación de muchas comunidades forestales, que tiende a limitar las perspectivas de largo plazo en el uso del capital natural; la falta de competitividad y limitada capacidad de agregación de valor de la producción forestal nacional; las fallas del marco legal, las limitaciones de las instituciones sectoriales y la ausencia de políticas de largo plazo que den continuidad a las inversiones y trabajos previos. La propiedad colectiva y el carácter forestal de las tierras son característicos de México. La propiedad de ejidos y comunidades está presente en la mayoría de las regiones forestales de México; CONAFOR estima que alrededor de 75 % de la superficie con algún tipo de vegetación forestal del país es propiedad de 30,305 núcleos agrarios (ejidos y comunidades agrarias), que poseen 105 Mha de tierras forestales. Por otra parte, 50 % de los núcleos agrarios en el país son forestales (Merino, 2012).

Las áreas forestales mexicanas poseen un importante potencial productivo que representa una enorme ventaja comparativa para los productores forestales, hasta ahora subutilizada. El Plan Estratégico Forestal 2000-2025 considera que la tasa de extracción sustentable de los bosques del país puede ser tres veces mayor que la de la cosecha correspondiente al año 2000. En contraste con el potencial productivo y la riqueza biológica de las áreas forestales, así como con la necesidad de ofrecer opciones económicas para la población rural, la economía forestal del país es sumamente precaria. La participación de la producción forestal en el Producto Interno Bruto (PIB) nacional, es reducida y decreciente. Entre el año 2000 y 2007, esta participación paso de 1.7 a 1.4 % (Merino, 2012).

Las áreas forestales se han convertido en un recurso importante para mitigar el cambio climático. Mediante la REDD+ es posible que México mejore su balance de emisiones de CO₂, que es una de las causas principales del fenómeno de calentamiento global. Aunque la deforestación se está deteniendo por efecto de las políticas de abandono al campo, puede lograrse una reducción importante de las emisiones en el sector forestal mexicano mediante la recuperación de la degradación forestal. Las áreas forestales serán clave en el manejo de las cuencas hidrológicas. La recuperación de las áreas forestales, además de ser la mejor opción de México para capturar CO₂, permitirá retener una proporción mayor del agua de lluvia en las capas del suelo recargando los acuíferos que podrán abastecer mejor las necesidades de agua durante las temporadas secas, y evitando los escurrimientos torrenciales en las épocas de lluvias (Chapela, 2012).



2. Tendencias de Cambio de Uso de Suelo y Deforestación en México.

En México, el sector Uso de Suelo, Cambio de Uso de Suelo y Silvicultura (USCUSS) (Cuadro 1.) (LULUCF por sus siglas en inglés), presenta problemas en dos órdenes importantes:

- 1) Las metodologías propuestas por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) no resultan las más apropiadas en ciertos aspectos (i.e, las clases de vegetación utilizadas a nivel nacional), y
- 2) No se aplican metodologías consistentes a lo largo del tiempo, que permitan generar estadísticas forestales colectadas en forma regular y sistemática, ni se mantienen series históricas (De Jong et ál., 1990).

Los datos de actividad forestal que se requieren para elaborar el inventario de GEI se enfrentan a carencias importantes, producto de las deficiencias mencionadas arriba. En la década pasada, para generar la información de cambios en el tiempo en los reservorios de carbono en los ecosistemas forestales, se intentó establecer una red de parcelas de monitoreo continuo, aprovechando el inventario nacional forestal y de suelos (2004), con la finalidad de disminuir la incertidumbre en esta sección, para los siguientes inventarios nacionales de GEI (De Jong et ál., 1990). En el Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (INEGEI) 2010, se reconoció que las incertidumbres se asociaron tanto a los datos de actividad empleados en las estimaciones como a los factores de emisión elegidos para cada fuente (INECC, 2013).

Utilizando los datos reportados por la FAO (2005), se observa que durante el periodo de 1990 a 2000, la tasa de deforestación fue de aproximadamente 400,700 ha/año. Durante el periodo de 2000 a 2005 se registró una tasa de deforestación de 313,600 ha/año (Cuadro 1).

Cuadro 1. Categorías de USCUSS			
Categorías FAO (2005)	Área (1000 hectáreas)		
	1990	2000	2005
Bosques	69,016	65,540	64,238
Otros tipos de suelos maderables	20,705	20,174	19,908
Bosques y otras tierras maderables	89,721	85,714	84,146
Otras categorías	101,148	105,155	106,723
Área Total de suelo	190,869	190,869	190,869
Cuerpos de agua continentales	4,951	4,951	4,951
Área Total del país	195,820	195,820	195,820

Fuente: (FAO, 2005)

Los datos oficiales de deforestación muestran una subvaluación a partir de 2006, ya que se descuenta 100 % de la superficie ocupada por vegetación secundaria, cuando en la realidad el proceso de recuperación es de entre 10 % y 13 % de dicha superficie. Con el dato ajustado del proceso de recuperación se volvieron a calcular las cifras oficiales publicadas a partir del 2006, mostrando consistencia con relación a la estabilización de la superficie anual deforestada. El destino principal de la deforestación sigue siendo la agricultura de temporal (FAO, 2005).

3. Evolución de las emisiones en el sector y sus causas

Para el sector USCUS, la metodología del IPCC exige que tales flujos de carbono, se calculen sobre la base del cambio neto en las existencias de carbono en cuatro categorías: a) la conversión de bosques y pastizales; b) el abandono de tierras de cultivo, pastizales y otras tierras manejadas; c) las emisiones de CO₂ y la absorción de los suelos; y d) el intercambio de existencias de biomasa en los bosques debido a las prácticas de manejo (de Jong et. al., 2010) (ver Cuadro 2.).

Como describe el Volumen 4 de las Directrices del IPCC (2007) para los inventarios nacionales de GEI, el uso y la gestión de la tierra tiene mucha influencia sobre una diversidad de procesos del ecosistema que afectan a los flujos de los GEI, tales como la fotosíntesis, la respiración, la descomposición, la nitrificación/desnitrificación, la fermentación entérica y la combustión (Martínez et ál., 2010). Estos procesos incluyen transformaciones del carbono y del nitrógeno provocadas por los procesos biológicos (actividad de microorganismos, plantas y animales) y físico-químicos (combustión, lixiviación y escurrimiento).

Cuadro 2. Categorías de emisión del sector USCUS
Categoría de emisión
Cambio de uso de suelo y silvicultura
Cambio de uso de suelo
Captura por abandono de tierras
Emisiones y captura de CO ₂ del suelo

Fuente: (IPCC 1997; 2003)

Cabe destacar que los incendios forestales juegan un rol importante en las emisiones, por lo que se tiene que trabajar desde diversos puntos de vista e integrar su ocurrencia en cada tipo de cobertura vegetal, su impacto y emisiones asociadas, debido a que en la metodología (IPCC 1997) no está considerada claramente su contribución.

Los GEI provenientes del sector AFOLU que deben reportarse de acuerdo al IPCC (2007) son el bióxido de carbono (CO₂), el óxido nitroso (N₂O) y el metano (CH₄), ya que están directamente relacionados con las actividades vinculadas con estos sectores.

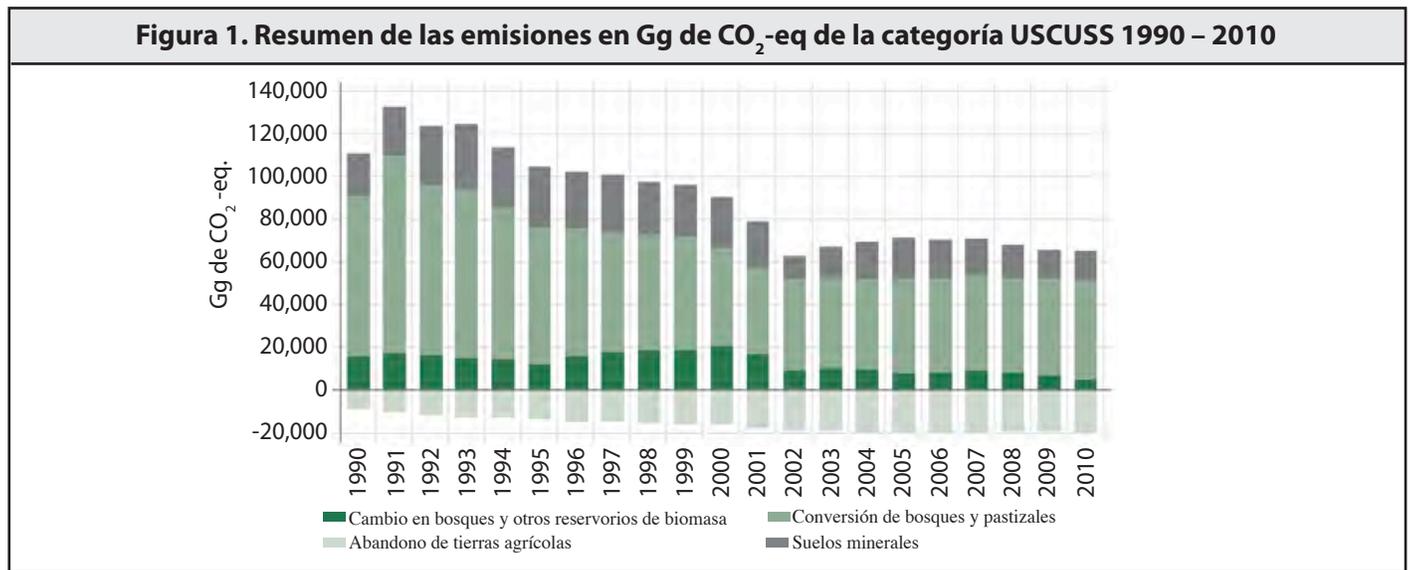
Los flujos de CO₂ entre la atmósfera y los ecosistemas se controlan fundamentalmente por captación mediante la fotosíntesis de las plantas y por liberación a través de la respiración, la descomposición y la combustión de materia orgánica. Los ecosistemas emiten N₂O fundamentalmente como subproducto de la nitrificación y la desnitrificación, mientras que se emite el CH₄ mediante metanogénesis en condiciones anaeróbicas en suelos y depósitos de estiércol, a través de la fermentación entérica y durante la combustión incompleta de la materia orgánica. Otros gases que resultan de interés (provenientes de la combustión y de los suelos) son los óxidos de nitrógeno (NOx), el amoníaco (NH₃), los compuestos orgánicos volátiles de metano (COVDM) y el CO (monóxido de carbono), porque son precursores de ozono, que es un gas que contribuye a la formación de GEI en la atmósfera, mismos que generan emisiones indirectas (Martínez et ál., 2010). Las emisiones indirectas se asocian también con la lixiviación o el escurrimiento de compuestos de nitrógeno, en particular las pérdidas de nitrato (NO₃⁻) de los suelos, algunos de los cuales pueden, después, convertirse en N₂O por desnitrificación (IPCC, 2007; Martínez et ál., 2010).

Observando los resultados del inventario nacional de emisiones (INECC, 2013), para el sector forestal, las emisiones totales de la categoría USCUS en giga-gramos de CO₂ equivalente (Gg) fueron en promedio del orden de 73,872 Gg CO₂-eq, con un valor máximo de 122,372 Gg CO₂-eq, en 1991 y un mínimo de 45,369 Gg CO₂-eq, en 2002. Los datos correspondientes al periodo 2001-2010, sugieren una tendencia a la estabilización con una emisión promedio de aproximadamente 60 Gg CO₂-eq (Figura 1.). De Jong et ál. (2010), menciona un flujo de emisión por pérdida de biomasa boscosa de 64 Gg CO₂-eq, emisión similar al valor anterior.

Las subcategorías que más emisiones generan son en primer lugar la liberación del carbono de la biomasa por conversión de bosques y otras coberturas vegetales a usos de suelo agrícola, seguido de los cambios en el carbono de suelos minerales. En

contraparte, cabe destacar que la conversión de tierras agrícolas abandonadas a sumideros de carbono, tiene un balance neto importante (INECC, 2013). El trabajo de de Jong et ál. (2010), reporta para este rubro una captación de 12.9 Gg CO₂-eq.

En general, se aprecia una disminución de las emisiones para el periodo 1990 – 2001, acentuándose de 1990 a 1999 y con una tendencia a la estabilización de 2000 al 2010 (Figura 1.). Los cambios en bosques y otros reservorios de biomasa, presentan una disminución del 64 % en sus emisiones de CO₂-eq y van de 16 159 Gg CO₂-eq en 1990 a 5 861 Gg CO₂-eq en el 2010. Estos datos sugieren coincidencia con la afirmación de Chapela (2012) en cuanto a que la tasa de deforestación ha disminuido y se ha estabilizado. La estimación no incluye la tala no autorizada por falta de información oficial (INECC, 2013).



Fuente: (INECC, 2013)

El establecimiento de plantaciones comerciales forestales todavía no tiene un papel relevante en la producción maderable y en la captación de carbono. Por otro lado, la extracción de leña mantiene pocos cambios en el tiempo, en 1990 se estimó un consumo de 19,889 Kt/año, mientras que en 2010 se estimó en 18,618 Kt/año lo que traduce una emisión constante de CO₂-eq (INECC, 2013).

Las emisiones provenientes de la conversión de bosques y otras coberturas vegetales a otros usos como el agrícola, presenta una disminución del 39 % en el periodo analizado. Van de 73,720 Gg CO₂-eq en 1990 a 45,325 Gg CO₂-eq en el 2010. El cambio en las emisiones es atribuible a los ajustes de las superficies en los tipos de vegetación del país. La Serie I de Vegetación y uso del suelo del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), modifica un total de 18 Mha, respecto de la Serie II. De esta última a la Serie III se modificaron 2.5 Mha y, de la Serie III a la Serie IV se modificación 3.2 Mha. Al reducirse la superficie de conversión, conduce a la reducción en las emisiones. Las coberturas vegetales más afectadas en dicho proceso son: Pastizales, Matorrales, Bosque Mesófilo, Selva Baja, Mediana y Alta (INECC, 2013).

El abandono de tierras cultivadas, sección 5C del inventario, da lugar a la remoción o absorción de emisiones a causa de la revegetación (valores negativos en la Figura 1.). En 1990 la remoción estimada fue de -8,070 Gg CO₂-eq, que se incrementa de forma gradual alcanzando -15,256 Gg CO₂-eq, en 2010, es decir muestra un incremento en las remociones de 124 %. En el balance general del inventario, esta subcategoría contribuye positivamente a la reducción de emisiones (INECC, 2013).

Las emisiones de carbono de suelos minerales, no manifiestan una tendencia en el tiempo, crecieron al pasar de 19,449 a 29,914 Gg CO₂-eq en 1990 y 1993 respectivamente; de 1994 al 2002 se registra un descenso en las emisiones que va de 28,838 a

11,164 Gg CO₂-eq, mientras que del 2003 al 2005 se incrementan de 13,774 a 18,993 Gg CO₂-eq y finalmente del 2006 al 2010, se registra una reducción de 17,713 a 12,593 Gg CO₂-eq, derivado posiblemente de la dinámica de cambio en la cobertura vegetal hacia uso agrícola, acentuándose en el año 2000 de las superficies analizadas (Serie I vs Serie II, Serie II vs Serie III y Serie III vs Serie IV) de las cuatro Series de Vegetación y uso suelo de INEGI (1992, 1996, 2000, 2005 y 2010).

Cabe señalar que la metodología del IPCC acordada desde 1996 y actualizada en 2007, sugiere que para estimar los cambios en la revegetación de áreas abandonadas, cambios en las existencias de carbono que siguen un proceso de cambio en el uso del suelo y cambios en los contenidos de carbono en suelos, se debe contar con un periodo mínimo de información de 20 años, en la actualización del inventario (2013), se toma 1985 como año base a partir del cual se realizan las estimaciones para ajustar los valores anuales de 1990 al 2004; a partir del año 2005, se cuenta con la serie completa de 20 años y con ello se calculan las variables hasta el 2010 (Ordóñez et ál., 2013).

4. Medidas y propuestas con potencial de mitigación en el sector forestal

Las opciones de mitigación de carbono se definen como: cualquier acción que da como resultado una reducción del incremento neto en las emisiones de CO₂ ya sea por captación de carbono mediante producción primaria neta en un área determinada y/o por la sustitución de combustibles fósiles (Masera, 1995; Ordóñez, 1999 y 2012). En el sector forestal, se reconocen dos opciones básicas de mitigación de carbono: a) conservación de biomasa forestal, que consiste en evitar las emisiones de carbono preservando las áreas naturales protegidas, fomentando el manejo sostenible de bosques naturales y el uso renovable de la leña, así como la reducción de incendios; y b) reforestación, dedicada a recuperar áreas degradadas mediante acciones como la protección de cuencas, la reforestación urbana, la restauración para fines de subsistencia (leña), el desarrollo de plantaciones comerciales para madera, pulpa para papel y hule entre otros, así como las plantaciones energéticas (producción de leña y generación de electricidad) y de los sistemas agroforestales. Algunas de estas acciones, tienen el potencial de incrementar la fijación y otras el almacenaje de carbono (Ordóñez et ál., 2013).

La conservación implica evitar la degradación y aclareo de las áreas forestales. Esto usualmente se lleva a cabo mediante la declaración y cuidado de ANP y el manejo sustentable de los bosques nativos. La quema de biomasa cosechada de forma sustentable para producir energía (p.e. plantaciones energéticas para alimentar plantas de energía), y la sustitución de productos industriales en cuyo proceso se utilizan combustibles fósiles, por productos hechos de madera (p.e. sustituyendo cemento por madera [Schlamadinger y Marland, 1996]), no solo son estrategias efectivas para la sustitución de combustibles fósiles, sino también excelentes opciones para disminuir e incluso evitar, las emisiones de carbono (Ordóñez et ál., 2013).

Bajo una adecuada política de apoyo, de acuerdo con diversos autores (Masera, 1995; Ordóñez, 1999 y 2012; Merino, 2012; Chapela, 2012), el sector forestal en nuestro país tiene la capacidad de reducir el crecimiento de las emisiones de CO₂ generadas por el sector energético, convirtiéndose en una de las opciones de mitigación más importantes a corto y mediano plazo (Johnson et ál., 2010; Ordóñez, 1999).

Masera (1995), estimó que para el año 2030 nuestro país tendría un potencial de captura total de carbono dentro de un rango de 2.34 a 3.02 GtC para una superficie de 26.4 Mha en un escenario de política de apoyo, y de 4.18 a 5.12 GtC para una superficie de 39 Mha en un escenario de potencial tecnológico. Esto significa una captura anual de 67 a 116 MtC/año, lo que representa la mayor parte o el total de las emisiones actuales del sector energético e industrial en nuestro país. Un estudio más actualizado (Aguillón et ál., 2009), plantea que las emisiones de GEI del sector agrícola y forestal tienen un potencial de disminución (o potencial de mitigación) moderado, de 100 Mt CO₂-eq anuales en 2008 a 87 Mt CO₂-eq en 2030.

4.1. Reducción de emisiones por deforestación en países en desarrollo (Actividades REDD)

Ante las estimaciones de emisiones por deforestación en los 1990 (5.8 Gt CO₂/año), realizadas por el IPCC en 2007, se consideró que la estrategia de mitigación con el mayor y más inmediato impacto sobre las reservas de carbono en el corto plazo por unidad



de hectárea y por año a nivel global, era la reducción o prevención de la deforestación y la prevención de la liberación de las emisiones de carbono a la atmósfera. Incluso, 2 años antes en Montreal, Canadá, durante la Conferencia de las Partes 11 (COP por sus siglas en inglés) ya se había reconocido la importancia de dicha estrategia de mitigación, pues se había incluido un apartado en la agenda sobre “la reducción de emisiones por deforestación en países en desarrollo y estrategias para estimular la acción sobre el tema” (Metz et ál., 2007; Nabuurs et ál., 2007).

Después de intensas negociaciones, las diferentes partes signatarias de la convención adoptaron en Bali, Indonesia en 2007, la decisión 2/CP.13 sobre la “reducción de emisiones por deforestación en países en desarrollo”, la cual expresaba el mandato para las partes de la Convención sobre el fortalecimiento, apoyo y facilitación de procesos de creación de capacidades, asistencia técnica y transferencia de tecnología, tomando en cuenta las necesidades metodológicas, técnicas e institucionales de los países en desarrollo para lograr la reducción efectiva de emisiones del sector AFOLU, mediante el control de las causas de la deforestación y el mejoramiento de los reservorios de carbono, a través del manejo sostenible de los bosques. A partir de estos avances políticos, no sólo se envió un mensaje a la sociedad en general sobre la importancia de conservar los bosques por su relevancia en el control del cambio climático, sino que de manera paralela, diversas instituciones comenzaron a desarrollar todo un conjunto de esfuerzos para aportar dentro de la lógica de los mercados voluntarios, buscando avanzar en la implementación de actividades REDD (Finanzas Carbono, 2016).

Las intervenciones REDD se pueden dividir en aquéllas que conllevan alguna forma de uso productivo de la biomasa leñosa y aquéllas que no. Cuando la biomasa leñosa se utiliza como combustible (intervenciones de generación de electricidad con biomasa, co-combustión con leña y producción de carbón vegetal), desplaza el uso de combustibles fósiles. Estas intervenciones por lo tanto reducen las emisiones de carbono tanto a través de una estrategia REDD como del efecto de la bioenergía. En conjunto las seis intervenciones REDD comprenderían el manejo y/o la protección de 65 millones de hectáreas de bosques, resultando en una tasa de deforestación y degradación igual a cero en 2030 (Aguillón et ál., 2009).

4.2. Barreras a la mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero

Si bien el gobierno ha venido asignando mayores presupuestos y ha definido nuevos programas forestales en los últimos años, aún quedan barreras considerables a la implementación de las actividades de este subsector. Los programas de reforestación y restauración podrían alcanzar un gran éxito con semillas seleccionadas y certificadas, plantas de semillero de mejor calidad, capacitación para los propietarios de las tierras y mejor selección de sitios. El manejo de los bosques nativos podría mejorarse enormemente a través de una supervisión más estrecha por parte de los servicios forestales, el control de la tala ilegal, así como de incendios y pestes, y mejores prácticas de aclareo (Aguillón et ál., 2009).

La mayoría de estos temas podrían resolverse a través del desarrollo de capacidades en todos los niveles, incluyendo programas de capacitación sobre recolección de semillas y manejo de viveros y de bosques, que se encuentran entre las medidas más urgentes requeridas. Puesto que la mayor parte de los bosques en México están bajo alguna forma de propiedad comunitaria, la implementación de todas las intervenciones en el subsector forestal comprende el diseño de marcos institucionales adecuados para la participación de la comunidad (Aguillón et ál., 2009).

La producción de carbón vegetal enfrentaría algunas barreras a la implementación, como la falta de un programa específico del gobierno, la resistencia cultural a la adopción de nuevas tecnologías de producción, la necesidad de capacitación y asistencia técnica para garantizar el uso y mantenimiento apropiados de la nueva tecnología, la falta de capital para invertir en hornos y equipo, y la escasez de constructores de hornos calificados y certificados (Aguillón et ál., 2009).

5. Modificaciones y ajustes a la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable para REDD+

El mecanismo internacional de Reducción de Emisiones por Degradación y Deforestación Evitada (REDD+ por sus siglas en inglés) ofrece oportunidades clave para que el país acceda a incentivos económicos que lo apoyen a lograr estas metas. Es por ello que

el gobierno federal mexicano ha integrado la reducción de emisiones en el sector forestal en sus principales leyes e instrumentos de política pública. Aunque este marco es lo suficientemente robusto para avanzar en la construcción de políticas y medidas para REDD+, aún existen vacíos en torno a algunos elementos clave para el éxito de este mecanismo (Alianza-REDD+, 2014).

De acuerdo con Montes de Oca (2004), a partir de la Constitución Política de 1917, el país ha contado con siete leyes forestales en 1926, 1942, 1947, 1960, 1986, 1992 y 2003. En los últimos 17 años, la problemática de los recursos forestales y su protección jurídica han sido centro de atención de la legislación mexicana, y sólo en ese lapso se emitieron tres leyes: La Ley Forestal de 1986, así como su Reglamento (Diario oficial de la Federación [DOF], 1986), la Ley Forestal de 1992 (DOF, 1992) y la nueva Ley General del Desarrollo Forestal Sustentable de 2003 (DOF, 2013a).

En México, la Ley Forestal vigente (DOF, 2013b) tiene como objetivo: regular y fomentar la conservación, protección restauración, producción, ordenación, el cultivo, manejo y aprovechamiento de los ecosistemas forestales del país y sus recursos. Distribuir las competencias que en materia forestal correspondan a la federación, estados y municipios con el fin de propiciar el desarrollo forestal sustentable, en este sentido, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) (2007), contempla la evaluación de estado que guardan los recursos forestales que ocurren en el país a través del inventario nacional forestal y de suelos, señalando que se debe integrar la información estadística y cartográfica, incluyendo la evaluación de la dinámica del cambio de la vegetación forestal, para conocer y evaluar las tasas de deforestación así como sus causas principales, aunado a la valoración de los servicios ambientales y productivos que generen los ecosistemas forestales, así como los impactos que se ocasionen en los mismos.

La Alianza REDD+ (2014), propone robustecer la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable (LGDFS) incorporando el enfoque de género y fortaleciendo las bases legales del sistema de información de salvaguardas, el sistema nacional Monitoreo, Reporte y Verificación (MRV), la distribución equitativa de beneficios y el desarrollo de políticas de REDD+. De este modo, se proponen modificaciones y adiciones a la LGDFS en torno a los siguientes temas:

- 1) Políticas REDD+:** Para impulsar el desarrollo de políticas REDD+, se sugiere especificar que la política nacional en materia forestal deberá promover la reducción de emisiones por deforestación y degradación (Artículo 30) y generar atribuciones para que los tres niveles de gobierno contribuyan a estos esfuerzos de forma coordinada (Artículos 13, 14, 15 y 22). Asimismo, se propone incluir un nuevo capítulo o sección en torno a los servicios ambientales, la mitigación y adaptación al cambio climático que provea bases legales sólidas para el desarrollo y operación de elementos fundamentales de REDD+ como la Estrategia Nacional para REDD+, el sistema de información de salvaguardas, el sistema nacional de MRV, el mecanismo nacional de distribución de beneficios y plataformas participativas como el Consejo Técnico Consultivo de REDD+ (Alianza REDD+, 2014).
- 2) Salvaguardas de REDD+:** Con el fin de fortalecer el marco legal en torno a las salvaguardas de REDD+, el nuevo capítulo o sección propuesto contiene un artículo que mandata a federación, los estados y municipios establecer las bases para integrar un sistema de información de salvaguardas de REDD+. Además, se proponen modificaciones para incluir este sistema como uno de los instrumentos de política nacional forestal (Artículo 35) y generar definiciones legales para los términos salvaguardas y sistema de información de salvaguardas (Artículo 7) (Alianza REDD+, 2014).
- 3) Distribución de beneficios de REDD+:** El nuevo capítulo o sección que se propone, incluye dos artículos que sientan las bases para que la distribución de beneficios de REDD+ sea incluyente, equitativa y eficaz para incentivar la reducción de la deforestación y la degradación forestal (Alianza REDD+, 2014).
- 4) Sistema Nacional de Monitoreo, Reporte y Verificación (MRV):** Se propone incluir nuevos artículos que definan al Sistema Nacional MRV como el instrumento de política forestal que, en el marco de REDD+, integrará la información necesaria para calcular las emisiones y absorciones de GEI por cambios en la cobertura forestal y generar reportes para cumplir con los compromisos internacionales en la materia. También se especifica que la información que genere este sistema debe



seguir las metodologías y lineamientos internacionales establecidos, coordinarse con el INEGI y el INECC, y servir para la evaluación de las políticas nacionales de REDD+ (Alianza REDD+, 2014).

5) Equidad de género: Para impulsar la equidad de género, se propone que la LGDFS incluya entre sus objetivos promover la igualdad de derechos y oportunidades entre mujeres y hombres en la política forestal nacional (Artículos 2 y 3). Además, se sugiere modificar el artículo 148 para fomentar la inclusión de las mujeres en los programas de educación y capacitación forestal que realicen los tres niveles de gobierno (Alianza REDD+, 2014).

6. La importancia de los pueblos indígenas y su relación con la cubierta forestal

México es el cuarto país en el mundo en donde coincide la megadiversidad biológica con la extraordinaria diversidad cultural, además de ser uno de los pocos centros mundiales de origen y diversificación de la agricultura. Esta configuración se repite en muy pocos países. Mesoamérica aporta el 15.4 % de las especies utilizadas en el sistema alimentario mundial (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [CONABIO], 2009).

La ocupación territorial indígena en constante interacción entre los sistemas productivos y los ecosistemas, ha definido paisajes bioculturales en transformación permanente. Las cuencas más importantes del país son ocupadas significativamente (en un 49 %) por los pueblos indígenas cuyos territorios coinciden con las cabeceras de las mismas. En los territorios de los pueblos indígenas de México, se captan anualmente en promedio 364,387.47 mm³ de agua. Esta cifra comparada con la captación nacional en el territorio mexicano —que es de 1'566,301.39 mm³, significa el 23.3 % del total nacional del agua captada (Boege, 2012).

En los territorios de los pueblos indígenas (que representan el 14.3 % del territorio nacional), están presentes casi la totalidad de los 45 tipos de vegetación nacional. Más de un 50 % de todas las selvas medianas caducifolias, altas y medianas perennifolias y subperennifolias, medianas subcaducifolias, vegetación de los Petenes, así como los bosques mesófilos de montaña, se encuentran en estos territorios. En orden de importancia por la extensión que abarcan, los zoques, mayas lacandones, chinantecos, tzeltales, mixes, tzotziles, mazatecos, nahuas y zapotecos tienen cada uno más de 100 mil hectáreas de selvas alta y mediana perennifolias. El 51 % de todos los bosques mesófilos de montaña del país es compartido por 28 pueblos indígenas y los siguientes grupos tienen en orden de más a menos entre 100 mil y 10 mil hectáreas: tzeltal, mixe, zapoteco, tzotzil, chinanteco, nahua (de la Sierra Zongolica, Norte de Puebla y San Luis Potosí, Hidalgo, Veracruz), zoque, tojolabal, mazateco, mixteco, chatino, cora, chol, cuicateco y totonaca (Boege, 2012).

Los macizos forestales de bosque mesófilo menos fragmentados se encuentran en la Sierra Juárez. El 62.6 %, de los bosques mesófilos de montaña pertenece al estrato secundario en sus modalidades arbórea, arbustiva y herbácea siendo la primera la que proporciona sombra a los cafetales. En el caso de los bosques templados subhúmedos, (pino, pino encino, encino pino, encino) los valores son menores, sin embargo, por su ubicación en distintos territorios indígenas desde el norte hasta el sureste del país, con ensamblajes ecosistémicos distintos la diversidad biológica que se encuentra en ellos es alta. La custodia de las selvas húmedas y bosques mesófilos, así como de los bosques templados subhúmedos está principalmente en manos indígenas. De todo el territorio indígena incluyendo las áreas para la agricultura, urbanas, espejos de agua etcétera, la vegetación primaria ocupa cerca del 32.8 %, la vegetación secundaria arbórea el 23.1 %, la arbustiva el 20.7 %, la herbácea el 0.4 %; el área destinada al uso pecuario corresponde al 11.3 %, y el agrícola al 12.2 %. Esto nos permite afirmar que en las zonas indígenas el 75.6 % de la superficie conserva una cubierta vegetal natural (Boege, 2012).

Del total de 152 ANPs federales (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas - CONANP, 2007), 52 tienen en su interior población indígena. Estas 52 suman 5'578,645 ha, de las cuales 1'467,034 ha corresponden a territorios indígenas, es decir, el 26.2 % de la superficie total de las mismas. Por esta razón las ANP, tendrían que adoptar en su administración un esquema participativo que involucre en la misma a los pueblos indígenas. De las 55'051,683 ha (100 %), que la CONABIO ha propuesto como regiones terrestres prioritarias para la conservación de la diversidad biológica, 10'786,914 ha (38 %) contienen territorios indígenas (19.5 % a nivel nacional). La CONABIO además ha definido otras categorías para priorizar la conservación como son las regiones hidrológicas prioritarias en diversidad biológica así como las áreas de importancia para la conservación de las aves. Si sumamos

las áreas que se ubican en territorios indígenas de estas tres categorías de priorización y le restamos las áreas de traslape de las últimas dos obtenemos en conjunto 19'675,975 ha en territorio indígena que son para la CONABIO de gran importancia para la conservación de la diversidad biológica (Boege, 2012).

De 22 centros de diversificación biocultural, 18 tienen alguna valoración como centro de origen natural y de domesticación, así como centro de diversificación genética de plantas útiles. Se trata entonces de zonas en las cuales la intervención de la vegetación natural genera mosaicos paisajísticos y en relación con la agrobiodiversidad, verdaderos laboratorios de domesticación (Boege, 2012).

7. Co- beneficios, ventajas y desventajas, efectos indirectos

Las Acciones Nacionales Apropriadas de Mitigación (NAMA por sus siglas en inglés) para el sector, pueden generar co-beneficios asociados a la transformación de las emisiones generando bioenergía, y modificando el potencial de captura y fijación de carbono. Por otro lado, pueden aumentar la producción forestal y el desarrollo de sistemas agro-silvo-pastoriles, donde se consume menos agua y se deja de afectar el suelo. Se han identificado un gran número de acciones, todas ellas requieren de: educación, capacitación, seguridad social, transferencia económica y tecnológica, inversión, innovación, implementación, control, monitoreo, verificación, seguimiento y certificación (Martínez et ál., 2010; INECC, 2013; Ordóñez et ál., 2013).

Las ventajas en la implementación de las acciones nacionales, radica en que son medidas urgentes que demandan los productores forestales y campesinos en general. Entre las desventajas se encuentra, la ausencia de educación ambiental, los elevados costos de capacitación y transferencia tecnológica, la falta de ética y técnicos capacitados, la ausencia de servidores públicos que ejerzan adecuadamente los recursos y entiendan los proyectos adecuándolos a las condiciones biogeográficas y culturales (SEMARNAT, 2012; Ordóñez et ál., 2013; IPCC, 2014b).

Los efectos indirectos de estas acciones pueden en el corto, mediano y largo plazo, dar como resultado un desarrollo adecuado con una revalorización de las comunidades forestales y de los productos del campo, oportunidades de empleo para profesores, investigadores y tecnólogos del campo, mitigar las emisiones de GEI, recobrar servicios ambientales y frenar el deterioro ambiental (De Bauer, 2009; Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación [SAGARPA], 2012; SEMARNAT, 2012; Ordóñez et ál., 2013; IPCC, 2014b), al mismo tiempo que se disminuye la presión sobre la biodiversidad, tanto directa como indirectamente (Galindo, 2009; Sarukhán et ál., 2009).

8. Oportunidades y barreras (tecnológicas, financieras, institucionales y legales)

El sector forestal en el presente se encuentra en un rezago, sólo los grandes productores y comunidades bien organizadas cuentan con el capital para la transferencia tecnológica y mano de obra barata (SAGARPA, 2012). Las oportunidades radican en el control de calidad de los productos, la certificación de productos, los precios y todo lo relacionado a la cadena de valores.

Los programas gubernamentales, promueven la apertura de la frontera agrícola y pecuaria, el establecimiento de nuevas áreas urbanas, fragmentación del paisaje y el deterioro ambiental, no entienden de los ciclos forestales y el tiempo que necesitan para que el recurso alcance una talla comercial y un desarrollo adecuado, no consideran técnicas en el mejoramiento de las masas forestales y en el balance de nutrientes del suelo a fin de usar menos agroquímicos. Se necesita desarrollar más investigación práctica que permita ayudar al control de plagas y enfermedades (Cibrian, 2013), así como de la capacitación para el aprovechamiento integral de los recursos naturales, de ahí la relevancia en la educación ambiental (Almeida, Núñez y Barahona, 2010), la ética, la equidad y la participación comunitaria (Merino, 2012; Chapela, 2012).



Conclusiones

A pesar del gran potencial que tiene el sector forestal como reductor de emisiones de gases de efecto invernadero, hay una amplia cantidad de inercias que limitan dicho potencial. Muchos de los proyectos forestales exitosos se basan en instituciones ejidales y comunitarias que trabajan principalmente en el constante fortalecimiento de la acción colectiva de manejo de recursos forestales, basadas en derechos de propiedad claros. Sin embargo, el diagnóstico parcial y sobre-simplificado de la problemática del sector forestal en México, se ha traducido hasta ahora en políticas generalizadoras, parciales y sesgadas (Merino, 2012). A esto hay que agregar que, en la actual administración, el sector forestal no es considerado de importancia debido a que muchos de los instrumentos de política vinculados con el fortalecimiento de instituciones comunitarias, han sido eliminados.

A escala internacional, uno de los instrumentos de reducción de emisiones, que a pesar de sus vaivenes sigue contemplándose como una opción viable, son los mercados de carbono. El sector forestal es uno de los candidatos fuertes a seguir participando en estos mercados, pero requiere que se tome en cuenta la experiencia acumulada en los últimos 20 años, para poder actualizar los instrumentos vinculados con la complejidad de los esquemas de monitoreo y verificación (necesarios), los cuales han implicado la participación de otros actores, tales como las Organizaciones No Gubernamentales (ONG). Sin embargo, algunas de estas organizaciones han acaparado los recursos destinados a las comunidades forestales, y esto ha debilitado los esquemas de mitigación para ser incorporados a los bosques y a su manejo sustentable.

Por último, es necesario robustecer la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable, incorporando el reconocimiento de los derechos de propiedad ejidal y comunal existentes en los territorios boscosos del país, el enfoque de género, el sistema de información de salvaguardas, así como una distribución de beneficios incluyente, equitativa y eficaz.

Referencias

- Aguillón, J., Olguín, M., Arias, T., Berrueta, V., Colunga, G., Etchevers, J., ... y Tinoco, J.** (2009). Sector agrícola, Forestal y Bioenergía. En: *México: estudio sobre la disminución de emisiones de carbono*. T. Johnson, C. Alatorre, Z. Romo y F. Liu. Banco Mundial. P. 186.
- Alianza-REDD+** (2014). *Marco Legal de REDD+ en México y Reformas propuestas: Síntesis para tomadores de decisiones*. The Nature Conservancy, Rainforest Alliance, Woods Hole Research Center, Espacios Naturales y Desarrollo Sustentable, A.C. y USAID. p. 8.
- Almeida, L., Núñez, I. y Barahona, A.** (Coordinadoras). (2010). *Educación para sustentabilidad ambiental: una perspectiva necesaria*. Facultad de Ciencias, UNAM. ISBN: 978-607-02-1499-8. Parte 2. Proyecto Clave: SEP-2003-C02-44766. 156 p.
- Boege, E.** (2012). La importancia de los pueblos indígenas y la cubierta vegetal. pp. 116-144. En: *Estado de los bosques en México*. Consejo Civil para la Silvicultura Sustentable A.C.
- Chapela, G.** (2012). *Estado de los Bosques en México*. P. 217. Consejo Civil para la Silvicultura Sustentable A.C. Disponible en: <http://www.ccms.org.mx/documentacion/837-estado-de-los-bosques-de-México/> Consulta realizada en octubre del 2015.
- Cibrián, D.** (2013). *Manual para la identificación y manejo de plagas en plantaciones forestales comerciales*. Primera edición. ISBN: 978-607-12-0311-3. Universidad Autónoma de Chapingo. p. 229.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [CONABIO]** (2009). *Capital natural de México*. Síntesis. Conocimiento actual, evaluación y perspectivas de sustentabilidad. México.
- Comisión Nacional Forestal [CONAFOR]** (2010). "Nota sobre el cálculo de las existencias forestales para el Forest Resources Assesment 2005 y cifras de deforestación derivadas". Documento Interno. México.
- Consejo Nacional de Áreas Naturales Protegidas [CONANP]** (2007). Programa de Desarrollo Regional Sustentable (PRODERS 2007). México: SEMARNAT.
- De Jong, B., Olguín, M., Rojas, F., Maldonado, V., Paz, F., Etchevers, J., ... y Jiménez, F.** (1990). *Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 1990 a 2006*. Actualización del Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero, 2006.
- De Jong, B., Anaya, C., Maser, O., Olguín, M., Paz, F., Etchevers, J., ... & Balbontín, C.** (2010). Greenhouse gas emissions between 1993 and 202 from land use change and forestry in México. *Forest and Management* 260, pp. 1689-1701.
- De Bauer, I.** (2009). *Agricultura: Deterioro y Preservación Ambiental*. Colegio de Postgraduados-Mundi-Prensa México, S.A. de C.V. ISBN 978-607-7699-02-6. Primera edición. p. 166.
- Diario Oficial de la Federación [DOF]** (1986). Ley Forestal y su Reglamento. (D.O.F. 13/VII/88).
- DOF** (1992). Ley Forestal. (D.O.F. 22/XII/92).
- DOF** (2013a). Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable. (D.O.F. 25-02-2003, última reforma D.O.F. 07-06-2013).
- DOF** (2013b). DECRETO por el que se aprueba el Programa Sectorial de Desarrollo Agropecuario, Pesquero y Alimentario 2013-2018. Viernes 13 de diciembre de 2013. Cuarta sección pp: 50-112.
- Edenhofer, O., Pichs-Madruga, R., Sokona, Y., Kadner, S., Minx, J. C., Brunner, S., ... & Zwicker, T.** (2014). Technical Summary. In: *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwicker & J.C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]**. (2005). Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales. 2005 Informe Nacional. México: FAO.
- FAO.** (2009). *La FAO en México: Más de 60 años de cooperación 1945- 2009*. México, Agroanálisis A.C. pp.43-52; 54-94. http://www.fao.org.mx/documentos/Libro_FAO.pdf
- Finanzas Carbono:** Plataforma sobre financiamiento climático para Latinoamérica y el Caribe. (2016). Nuevos mecanismos de mitigación. Reducción de emisiones por deforestación y degradación (REDD+): Origen y avances. Fundación e Instituto Torcuato Di Tella y Banco Interamericano de Desarrollo. <http://finanzascarbono.org/>
- Galindo, L.** (2009). *La economía del cambio climático en México*. Síntesis. Facultad de Economía de la Universidad Nacional Autónoma de México, Estudio desarrollado a petición de las Secretarías de Hacienda y Crédito Público y de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 67 p.
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático [INECC]**. (2013). *Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 1990-2010*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Coordinación del Programa de Cambio Climático. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. ISBN: 978-607-8246-63-2. México. 412 Pág.

- Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]** (1992). Conjunto Nacional de Uso del Suelo y Vegetación a escala 1:250 000. Serie I. DGG-INEGI. México.
- INEGI.** (1996). Conjunto Nacional de Uso del Suelo y Vegetación a escala 1:250 000. Serie II. DGG-INEGI. México.
- INEGI.** (2000). Diccionario de Datos de Uso de Suelo y Vegetación a escala 1:250 000 (vectorial). Serie I. DGG-INEGI. México.
- INEGI.** (2005). Conjunto Nacional de Uso del Suelo y Vegetación a escala 1:250 000. Serie III. DGG-INEGI. México.
- INEGI.** (2010). Conjunto Nacional de Uso del Suelo y Vegetación a escala 1:250 000. Serie IV. DGG-INEGI. México.
- Panel Intergubernamental de Cambio Climático [IPCC].** (1997). Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Organization for Economic Cooperation and Development) OECD/OCDE, Paris
- IPCC.** (2003). *Good practice guidance for land use, land-use change and forestry.* IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme, Penman, J., Gytarsky, M., Hiraishi, T., Krug, T., Kruger, D., Pipatti, R., ... & Wagner, F. (2003). Institute for Global Environmental Strategies.
- IPCC.** (2007). *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability.* Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 976pp.
- IPCC.** (2014a). *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change.* Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- IPCC.** (2014b). *Summary for Policymakers. In: Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change.* Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Johnson, T., Alatorre, C., Romo, Z., y Liu, F.** (2010). *México: Estudio sobre la disminución de emisiones de carbono (MEDEC).* Banco Mundial.
- Martínez, F. J., Laguna, M. I., Leal, H. K., Sheinbaum, P. C., Briceño, V. S., Ordoñez, D. J., Robles, M. G. y Peña, R. E.** (2010). Guía de metodologías y medidas de mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero para la elaboración de Programas Estatales de Acción Climática. Instituto Nacional de Ecología (INE) – Instituto de Ingeniería, UNAM. 200 pág.
- Masera, O.** (1995). *Future Greenhouse Emission and Sequestration Scenarios from Land Use Change in México.* Report to UNEP from the Project México's Country Study on Greenhouse Gas Emissions, Instituto Nacional de Ecología, México City.
- Merino, L.** (2012). *Las condiciones de las comunidades forestales mexicanas y la política pública.* Recuento de desencuentros. Pag. 33-65. En: La Naturaleza en Contexto. 339 pag. Durand L., Figueroa M.F y Guzmán M. Editores. CRIM-CEIICH, UNAM; El Colegio de San Luis. A.C.
- Metz, B., Davidson, O., Bosch, P., Dave, R., & Meyer, L.** (eds.). (2007). *Climate Change 2007: Mitigation of Climate Change.* Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, United Kingdom and New York: Cambridge University Press. 862 p.
- Montes de Oca, F.** (2004). La Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable de México Gaceta Ecológica, núm. 73, octubre-diciembre. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales Distrito Federal, México. pp 37-44.
- Nabuurs, G., Masera, O., Andrasko, K., Benitez-Ponce, P., Boer, R., Dutschke, M., ... & Karjalainen, T.** (2007). *Forestry. In Climate Change 2007: Mitigation.* Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Eds. Metz B., Davidson O.R., Bosch P.R., Dave R., Meyer L.A. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY.
- Nordhaus, W.** (2008). *A question of Balance: Weighing the options on Global Warming Policies.* Yale University Press. New Haven & London
- Ordóñez, J.** (1999). *Captura de Carbono en un Bosque Templado: El Caso de San Juan Nuevo, Michoacán.* Instituto Nacional de Ecología, SEMARNAP. ISBN: 968-817-375-4 México DF. Junio. 72 p.
- Ordóñez, J.** (2012). *Carbono Almacenado en los Bosques de la Región Purépecha en Michoacán, México.* Editorial Académica Española. ISBN-13: 978-3-8454-9488-3. 135 pág.
- Ordóñez, J., Hernández, B., Galicia, A., Jiménez, Á., Núñez, R., Carrera, J., ... y Álvarez-Manilla, G.** (2013). *Uso del suelo, cambio de uso del suelo y silvicultura. En Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 1990-2010.* Capítulo VI. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Coordinación del Programa de Cambio Climático. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. ISBN: 978-607-8246-63-2. México. 412 Pág.
- Sarukhán, J., Patricia, K., Carabias, J., Soberón, J., Dirzo, R., Llorente-Bousquets, J., ... y de la Maza, J.** (2009). Capital natural de México. Síntesis: conocimiento actual, evaluación y perspectivas de sustentabilidad. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). México. 100 p.

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación [SAGARPA]. (2012). *El sector agropecuario ante el desafío del cambio climático*. Volumen I. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). México. 428 p.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT]. (2007). Inventario Nacional Forestal y de Suelos 2004-2009. Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). Instituto Nacional de Ecología (INE). Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). México.

SEMARNAT. (2012). Quinta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales - Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. México. 399 p.

Schlamadinger, B. & Marland, G. (1996). Full fuel cycle carbon balances of bioenergy and forestry options. *Energy conversion and management*. 37:6/8, p. 813.

Smith, P., Bustamante, M., Ahammad, H., Clark, H., Dong, H., Elsiddig, E. A., ... & Masera, O. (2014). *Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU)*. In: *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change*. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwicker and J.C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Stern, N. (2008). The economics of climate change. *The American Economic Review*, 1-37.



Capítulo 10

ASENTAMIENTOS HUMANOS Y MITIGACIÓN CLIMÁTICA

Autor líder:

Gian Carlo Delgado Ramos⁶.

Autoras colaboradoras:

Ana de Luca Zuria²³, Verónica Vázquez Zentella²⁴ y Lilia De Diego Correa²⁵.

⁶UNAM CEIICH Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades,

²³UNAM Posgrado en Ciencias Políticas y Sociales, ²⁴UNAM Posgrado en Pedagogía,

²⁵GreenMomentum-México.

Palabras clave: Asentamientos humanos, infraestructura, mitigación, planeación territorial, México.

Resumen

Reconociendo que los asentamientos urbanos son los principales responsables de emisiones de gases de efecto invernadero, tanto en términos directos como indirectos, se analiza el reto de la urbanización en México como parte de ese mismo proceso a nivel planetario. Asimismo, se detallan los principales impulsores y rutas de acción para la mitigación. Para ello, se describe el Sistema Urbano de México, se analiza el estado de gobernanza en la mitigación del cambio climático y se anuncian los actores partícipes en acciones o coaliciones nacionales o internacionales que realizan trabajos en lo local en México. Se revisan brevemente las experiencias y oportunidades de mitigación urbana en el país para luego revisar con mayor detenimiento el caso de la Ciudad de México. Finalmente, se indican las principales rutas de financiamiento así como los potenciales co-beneficios y efectos secundarios adversos derivados de las medidas de mitigación. Se cierra listando algunos vacíos de conocimiento y de datos, así como con medidas de política pública clave que se desprenden del análisis realizado.



Introducción

Hoy día, poco menos de la mitad de la población mundial habita en el ámbito rural y 92 % de ésta se encuentra en países en desarrollo (United Nations Department of Economic and Social Affairs [UN DESA] Seto et ál., 2014). Esta población se caracteriza por tener ingresos bajos o muy bajos, por las carencias significativas en el acceso a los servicios básicos, y por su reducido consumo de energía y materiales, situación que varía de acuerdo al país. Las emisiones directas e indirectas per cápita asociadas a la vida rural son, por tanto, más bajas que las de la vida urbana, afirmación doblemente cierta para el caso de los países en desarrollo. De hecho, se estima que a principios de la segunda década del siglo XXI, las ciudades cubrirían una superficie de entre el 0.2 y 2.7 % del área global libre de hielo o entre 0.28 y 3.5 millones de km² (Schneider et ál., 2009 en: Seto et ál., 2014), se adjudicaban el 80 % del PIB, y consumían dos terceras partes de la energía mundial (Newman et ál., 2009). Lo dicho implica que cuando se habla de acciones de mitigación en asentamientos humanos, estamos prioritariamente hablando de asentamientos urbanos.

No obstante, las asimetrías Norte-Sur en tales asentamientos son patentes. Las 380 ciudades más relevantes de los países desarrollados son responsables de alrededor del 60 % del PIB mundial (McKinsey Global Institute, 2013 en: Seto et ál., 2014). Del mismo modo, se calcula que una quinta parte de la población mundial, la más rica y prácticamente urbana, consume el 85 % de todos los bienes y recursos naturales (Davies et ál., 2008). Esta desigualdad en el consumo de los recursos se traduce en que 783 millones de personas carezcan de acceso a fuentes de agua y 2.5 mil millones de personas de servicio de saneamiento (UN WATER- United Nations inter-agency). Es importante subrayar que América Latina (AL) es la única región en desarrollo donde el porcentaje de población que vive en zonas de alta marginación asciende a casi la tercera parte de la población (27 % en promedio) aunque es variable pues se estima oficialmente en 19.6 % para el caso de México; 36.6 % para Brasil; 33.1 % para Argentina; 68% para Perú, por dar algunos ejemplos (Davis, 2006). Así pues, las asimetrías se verifican en términos de ingresos y acceso a servicios dentro de los propios asentamientos urbanos donde una constante en las ciudades latinoamericanas -y del mundo en desarrollo- es la segregación socioeconómica y espacial de una porción considerable de la población urbana.

1. Dinámicas poblacionales urbanas en el mundo

En 1900 la población urbana era sólo el 13 % de la población total mundial, en 1950 llegaba al 29 % (746 millones de habitantes) y en 2014 ya era el 54 % (3,900 millones de habitantes) (Organización de las Naciones Unidas-ONU, 2011 y 2014). Debido a los movimientos migratorios, sobre todo en Asia y África, y al crecimiento poblacional, cada día se añaden 185 mil habitantes a la población urbana. Tal proceso de urbanización se ha reflejado en un aumento permanente tanto del tamaño como en el número de asentamientos urbanos. Se estima que a nivel global hubo un aumento de 2 mega-urbanizaciones de más de 10 millones de habitantes en 1950, a 28 en 2014 (según la ONU, serán 41 en 2050); de 2 ciudades de entre 5 y 10 millones de habitantes a 43; y de 69 ciudades de entre 1 y 5 millones de habitantes a 417 (según la ONU, serán 63 y 558 en 2050 respectivamente) (ONU, 2011 y 2014).

Proyecciones para el 2050 indican que la población urbana será el 66 % del total mundial, esto es, se sumarán 2,500 millones de habitantes, 90 % en Asia y África, regiones que, sin embargo, seguirán siendo las menos urbanizadas del planeta (56 % y 64 % al 2050, respectivamente) (ONU, 2014). Como resultado, la extensión de la capa urbana podría duplicarse o hasta triplicarse, dependiendo de las dinámicas poblacionales y económicas (Angel et ál., 2011 en: Seto et ál., 2014).

En dicho contexto que prácticamente invierte la relación rural-urbano en el paso de un siglo, es notorio que AL sea la única región del mundo “en desarrollo” con índices que ya promedian un 79.5 % de población urbana, el cual aumentará hasta 86 % en el 2050 (ONU, 2001 y 2014). Así, se proyecta que para 2025, habrá dos megaciudades más en la región: Lima (11.5 millones de habitantes) y Bogotá (11.4 millones de habitantes). Además, para el 2030 la Ciudad de México tendrá 23.8 millones de habitantes, Sao Paulo 23.4 millones, Buenos Aires 16.9 millones y Río de Janeiro 14.1 millones (ONU, 2014).

1.1 Dinámicas poblacionales en México

Siguiendo las tendencias globales, en México la población urbana aumentó rápidamente a partir de 1950 cuando aún había un predominio de la población rural, la cual era el 57.4 % del total de la población; en 1910 era 71.3 % (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática-INEGI, 1996). Para 1960 el país se convierte, por primera vez, mayoritariamente urbano con el 50.7 % de su población viviendo en alguna localidad considerada como urbana (en ese momento las estadísticas consideraban como población urbana a aquella que residía en asentamientos mayores a 2,500 habitantes; esto cambió para el Censo Nacional de 2010 cuando se consideró como asentamientos urbanos aquellos con más de 15 mil personas) (Ibid). El aumento de población urbana continuó desde entonces en ascenso, pero con una distribución sumamente irregular y con patrones asociados a las características climáticas de los territorios (Gutiérrez, 2003). Para el 2010, el 72.3 % de la población era ya urbana, es decir, 81.2 millones de un total de 112.3 millones (Consejo Nacional de Población [CONAPO], 2012). Las proyecciones para 2050 estiman una población total de 150.83 millones de la cual 86 % será urbana (ONU, 2014).

2. Asentamientos Humanos y emisiones de gases de efecto invernadero (GEI)

La literatura sobre las contribuciones de GEI de los asentamientos urbanos es reciente, no ha analizado íntegramente todas las regiones urbanas del planeta y usa metodologías diversas, tanto para definir lo urbano (las fronteras de estudio) como para contabilizar las emisiones, ésta puede hacerse de modo *top down* (escalamiento a partir de datos nacionales) o *bottom up* (estimaciones de estudios de caso representativos) (Seto et ál., 2014). Por tanto, el 5° Informe (AR5) del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés), estima con un rango medio de evidencia y acuerdo, que los asentamientos urbanos contribuyen con el 71 % al 76 % de las emisiones si se contabilizan a partir del uso final de energía, y entre el 67 % y el 76 % si se mira desde el uso global de energía (Seto et ál., 2014).

El consumo per cápita de energía (y por tanto de emisiones) a escala urbana varía, y, está directa e indirectamente relacionado a diversos factores: biofísicos, económicos y sociales; niveles y tipologías de urbanización, entre otras cosas. Un ejemplo, si se toman en cuenta los países signatarios del Protocolo de Kioto, se podría decir en lo general, que las ciudades de los países del Anexo 1, tienden a niveles per cápita de uso final de energía que resultan menores que los promedios nacionales. En cambio, en las ciudades de los países no-Anexo 1, los promedios de consumo tienden a ser mayores que los promedios nacionales (Seto et ál., 2014). A lo dicho, se suman las emisiones indirectas, el carbono incorporado en la infraestructura o el suelo construido, las cuales se estiman para todos los asentamientos del 2050, en 470 gigatoneladas (Gt) de CO₂ (Ibid). La construcción de infraestructura cuya operación se basa en combustibles fósiles derivará en emisiones acumuladas de entre 2,986 y 7,402 Gt de CO₂ (Ibid).

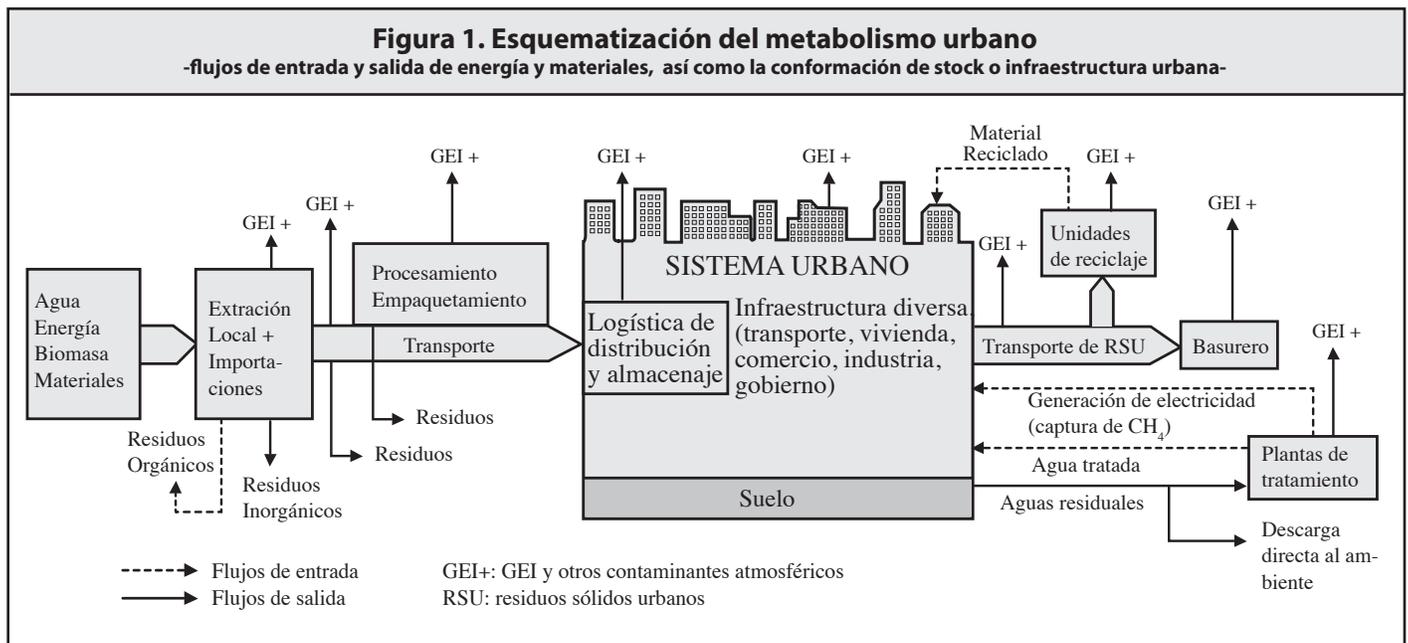
2.1 Emisiones directas e indirectas de los sistemas urbanos

Los asentamientos humanos toman cuerpo en territorios concretos con características biofísicas naturales específicas. El suelo construido demanda intercambios de materia (biótica, abiótica, de origen natural o antrópico) y energía (renovable o no-renovable) con sus alrededores o hinterland y más allá. Tales intercambios se dan en dos sentidos, en términos de flujos de materiales y energía que entran a los asentamientos y en flujos de materiales y de energía degradados que salen. Y dado que los flujos de salida son diversos no sólo en términos de composición biofísica sino en cuanto a su tiempo de vida útil, se habla así de la conformación -territorializada- de un stock de materiales. Lo anterior se observa desde tres componentes generales: 1) flujos y conformación de stocks de materia y energía, 2) procesos mediante los cuales estos toman cuerpo, y, 3) la sociedad, en tanto que mediante relaciones sociales de producción específicas, define tales o cuales perfiles metabólicos y construye el espacio territorial concreto.

El estudio interdisciplinar de los tres componentes descritos es una cuestión cada vez más relevante para analizar los asentamientos humanos urbanos, no sólo debido al creciente uso de recursos por parte éstos en creciente expansión, sino también en tanto que permite hacer lecturas más finas del estado de situación actual de dichos asentamientos en términos biofísicos, así como de su proyección futura. A su vez, ello abre la posibilidad de modelar rutas más o menos eficientes en el uso de los recursos

y en la generación de residuos y así enfocar esfuerzos, por ejemplo, mediante la planificación de los procesos metabólicos, la definición de las funciones y uso del territorio, así como, desde el mismo diseño de la infraestructura con base en la relevancia otorgada para su optimización -dígase en términos socioecológicos, climáticos y/o de salud pública-. La estimación de los perfiles metabólicos de los asentamientos urbanos permite además, dar cuenta de modo organizado, tanto de las emisiones directas como indirectas de las emisiones evitadas o potencialmente evitadas por la reutilización o reciclaje de materiales, incluso por la captura de energía (léase metano), tal y como se muestra en la Figura 1.

El enfoque inicial de los estudios de metabolismo urbano fue el análisis exclusivo de flujos de materiales, seguido de los de energía (modelo metabólico lineal), para después incorporar una visión o modelo cíclico de los flujos, es decir, aquella que incorpora la noción de “ciclos cerrados de materiales” (no pueden ser ciclos completamente cerrados debido a la Ley de la Entropía) o de procesos de reciclaje y/o recuperación parcial de flujos de salida, por ejemplo de materiales valiosos en los residuos sólidos (gas metano emitido por rellenos sanitarios y agua tratable entre otros); más adelante se incorporaría por parte de diversos autores el análisis de los componentes internos de cada flujo como redes de procesos. El análisis del stock urbano comenzaría recientemente a incluirse como aspecto relevante de los estudios metabólicos urbanos, no sólo porque figuran como recursos acumulados potencialmente disponibles en el futuro a través de la implementación de medidas que tiendan al cierre de ciclos materiales o lo que ya se califica como minería urbana (Baccini y Bruner, 2012), sino también, por su contribución al cambio climático, ello en tanto que la energía incorporada de los materiales que lo componen es muy elevada, especialmente acero, cemento y aluminio. El trabajo de Müller et ál (2013) es en este sentido valioso pues estima el carbono incorporado en los tres materiales antes señalados del stock o infraestructura global en 122 (-20 / +15) Gt de CO₂-eq, de las cuales 68 Gt corresponden a los países del Anexo I (o más desarrollados).



Fuente: (INECC, 2013) Diseño gráfico: Ángeles Alegre Schettino

2.2 Promotores del aumento de emisiones GEI en asentamientos urbanos

La contribución de los asentamientos urbanos en la emisión de GEI, independientemente de la metodología empleada para valorarla, es modelada por diversos elementos o “impulsores”, fundamentalmente relacionados a: 1) la geografía económica y el ingreso (la función del asentamiento en la división internacional del trabajo y la jerarquía nacional, regional y global, así como por los consecuentes flujos comerciales de materiales, energía, bienes manufacturados y servicios); 2) los factores sociodemográficos (tamaño y distribución de edad de la población, las características de los hogares, normas culturales que derivan en ciertos perfiles de consumo, y factores de equidad o de distribución de bienes y servicios); 3) la tecnología disponible para la ma-

nufactura y en sí para las actividades económicas en general, así como a la infraestructura y la forma urbana imperante (arreglos del uso del suelo, emplazamiento de sistemas de transporte, elementos de diseño, etcétera.) (Seto et ál., 2014). El diseño y ejecución de política pública para la mitigación, toma pues cuerpo en diversas medidas y acciones en los elementos antes detallados.

En este contexto, es importante el reconocimiento de las interdependencias existentes entre los diversos impulsores descritos, siendo muy difícil aislar el impacto de cada uno de los factores involucrados en el consumo de energía y en la emisión de GEI, debido a que como se señala en el AR5, éstos están interconectados y usualmente interactúan a diversas escalas espaciales y temporales (Seto et ál., 2014). La interacción entre dichos factores y la importancia relativa de cada uno, agrega el AR5, variará de lugar a lugar, además de que tales factores cambian con el tiempo y develan dependencias en sus trayectorias (Seto et ál., 2014).

Así entonces, las acciones de mitigación pueden darse en el ámbito sectorial, mediante el aumento de la eficiencia de la infraestructura energética, del agua, de gestión de los residuos, de transporte, etcétera; pero aún más, por la vía de la planeación integral, no sólo de la infraestructura (por ejemplo, de manejo de residuos y aquellos para la captura de metano para la generación de energía eléctrica), sino en sí del espacio construido, de tal suerte que se potencien las sinergias posibles (Seto et ál., 2014). Se trata pues de aprovechar las oportunidades que residen en las relaciones entre forma urbana, densidad, planeación y selección de la infraestructura idónea (dígase eficiente, baja en carbono) y opciones de gestión de la demanda (por ejemplo en transporte) (Ibid). De este modo, la agenda de mitigación, puede genuinamente integrarse con la planeación sectorial tradicional, incluyendo la ambiental, a través de la planeación territorial, es decir, el ordenamiento territorial o uso del suelo urbano y no-urbano visto como espacio integrador para una planeación más holística.

Se suma también el necesario fortalecimiento de las capacidades institucionales y de gobernanza, sin dejar de lado los esfuerzos de educación, difusión y de activa participación ciudadana para, entre otras cuestiones, impactar en los perfiles de consumo de la población como resultado de una mayor conciencia sobre el problema ambiental y climático y un mejor conocimiento acerca de alternativas o elecciones al alcance del ciudadano.

Ese tipo de planeación holística, en la práctica, es limitada en términos generales, incluyendo a México (véase más adelante), además de que en sí misma es un reto pues cada caso demanda un conjunto de acciones diversas que se asocian a las propias características de cada asentamiento, desde las biofísicas, socioeconómicas, políticas, culturales y tecnológicas, hasta las propias del espacio construido en sí mismo, es decir, su tamaño, grado de madurez (bien establecidas o en desarrollo), la dimensionalidad, e incluso el grado en el que la infraestructura actual genera un efecto lock-in o de continuidad en paradigmas basados en el uso de combustibles fósiles, etcétera. Por supuesto, muchas características en mención son producto de decisiones políticas y de inversiones públicas y privadas, previas y actuales, de un marco regulatorio e instrumentos de política pública (o la falta de estos), así como de su nivel de ejecución, por lo que es deseable el reconocimiento de los instrumentos de política pública existentes, y de los no existentes pero posibles, para en su caso implementarlos, fortalecerlos, modificarlos o inhabilitarlos. En relación a este último punto, cabe precisar que entre los instrumentos se incluyen desde las regulaciones gubernamentales hasta los incentivos y estrategias de mercado (alianzas público-privadas, designación de precios).

Por lo antes dicho, las opciones de mitigación disponibles, según el AR5 del IPCC, incluyen para las ciudades en rápido desarrollo, "...la modelación de sus trayectorias de urbanización y de desarrollo de la infraestructura" (Seto et ál., 2014). Para las ciudades urbanizadas, consolidadas, las opciones de mitigación residen en "la regeneración urbana". Ésta, de acuerdo a los autores, consiste en un desarrollo compacto, en el uso mixto del suelo que acorte los desplazamientos, promueva el tránsito, la caminata y el ciclismo; así como en el reúso adaptativo de edificios y la rehabilitación/conversión hacia diseños de edificios energéticamente eficientes.

Ambos escenarios aplican a México, el primero para el grueso de su sistema urbano, es decir, para las ciudades de menos de 500 mil habitantes, mientras que lo segundo es más propio para grandes conurbaciones como la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), aunque también para otras como la Zona Metropolitana de Monterrey (ZMM) y la Zona Metropolitana de Guadalajara (ZMG).



3. Sistema Urbano de México

En México, el sistema urbano cubre 800 mil hectáreas, el 0.4 % del territorio nacional, pero concentra el 71.4 % de la población total y genera cuatro quintas partes del PIB (SMA-GDF, 2008. p. 23).

El proceso de urbanización en México ha sido marcadamente expansivo a lo largo del siglo XX. Se trata de un proceso que puede ser entendido no sólo como aquel que toma cuerpo en asentamientos mayores a 15 mil habitantes, sino también por asentamientos de superficie continua edificada y habitada con usos de suelo no-agrícolas.

El Catálogo Sistema Urbano Nacional 2012 describe el sistema urbano nacional como aquel que está constituido por:

- centros urbanos (ciudades con 15 mil o más habitantes que no reúnen características de conurbación o zona metropolitana),
- conurbaciones (conformación urbana de la continuidad física de dos o más localidades constituyendo una sola unidad urbana de más de 15 mil habitantes) y,
- zonas metropolitanas (agrupaciones de municipios completos que comparten una ciudad central y están altamente interrelacionados funcionalmente)¹ (CONAPO, 2012, p. 13).

El mencionado sistema urbano es además clasificado en un “sistema principal” (135 ciudades de 50 mil o más habitantes que suman 74 millones de personas), y un “subsistema complementario”, que suma 6.6 millones de habitantes en 249 ciudades de entre 15 mil y 50 mil habitantes. De esas 384 ciudades que comprende el sistema urbano nacional, 59 son zonas metropolitanas con 63.8 millones de habitantes o el 79 % del total urbano; 78 son conurbaciones con 6 % de la población urbana y, 247 son centros urbanos con el 15 % restante de la población urbana. De hecho, las 33 municipalidades de más de medio millón de habitantes suman 71 % de la población urbana del país, entre ellas se encuentran algunos municipios de la ZMVM (Nezahualcóyotl, Tlalnepantla, Ecatepec y Cuautitlán Izcalli y, de próxima adición, se perfilan Ixtapaluca y Tultitlán que en 2010 tenían una población ligeramente menor al medio millón de habitantes)².

El sistema urbano nacional descrito surge de un proceso de urbanización intenso, pues en 1900 el país tenía sólo 33 ciudades de más de 15 mil habitantes con una población total de 1.4 millones de personas o 10.4 % de la población total. A mediados de siglo, había 84 ciudades de más de 15 mil habitantes concentrando 28 % de la población; en 1970, eran ya 174 ciudades con 47.1 % de la población, y en el 2000, la cifra ascendía a 343 ciudades concentrando, como se dijo, 71.4 % de la población nacional (CONAPO, 2012: 21).

Dicha expansión urbana se verifica en tres etapas: la primera de 1900 a 1940 fue predominantemente rural. La segunda de 1940 a 1980, fue de intensa expansión, sobre todo en torno a las zonas metropolitanas como la del Valle de México (incluyendo Puebla y Toluca), la de Guadalajara y de Monterrey, y en menor medida en: León, Torreón y Ciudad Juárez. La tercera de 1980 a la fecha, es de evolución baja-moderada y con un repunte en ciudades medias, proceso en el que ciudades como: Puebla, Querétaro, Pachuca, Tlaxcala, San Juan del Río y Toluca crecen en íntima vinculación a la desbordante ZMVM y a la actividad manufacturera que es relativamente expulsada de ésta, según Garza (2000). Al mismo tiempo se registra un dinamismo importante en la frontera norte en ciudades como: Tijuana, Ciudad Juárez, Matamoros, Nogales y Piedras Negras, cuyas actividades están asociadas a la industria maquiladora y a dinámicas económicas transfronterizas. Ciudades costeras como Cancún, Acapulco y Puerto Vallarta también se urbanizan considerablemente por arriba de la tasa media nacional, mientras que ciudades coloniales turísticas - Oaxaca, Guanajuato y San Miguel de Allende- también lo hacen a un ritmo ligeramente menor. Destacan en otro

¹ Se consideran también los centros urbanos mayores a un millón de habitantes aunque no hayan rebasado su límite municipal y a los centros urbanos de las zonas metropolitanas transfronterizas mayores a 250 mil habitantes.

² Los 33 municipios son: Aguascalientes, Tijuana, Mexicali, Torreón, Saltillo, Tuxtla Gutiérrez, Chihuahua, Juárez (Chih.), Durango, Irapuato, León, Acapulco, Guadalajara, Tlaquepaque, Zapopan, Ecatepec, Nezahualcóyotl, Tlalnepantla, Toluca, Cuautitlán Izcalli, Morelia, Apodaca, Puebla, Querétaro, Benito Juárez (QR), San Luis Potosí, Culiacán, Hermosillo, Centro (Tabasco), Matamoros, Reynosa, Veracruz, y Mérida.

orden de magnitud, ciudades del interior del país con predominancia económica en manufacturas como Saltillo, Aguascalientes y San Luis Potosí; pero también aquellas con actividad predominantemente agrícola como se diría de Culiacán, Hermosillo, Celaya, Irapuato, Los Mochis y Ciudad Obregón (Ibid).

Ante tal ritmo de urbanización del país, debe subrayarse la expansiva ocupación del suelo pues en los últimos 30 años, mientras la población creció 1.4 veces, la superficie urbana lo hizo 5.9 veces, todo bajo una forma discontinua que incrementa la complejidad y el costo de la provisión de la infraestructura de los servicios urbanos y con considerables impactos socioambientales, incluyendo los climáticos (Imaz, Ayala y Beristain, 2014).

El tejido urbano descrito nos permite delinear al menos dos cuestiones centrales: 1) existe un reto mayor para la mitigación en las tres zonas metropolitanas más grandes del país, particularmente, corrigiendo o minimizando problemas acumulados por décadas de desarrollo urbano poco planificado y previniendo nuevos; 2) se identifica un potencial de mitigación importante en todas las zonas metropolitanas del país, incluso en todo el sistema urbano principal, por un lado, evitando seguir la ruta tendencial de urbanización expansiva propia de las tres grandes metrópolis, y por el otro, adoptando a tiempo modelos de desarrollo (y por tanto modelos urbanos) resilientes. Esto es a partir de una planificación holística. Lo antes dicho, implica el desarrollo de una política de mitigación necesariamente contextualizada a la realidad, que tome en cuenta las características y el potencial de los asentamientos urbanos.

4. Gobernanza y mitigación del cambio climático a escala urbana en México

Los factores clave para el éxito de la gobernanza climática urbana, según el AR5 del IPCC (Seto et ál., 2014: 969), son:

- 1) los acuerdos institucionales que faciliten la integración de la mitigación (y la adaptación) con otras agendas urbanas de alta prioridad (más adelante se presenta una sección con una breve revisión de los arreglos institucionales en México en materia de cambio climático, con énfasis en el ámbito local),
- 2) permitir un marco de gobernanza multinivel que empodere a las ciudades y promueva la transformación urbana (ver al respecto sección 14.4.2),
- 3) las competencias de planeación espacial (o de ordenamiento territorial) y la voluntad política para apoyar usos del suelo y la planificación del transporte de manera integral (ver sección 14.4.3 y para experiencias de mitigación en México a escala municipal y de la Ciudad de México, secciones 14.5 y 14.5.1 y 14.5.1.1),
- 4) los suficientes flujos financieros e incentivos para apoyar adecuadamente las estrategias de mitigación (ver sección 14.6).

4.1 Arreglos legales e institucionales en materia de cambio climático

Las emisiones de GEI totales de México reportadas en 2010 en la Quinta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC), ascienden a 748.3 millones de toneladas de CO₂-eq, es decir, 19 % mayores a las del 2001 y 33.4 % más con respecto a los niveles de 1990. El sector transporte y la generación de energía contribuyen con 44 % de las emisiones nacionales (Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal-SEDEMA, 2014a, p. 34).

Dado que México se ubicó en 2010 entre los primeros 15 países emisores de GEI, con 1.4 % de las emisiones globales, el país se comprometió a reducir 30 % sus emisiones al 2020 con respecto a la línea base. Para ese año, se estima que las emisiones serán 28 % mayores a las del 2010 en un escenario tendencial (business as usual-BAU). Considerando que la población del país podría llegar a 121 millones de personas en el 2050, la reducción necesaria para entonces tendría que ser del 50 % (Diario Oficial de la Federación [DOF], 2014). Entre los lineamientos para lograr dicha reducción, está la implementación de energías renovables para generar 35 % de la electricidad al 2024, y, la instauración de un Registro Nacional de Emisiones en el que las empresas deberán reportar sus emisiones.

Es en dicho contexto que México, signatario del Protocolo de Kioto, suscribió su primera Estrategia Nacional de Cambio Climático en 2007; elaboró el primer Programa Especial de Cambio Climático 2009–2012 con 105 objetivos y 294 metas, –entre los



que se encuentra la reducción de 50.66 millones de toneladas de CO₂-eq⁻; aprobó su Ley General de Cambio Climático en 2012; publicó su segunda Estrategia Nacional de Cambio Climático en 2013 (DOF, 2013); y, al siguiente año, su segundo Programa Especial de Cambio Climático 2014-2018 (DOF, 2014).

Así, de acuerdo a la normatividad vigente (artículo 12 de la Ley General de Cambio Climático), las entidades federativas son las responsables de establecer comisiones intersecretariales que coordinen las políticas en materia de cambio climático en congruencia con las del Gobierno Federal, mismo que reúne los tres órdenes de gobierno por medio del Sistema Nacional de Cambio Climático. Este sistema está integrado por la Comisión Intersecretarial de Cambio Climático (constituida por 13 secretarías de Estado), el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, el Consejo de Cambio Climático, los gobiernos de las entidades federativas, las asociaciones de autoridades municipales y el Congreso de la Unión (SEDEMA, 2014a, p. 38).

Para el caso de la Ciudad de México, los instrumentos de política actualmente derivan de la Ley de Mitigación y Adaptación al Cambio Climático (LMACC), se trata de la Comisión Interinstitucional de Cambio Climático (CICCDF), el inventario de emisiones, la Estrategia Local de Acción Climática de la Ciudad de México (ELAC), el Programa de Acción Climática de la Ciudad de México (PACCM), los programas delegacionales (que deberán estar listos a más tardar para noviembre de 2015)³, el atlas de riesgo de la ciudad, el registro de emisiones, el sistema local de bonos de carbono, el Centro Virtual de Cambio Climático de la Ciudad de México y el Fondo Ambiental para el Cambio Climático (SEDEMA, 2014a, p. 40).

4.2 Ciudades mexicanas partícipes en acciones o coaliciones internacionales

Una de las coaliciones más conocida en el ámbito de la sustentabilidad a escala urbana es el International Council for Local Environmental Initiatives (ICLEI). Es una organización internacional no gubernamental sin fines de lucro, fundada en 1990, que funciona como una asociación de gobiernos locales con el objeto de apoyar, asistir y asesorar a sus miembros en el diseño e implementación de programas de desarrollo sustentable y cambio climático. Dicho apoyo incluye la búsqueda y gestión de recursos, así como la capacitación y asistencia técnica, ello por medio de los aliados con que cuenta a nivel nacional e internacional, desde secretarías de Estado, agencias de cooperación internacional, instituciones financieras internacionales y regionales, entre otros actores como la Asociación de Autoridades Locales de México, A.C. o la Federación Nacional de Municipios de México.

El ICLEI en el panorama internacional trabaja en áreas como la eficiencia energética, el manejo de residuos sólidos, el transporte y el turismo sustentable, y la edificación inteligente, entre otros. Tiene presencia en 86 países siendo observadora oficial de las Convenciones sobre Cambio Climático, Diversidad Biológica y de Lucha contra la Desertificación.

Entre los programas que desarrolla ICLEI-México están: la elaboración de la Guía Desarrollo Sustentable Local (SEDESOL); instalación de calentadores Solares de Agua (PNUD-Embajada Británica en México); desarrollo del programa del Agua SWITCH de Río+20 (ONU); la elaboración de los PACMUN; y la consultoría para la gestión Integral de Residuos Sólidos (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos). De los 32 Estados de la República, 25 cuentan con algún tipo de presencia del ICLEI, del mismo modo hay 23 entidades gubernamentales con presencia del ICLEI (gobiernos estatales o municipales). Por su parte, la Ciudad de México como actor de vanguardia en la política del cambio climático en México, promovió en 2010 el Pacto Climático Global de Ciudades – Pacto de la Ciudad de México, éste es de carácter voluntario y fue firmado inicialmente por 138 ciudades; hoy, más de 300 ciudades de 60 países lo han signado. Se trata de una iniciativa, a la usanza de otras, como el Acuerdo de Protección Climática de Alcaldes y Gobiernos Locales (2007), el Plan de Acción Climática de los Gobiernos Locales (2007), el Catálogo de Copenhague de Compromisos de las Ciudades del Mundo para combatir el Cambio Climático (2009), el Comunicado Climático de Copenhague (2009), el Llamado a la Acción Climática de Dunkerque (2010), la Declaración de Bonn del Foro de Alcaldes sobre Adaptación (2010), entre otras.

³Según el PACCM, 9 de las 16 delegaciones ya estaban en proceso de diseño al momento de elaboración del dicho programa (SEDEMA, 2014b, p. 280).

El Pacto mencionado, reconoce el carácter estratégico de las ciudades para afrontar el cambio climático y afirma diez compromisos (voluntarios)⁴, mediante un sistema de compromisos adquiridos medibles, reportables y verificables ante el Registro Climático de las Ciudades *Carbonn* (cCCR); este último, contiene reportes de más de 500 gobiernos locales y estatales (o subnacionales) que suman 5 mil acciones, además de 1,092 compromisos en materia de eficiencia energética y cambio climático. Algunas ciudades del país⁵ son signatarias del Pacto de la Ciudad de México y 32 reportan a *Carbonn*.

Por último, cabe precisar que la información generada por *Carbonn* ha sido parcialmente retomada por The Non-State Actor Zone for Climate Action (NAZCA), una plataforma lanzada en el marco de la Vigésima Conferencia de las Partes (COP20) en Perú, que incluye también información de acciones de empresas, regiones e inversionistas; en NAZCA se reportan acciones de México por parte de cinco estados, diez ciudades y seis empresas.

5. Experiencias y oportunidades de mitigación urbana en México

Las acciones de mitigación en México se realizan en los tres niveles de gobierno, siendo los más estructurados aquellos del orden nacional y estatal, aunque también con carencias y en ausencia de lineamientos obligatorios sobre elementos mínimos estructurales para su elaboración, ya no se diga en implementación (ello pese a la publicación de un par de documentos indicativos a nivel estatal y municipal; Tejeda y Conde, 2008; Velasco et ál., 2012, respectivamente).

En el orden municipal, según la Ley General de Cambio Climático, se reconoce que las autoridades urbanas tienen competencias claves para combatir el cambio climático, ya que tienen responsabilidades sobre sectores urbanos como el ordenamiento territorial, el transporte, la gestión de sus recursos naturales, la construcción, la gestión de residuos y la gestión de los recursos hídricos.

Pese a ello, las acciones de mitigación a escala de asentamientos urbanos estrictamente no existen en el país dado que las divisiones administrativas del territorio, escalas en las que operan los planes de acción climática, no necesariamente coinciden con las escalas de emplazamiento de los asentamientos urbanos. Desde tal perspectiva, el plan más articulado hasta el momento es el que integra acciones de las 16 delegaciones que conforman la Ciudad de México, sin embargo, a escala de la ZMVM sigue sin existir un plan de acción integral, aun cuando en los hechos se trata de un solo asentamiento urbano con vínculos que incluso se desborda, al punto de que se habla de una región megalopolitana.

Para el caso de urbanizaciones contenidas en un solo municipio, los Planes de Acción Climática Municipal (PACMUN) o similares⁶, pueden ser vistos como programas de adaptación y mitigación urbanos, tal y como es el caso de La Paz, Baja California Sur, que ya cuenta con su plan de acción. Pese a su relevancia, las acciones en el ámbito municipal están siendo implementadas de modo asimétrico y disperso. De los 2,457 municipios del país, sólo 70 de ellos, es decir el 2.84 %, cuentan con un plan de acción concluido (8 de ellos aprobados y en espera de publicación, correspondientes a delegaciones del Distrito Federal). El grueso de los planes han sido desarrollados con el apoyo técnico de ICLEI, que a su vez, es financiada por la Embajada Británica, aunque otros han sido realizados por otros actores como el Centro Mario Molina, consultores de organizaciones como CECROPIA y de instituciones de educación superior como la Universidad Autónoma de Baja California Sur, el Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social (CIESAS) y el Instituto Politécnico Nacional. Otras fuentes de financiamiento también han sido el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), el Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF, por sus siglas en inglés) y la International Community Foundation (ICF).

⁴ Reducción voluntaria de las emisiones GEI locales, adopción e implementación de medidas de adaptación y mitigación, registro de inventario de emisiones; compromisos adquiridos y medidas y acciones de mitigación cuantificables y verificables; creación de mecanismos para acceder a financiamiento internacional para acciones a escala local; establecimiento de la secretaría del Pacto; promoción del involucramiento de la sociedad civil en la lucha contra el cambio climático; búsqueda de alianzas con instituciones multilaterales y gobiernos nacionales así como entre ciudades, y la amplia propagación del mensaje del Pacto.

⁵ Entre ellas, Chihuahua, Cuatro Ciénegas, Ciudad de México, Puebla (municipio), Naucalpan, San Cristóbal de las Casas, Sierra Mojada, Tecalitlán, Tlaxcopec de Benito Juárez y Villa de Zaachila.

⁶ Las siglas "PACMUN" refieren únicamente a los planes desarrollados bajo la asesoría de ICLEI-México / Embajada Británica, quienes aseguran tener el registro de uso de tales siglas. Otros planes de acción local emplean distintas siglas, por ejemplo, el Programa Municipal Ante el Cambio Climático de Tuxtla Gutiérrez (PROMACC) o el Plan de Acción Ante el Cambio Climático para La Paz y sus zonas colindantes (PACC-LAP).



Del total de los planes de acción climática locales elaborados a enero de 2015, doce corresponden a municipios que conforman la única ciudad y zona metropolitana (ZM) mayor a 5 millones de habitantes, la Ciudad de México y la ZMVM respectivamente; tres corresponden a ciudades de más de un millón y menos de 5 millones de habitantes -de un total de diez ciudades a nivel nacional con este rango de población-, a los que se suman dos municipios pertenecientes a alguna de sus zonas metropolitanas; otros nueve, son de ciudades de entre 500 mil y menos de un millón de habitantes -de un total de 22 ciudades a nivel nacional-, a los que se suman tres municipios adicionales correspondientes a alguna ZM; siete a ciudades de entre 100 mil y 500 mil habitantes -de un total de 65 ciudades del país-, a los que se suman dos municipios metropolitanos; uno en el rango de 50 mil y menos de 100 mil habitantes -de un total de 40 a nivel nacional-. Los restantes 20 planes de acción local, identificados, corresponden a asentamientos urbanos con menos de 50 mil habitantes pero más de 15 mil habitantes. Aquellos con menos de 15 mil habitantes son considerados asentamientos rurales.

Debe precisarse que debido a la ausencia de lineamientos mínimos obligatorios para la elaboración de planes de acción climática locales, se presentan un conjunto de inconsistencias compartidas por la mayoría de ellos, éstas se ubican en aspectos como: el uso de datos de diferentes años para conformar sus inventarios; la falta de contabilidad de sectores completos; la omisión de indicadores medibles y verificables; la débil sistematización e integración de las acciones propuestas; la falta o muy baja coordinación de los planes climáticos con otras acciones con impacto en la adaptación o mitigación del cambio climático; la priorización de medidas con resultados de corto plazo y el consecuente descuido de aquellas de mediano y largo plazo que no podrán ser capitalizadas del todo por los gobiernos en turno; la nula o débil coordinación con los Programas Estatales de Cambio Climático (cuando éstos existen). Asimismo, algunos planes no contemplan fechas y presupuesto definido, mientras que otros no hacen estimaciones de la mitigación que se espera lograr con las medidas propuestas (Delgado et ál., 2015).

Y si bien, poco más de la mitad considera al menos discursivamente aspectos de ordenamiento o uso de suelo, ninguno logra ser lo suficientemente claro o sólido, dígase en términos de las acciones concretas a implementar, la efectividad de su implementación, y su impacto en la mitigación (y adaptación), menos aún en identificar la planeación territorial como eje articulador de la política sectorial y climática local.

5.1 El caso de la Ciudad de México

El Distrito Federal (D.F.) emitió 30.72 millones de toneladas de CO₂-eq en el 2012, esto es alrededor del 5 % de las emisiones nacionales -siendo el 80 % de los GEI derivados del consumo de energía fósil y electricidad, donde el sector transporte representa la principal fuente de dicho consumo-⁷. Un 14 % de GEI corresponde a la generación de desechos, un 4 % a procesos industriales y usos de productos, y un 2 % a la Agricultura, Silvicultura y otros usos del Suelo (identificados también como AFOLU), (SEDEMA, 2014a y 2014b). En el caso de la zona metropolitana se emitieron 54.7 millones de toneladas de CO₂-eq, en el año 2010.

Durante la implementación del PACCM 2008-2012, se mitigaron 5.8 millones de toneladas de CO₂-eq, lo cual representa el 4.5 % acumulado con respecto a su línea de tendencia⁸ (y alrededor del 2.75 % acumulado de la ZMVM), lo que supone, que "neutralizó el aumento de emisiones esperado" (SEDEMA, 2014b: 93). Tales reducciones representan el 80 % del nivel de mitigación estimado por el informe final del Gobierno del Distrito Federal. Del año 2012, y, el 86 % de la meta originalmente planteada (*Ibid*, p. 43). Vale precisar que en el periodo se redujo el parque vehicular en 7.3 %, lo que indudablemente redujo las emisiones directas de la línea base (*Ibid*).

⁷ En 2012 el consumo de energía por parte del sector transporte representó el 37 %, el de energía eléctrica 31% (unos 14 millones de Mwh o el 7 % de la energía eléctrica consumida en el país), el residencial y comercial de gas LP y gas natural 8 %, y el del sector manufactura 4% (SEDEMA, 2014b: 55). La suma de combustibles asciende a 161 PJ.

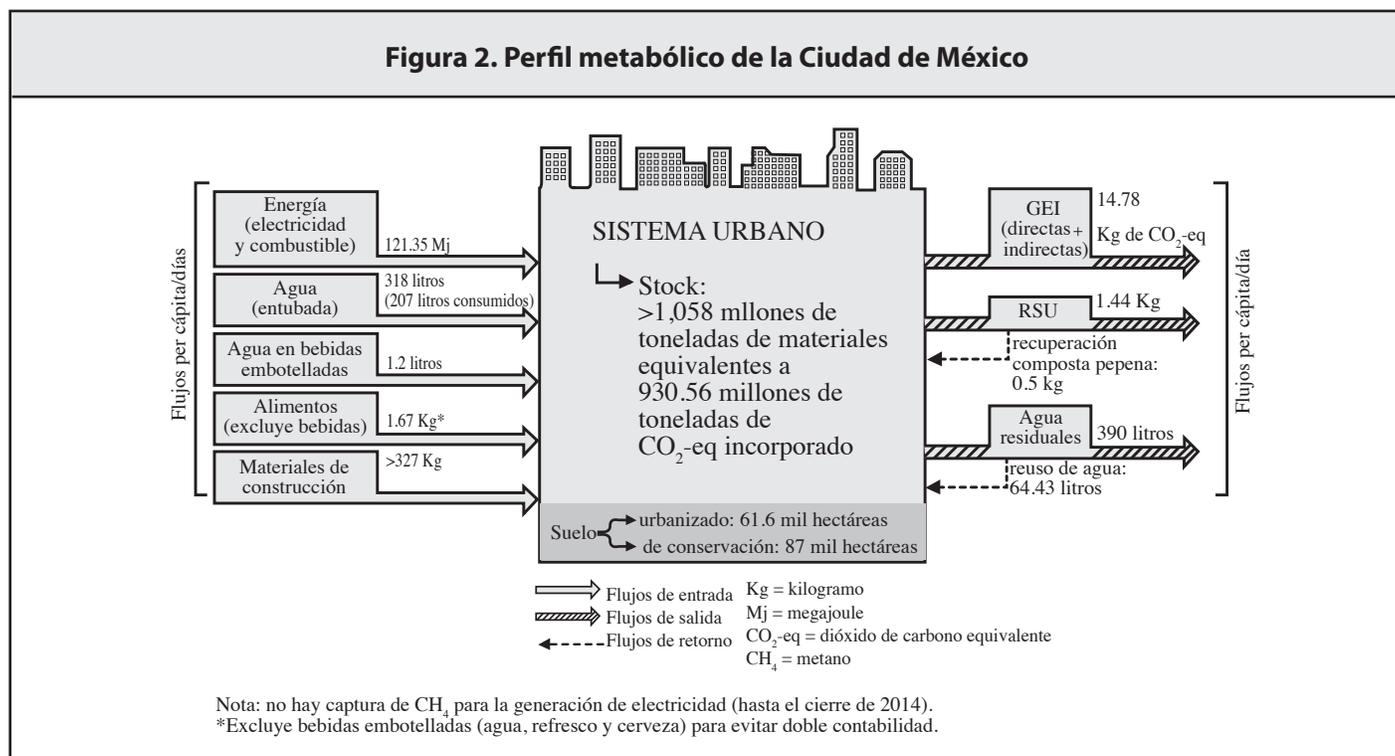
⁸ La línea base del PACCM 2008-2012 fue elaborada con base en los inventarios de emisiones de GEI de la Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal, complementados con las emisiones generadas en el "Bordo Poniente IV etapa", dado que los residuos fueron generados en el Distrito Federal. También se sumaron las emisiones de la producción de energía eléctrica consumida por el D.F. La tendencia calculada pasa de 35.5 Mt de CO₂-eq en 2008 a 37.1 Mt de CO₂-eq en 2012, (SEDEMA, 2014b: 43). En tal sentido, las emisiones totales para esos 4 años ronda los 129 millones de toneladas.

Los escenarios a 2020 estiman que el D.F. emitirá unos 34.5 millones de toneladas de CO₂-eq, y para el 2025, unos 37 millones de toneladas de CO₂-eq. El PACCM 2014-2020 se fija una reducción de 8 millones de toneladas de CO₂-eq, y hasta de 2 millones de toneladas de CO₂-eq adicionales por “mitigación indirecta”, argumentando así, que logrará “desacoplar en gran medida la intensidad de carbono.” (SEDEMA, 2014b: 93). Tal supuesto debe revisarse con cuidado, pues en términos reales no sólo los ahorros se acumulan (de entre el 4 % y el 5 % de un total de 196.5 millones de toneladas de CO₂-eq, que se estima se emitirán de modo acumulado), sino también, las emisiones que suben 5.5 % (si se considera una media anual al 2020 de 32.75 millones de toneladas de CO₂-eq): De ahí que se pueda sostener, con base en un análisis de los propios datos del PACCM, que la reducción absoluta de las emisiones se mantiene prácticamente en cero, para el periodo 2014-2020. Pese a lo dicho, el PACCM 2014 - 2020 prefiere ver la mitigación directa e indirecta como el 32 % de las emisiones del 2012 (SEDEMA, 2014b, p. 93)⁹. Si bien la mitigación propuesta es sin duda un avance, esta no logra neutralizar el aumento de emisiones proyectadas, pues se queda corta en cuando menos un millón de toneladas de CO₂-eq, si es que el monto de la mitigación indirecta se logra (Delgado, 2015a). En ese sentido, “...la disminución real de emisiones absolutas sigue siendo inexistente, es más, en realidad se agrava pues en los cálculos del PACCM, el año 2013 no aparece en ningún momento en tanto que fue un año *sandwich* -entre un PACCM y otro- porque no se contabilizó. Si así se hiciera, “las reducciones acumuladas de 2013 a 2020 serían de 3.5 %, en un contexto de aumento de emisiones acumuladas de 5.5 % (asumiendo la misma media de 32.75 millones de toneladas de CO₂-eq al año)” (Ibid).

A lo anterior, súmese los datos correspondientes a las emisiones de carbono negro, producto de la combustión incompleta y que ya es considerado tanto en los inventarios de GEI del D.F., como en el nuevo PACCM 2014 - 2020. En el Distrito Federal las emisiones de 2012, de carbono negro, ascendieron a unas 1,200 toneladas, siendo el consumo de combustibles fósiles por el sector transporte el mayor contribuyente con el 97 % de las emisiones, rubro en el que los vehículos a diésel son los que generaron el 84 %; los emisores restantes, fueron la combustión residencial de leña, gas o carbón y los incendios forestales (SEDEMA, 2014b, p. 57 y 94). La meta del PACCM 2014 - 2020, es reducir 630 toneladas acumuladas de carbono negro en un escenario en el que las emisiones aumentarán a 1,370 y 1,570 toneladas para el 2020 y 2025, respectivamente (SEDEMA, 2014b, p. 94). Con base en los datos del PACCM, es claro que la mitigación real al 2020 será del 8.2 % del carbono negro emitido en términos acumulados, en un escenario de aumento acumulado de emisiones de alrededor del 7.5 % (con base en una media de emisiones anuales para el periodo de 1,285 toneladas); ello fundamentalmente, gracias a la restricción vehicular para el transporte de carga en el D.F. que el PACCM plantea (Delgado, 2015a).

⁹ Cabe señalar que estrictamente hablando no hay consistencia en los datos del PACCM y la eLAC (plan de acción para América Latina y el Caribe) pues en esta última se habla de 30 % de las emisiones (SEDEMA, 2014a, p. 12).

Emisiones desde una mirada propia del metabolismo urbano



Fuente: (Delgado, 2015a) Diseño gráfico: Ángeles Alegre Schettino

En México, los flujos de energía y materiales hasta ahora han sido únicamente estimados para el caso de la Ciudad de México y la ZMVM; su valoración no considera los flujos cerrados de materiales (es decir, es de modelo metabólico lineal) y deviene del minado de datos a escala local, con excepción del flujo de alimentos que responde a una estimación de arriba hacia abajo o escalada de cálculos a nivel nacional (Delgado, 2013). Los datos en cuestión se presentan en la Figura 2.

El perfil metabólico de la Ciudad de México se inserta en aquel propio de la ZMVM, mismo que ha aumentado a la par del crecimiento tanto del área urbanizada y la población, como de los patrones de consumo de esta última. Por ejemplo, el consumo energético ha aumentado de manera considerable al pasar de 435 PJ en 1990 a 571 PJ en 1994; 561 PJ en 1999; 549 PJ en el 2002; 543 PJ en 2004; 576 PJ en 2008; 527 PJ en 2010 a los que se sumaban 179 PJ de electricidad producida fuera de la ZMVM, que no había sido reflejada en los inventarios anteriores; y 554 PJ en 2012, más la electricidad que se haya demandado (SMA DF, 2012a y SEDEMA, 2013)¹⁰.

Las emisiones indirectas derivadas de la renovación del stock de la Ciudad de México han sido estimadas en un primer cálculo (Delgado, 2013), demostrando su relevancia en tanto que la contabilidad meramente de flujos directos es limitada, una cuestión que tiene implicaciones importantes en la valoración de las acciones de mitigación hasta ahora implementadas; tan sólo la renovación anual del 1 % de la infraestructura de la ciudad, es al menos equivalente al 30 % de las emisiones directas, sólo en el año 2012; es decir, 60 % más que lo mitigado por la Ciudad de México en el periodo 2008 – 2012 (Delgado, 2015b). A ello se suman las emisiones indirectas de los flujos de alimentos y de bebidas, que se han estimado en torno al 25 % de las emisiones directas

¹⁰ En 1990 la ZMVM tenía una población de 14.9 millones de habitantes y un stock vehicular de 2.5 millones de vehículos al que se suman 196 mil camiones de gasolina distribuidores de mercancía y 60 mil de carga y de pasajeros de rutas foráneas. El stock vehicular representaba el 76 % de todas las emisiones contaminantes emitidas (SEMARNAP, 1990). Hoy día la ZMVM suma 22 millones de habitantes y un stock vehicular de unos 5 millones de vehículos. El stock vehicular fue responsable del 58.8 % de las emisiones contaminantes (SEDEMA, 2013).

de la ciudad correspondientes también a 2012 (Ibid). En resumen, las emisiones de la Ciudad de México están infravaloradas, pues la contabilidad convencional de emisiones, la de casos de estudio y la de la ciudad en general, no considera las emisiones directas indicadas.

El potencial de planeación hacia líneas metabólicas más sustentables en el futuro -o al menos menores en términos per cápita, que se esperan- no es todavía algo real en las acciones de política pública, aun cuando discursivamente ya se indican en el caso de la Ciudad de México (Delgado, 2015b). Esto es algo que ciertamente tendrá que explorarse si se busca expandir el potencial urbano de mitigación, ello por medio de múltiples medidas a nivel sectorial y/o integrativas que busquen aumentar la eficiencia en general, el reciclaje y reuso de materiales y la captura de metano para la generación de energía (cierre de flujos). Su impacto en términos ambientales y climáticos no ha sido hasta ahora estimado más allá de ciertas medidas, como por ejemplo, la captura de metano de rellenos sanitarios la cual a nivel nacional se calculaba, en el 2000, en más de 40 millones de toneladas de CO₂-eq (Arvizu y Huacuz, 2003).

Debe subrayarse que la captura de metano de los rellenos sanitarios no es una medida que se haya implementado en la Ciudad de México, ni después de la clausura del tiradero de Prados de la Montaña en Santa Fé, en 2004; ni en el Bordo Poniente que fue clausurado a fines de 2011 y que hasta finalizando el 2014 no había proyecto alguno en desarrollo. Ello a pesar del exitoso caso de Bioenergía de Nuevo León S.A. de C.V. - BENLESA, en Monterrey, que supondrá la mitigación de 4 millones de toneladas de CO₂-eq y la producción de 130 millones de Kw (Pino, 2013).

En este contexto, cabe precisar que según un estudio del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) y la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), de los 141 proyectos del Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) en el país, 109 correspondían al sector residuos sólidos desde sitios de disposición final (emanados más de las dinámicas urbanas), granjas porcícolas y establos de ganado vacuno. Sin embargo, sólo 17 proyectos de residuos sólidos implicaban reducción de emisiones de 2.15 millones de toneladas por año, de un total mitigado de 4.6 millones de toneladas de CO₂-eq al año (INECC-SEMARNAT, 2012, p. 120).

Si a los esfuerzos de captura de metano se sumaran acciones de reciclaje multi-temporal, el potencial de mitigación total para la Ciudad de México sería de entre 3.32 y 1.7 millones de toneladas de CO₂-eq, al 2025 (teniendo como línea base el 2010) esto sólo para el papel, plástico, aluminio, acero, vidrio y la biomasa; además de 1.7 a 0.59 millones de toneladas de CO₂-eq por el reciclaje de materiales de construcción, para el mismo periodo (Delgado, 2014).

6. Financiamiento de la mitigación a escala urbana

A las líneas de financiamiento internacional tradicionales, incluyendo aquellas de parte de organismos internacionales y cooperación internacional para, entre otras cosas, modernizar infraestructura diversa (que supone ser más eficiente y por tanto ayuda en la mitigación de emisiones GEI), se suman líneas específicas en materia de cambio climático a escala local. Por ejemplo, muchos planes de acción climática local han sido desarrollados con el apoyo de ICLEI y el financiamiento de la Embajada Británica en México. También se puede hacer mención de la iniciativa del Banco Interamericano de Desarrollo (BID) sobre "Ciudades Emergentes y Sostenibles", un programa de asistencia técnica que busca ayudar a ciudades intermedias de América Latina y el Caribe en la identificación, priorización y estructuración de proyectos para mejorar su sostenibilidad ambiental, urbana y fiscal. Participan de México las ciudades de Campeche, La Paz y Xalapa.

Asimismo, existen mercados o fuentes de financiamiento específicas asociadas al cambio climático como la venta de certificados de reducción de emisiones o las Medidas de Mitigación Apropriadas (NAMA), ambos casos, pueden operar a escala urbana. Por ejemplo, con relación al primer caso se puede mencionar el acuerdo ERPA (Emission Reduction Purchase Agreement), firmado entre el Gobierno de la Ciudad de México y el Fondo Español del Carbono, en octubre de 2005, con la idea de vender bonos de carbono de la Línea 1 del Metrobús (sistema de autobuses de tránsito rápido, BRT por sus siglas en inglés), a un plazo de 7 años y renovable a 21 años máximo. El sistema Metrobús, se logró expandir de 20 a 105 km de carril confinado, transportando al cierre de 2013, más de mil millones de pasajeros, y mitigando con 4 líneas existentes, unas 122 mil toneladas de CO₂-eq al año



(www.metrobus.df.gob.mx/docs/prontuario.pdf). Por los bonos vendidos en el marco del ERPA, se recibieron entre 2006 y 2011, alrededor de 13.6 millones de pesos. Cabe señalar que otros casos de sistemas BRT, también se han emplazado en diversas ciudades del país, tales como: el Macrobús de Guadalajara, el Optibús de León o el Mexibús del Estado de México.

En cuanto al segundo caso, cabe mencionar que, México fue el primer país en presentar una NAMA para financiar EcoCasa, y que recibe financiamiento nacional e internacional (del BID, proyecto ME-T1202) para promover el mercado de vivienda sustentable, por medio de la dotación de recursos a la Sociedad Hipotecaria Federal; se trata de un proyecto cuyo antecedente es el programa Hipoteca Verde que, de 2010 a 2011, registró 113 mil hipotecas (52 % con subsidio) y reducciones de GEI por 3.8 millones de toneladas de CO₂ (Martín et ál., 2013).

A los ejercicios anteriores, se suma el de la canalización de presupuesto de los tres órdenes de gobierno, que aterrizan en acciones concretas en asentamientos urbanos, entre otras medidas fiscales, como son los subsidios o gastos deducibles, pero además, en mecanismos específicos para su gestión. En este último caso, al cierre de 2014, sólo se identificó el Fondo Ambiental para el Cambio Climático impulsado por el 2.º Plan de Acción Climática de la Ciudad de México, pues en el primero no existían mecanismos formales específicos de financiamiento, por lo que las dependencias tradicionalmente responsables de ejercer el presupuesto local incluyeron ciertos criterios climáticos como parte de su gasto, posibilitando así, concretar en cierta medida, algunas acciones de adaptación. El Fondo forma parte del Fondo Ambiental Público mediante una subcuenta especial, y supone, consolidar recursos asignados anualmente del presupuesto de egresos del DF; así como contribuciones de proyectos MDL, donaciones, transacciones de Reducciones Certificadas de Emisiones conforme al comercio de emisiones y otros recursos, incluyendo deuda convencional (SEDEMA, 2014a).

Finalmente, cabe mencionar que la introducción de medidas fiscales o impositivas a escala local que desincentiven ciertos comportamientos y/o promuevan la toma de medidas de los actores económicos para adoptar tecnologías de bajo carbono, entre otras cosas puede hacerse mediante la innovadora adopción de mecanismos de captura de valor del suelo (vía el predial), para la mejora o expansión planificada de la infraestructura de bajo carbono, pero también con el transporte. Igualmente, y derivado de lo anterior, se pueden generar recursos que pueden ser destinados a la adaptación y mitigación del clima, incluso en los mismos ámbitos sectoriales donde han sido generados. Ejemplo de ello, es la gestión de los espacios para estacionarse en la vía pública y la introducción de su cobro (parquímetros), lo que genera recursos importantes que pueden (e idealmente deberían) destinarse a la mejora de la movilidad pública y la movilidad no-motorizada, de tal suerte, que un medio de transporte contaminante financie parcialmente otras modalidades más eficientes y bajas en carbono.

7. Sustentabilidad, co-beneficios y compensaciones y derrames

El cambio climático está íntimamente vinculado a la cuestión ambiental. De hecho múltiples acciones ambientales tienen efectos en la adaptación y/o mitigación de impactos derivados de las variaciones del clima y eventos hidrometeorológicos extremos, y viceversa. Si los efectos son positivos se reconocen como co-beneficios, a diferencias de que cuando son adversos se trata de riesgos. El Cuadro 1, retomado del AR5, resume algunos de los principales cruces derivados de las acciones de mitigación, a las cuales habría que sumar los cruces de adaptación, como son los co-beneficios sociales y a la salud, esto si se preservan las funciones ecológicas de los suelos, áreas de conservación y barrancas urbanas, fundamentales todas, por ejemplo, para fijar CO₂ (acción de mitigación) y evitar la erosión del suelo (que puede derivar en contaminación por partículas suspendidas y en deslaves); pero sobre todo, para infiltrar el agua de lluvia y por tanto aumentar la resiliencia urbana frente a lluvias extremas.

Cuadro 1. Potenciales co-beneficios y efectos secundarios adversos de la implementación de medidas de mitigación urbana

Medidas de mitigación	Efecto en objetivos o cuestiones adicionales		
	Económicos	Sociales (incluyendo salud)	Medioambientales
Desarrollo compacto e infraestructura	↑ Innovación y productividad ↑↑ Aumento en las rentas y del valor de las propiedades residenciales ↑ Eficiencia en el uso y entrega de recursos.	↑ Mejora de la salud por aumento en la actividad física.	↑ Preservación de espacios abiertos
Aumento en la accesibilidad	↑ Ahorros en desplazamientos diarios ↑↑ Aumento en las rentas y del valor de las propiedades residenciales	↑ Mejora de la salud por aumento en la actividad física. Interacción social y salud mental	↑ Calidad del aire y reducción de los impactos a ecosistemas y a la salud.
Uso mixto del suelo	↑ Ahorros en desplazamientos diarios ↑↑ Aumento en las rentas y del valor de las propiedades residenciales	↑ Mejora de la salud por aumento en la actividad física. Interacción social y salud mental	↑ Calidad del aire y reducción de los impactos a ecosistemas y a la salud.
↑ potenciales co-beneficios ↑ efectos secundarios adversos			

Fuente: (Seto et ál., 2014)

A continuación se presentan, con base en la experiencia mexicana, dos ejes de acción relevantes a escala urbana que derivan en co-beneficios: la mitigación del efecto isla de calor y de la mejora de la calidad del aire.

7.1 Co-beneficios y sinergias de la mitigación del efecto isla de calor

De acuerdo con el IPCC, el efecto isla de calor es el incremento en la temperatura de una ciudad comparado con zonas rurales circundantes, asociado con cambios en la escorrentía, efectos en la retención de calor, y cambios en la superficie de albedo (Allwood et ál., 2014). La isla de calor se genera a partir de la pérdida de la cubierta vegetal, el agotamiento de los mantos freáticos, el crecimiento de la población, la expansión de la mancha urbana así como la contaminación atmosférica (Morales et ál., 2007). En las ciudades la superficie está cubierta de materiales más densos, impermeables y con capacidad y conductividad térmica mayor a la cubierta natural, y dicho calor encuentra dificultades para disiparse (Jáuregui et ál., 2008).

El efecto isla de calor contribuye con el aumento del uso de energía para el enfriamiento de edificios. Además, las islas de calor pueden modificar el tiempo atmosférico incidiendo en tormentas, nevadas, regímenes de viento, calidad del aire, y otros parámetros (Morales et ál., 2007). Otra manifestación es que las ciudades son más secas, debido a la disminución de la humedad causada por la escasez de vegetación y de cuerpos de agua, además de que el aumento de temperatura permite la disminución de la humedad atmosférica (Morales et ál., 2007, p.310). Así, entre más grande sea una ciudad y su respectiva población, mayor será la diferencia en la temperatura; proceso que se agudiza conforme el propio cambio climático lo hace.



El efecto de la isla de calor puede repercutir negativamente en la salud de los habitantes. Una razón es el incremento en la temperatura, sobre todo cuando es mayor a los 32 °C (Seto et ál., 2014). Las ondas de calor provocan deshidratación, pérdida de peso, agotamiento físico, aumento de radiación UV, afectación de vías respiratorias, problemas renales, y una serie de afectaciones psicológicas (Oswald, 2014; Jáuregui et ál., 2008). Tales incrementos en la temperaturas, son preocupantes dadas las inadecuadas condiciones de muchas viviendas de grupos sociales de bajos ingresos en México, así como por el deficiente acceso al agua (Jáuregui, 2009; Sánchez, 2010). Cabe precisar, que los impactos que puedan tener las altas temperaturas en la salud no son homogéneos, sino que varían de acuerdo con el género, la edad, la clase social, entre otras cuestiones (Oswald, 2014).

En México, el estudio de las ciudades más pobladas ha arrojado evidencia de un incremento en la temperatura con respecto a las zonas rurales aledañas. El caso más estudiado es el de la ZMVM, donde la temperatura durante el siglo XX registró un aumento de 6 °C - 8 °C, como consecuencia del crecimiento de la urbanización y los consecuentes cambios del uso del suelo (SEMARNAT, 2011). Las olas de calor¹¹ en la Ciudad de México, aumentaron de 6 en la década de 1950 a 16 en la década de 1990. De igual forma, las tendencias en las precipitaciones en la Ciudad de México muestran un claro patrón de cambio que indica una variación en la ubicación y momento de estos eventos, así como el promedio general de lluvia (Baumgardner y Raga, 2010).

En Toluca, se han observado modificaciones en la temperatura, precipitación, humedad relativa, y en el comportamiento de los vientos y la diferencia térmica entre la periferia y el centro, éstas son ya de 3 °C durante el día, y 1.5 °C por la noche en el invierno y de 2 °C en el verano (Morales et ál., 2007). En Mexicali, el verano con el paso del tiempo se ha hecho más caliente y más extenso, y se tienen 2.5 veces más ondas de calor que en la década de 1971-1980 (Jáuregui et ál., 2008). En el Puerto de Veracruz también se han incrementado las olas de calor: en la década de 1931 - 1940 se registraron 15 ondas de calor, mientras que para la década de 1991 - 2000 hubieron 108 (Ibid). En Aguascalientes, las ondas de calor aumentaron de 11 en el periodo de 1980 - 1987, a 23 para 2004 - 2012 (Gobierno de Aguascalientes, 2013).

El escenario futuro tampoco es alentador pues de acuerdo con Jáuregui et ál., (2008), la isla de calor máxima para las ciudades de más de un millón de habitantes en 2030 será de: 6.5 °C para la Ciudad de México; 5.1 °C para Monterrey; 5.1 °C para Guadalajara; 4.2 °C para Ciudad Juárez; 4.7 °C para Puebla; 4.3 °C para Toluca; 4 °C para Torreón; 4.3 °C para Tijuana; y 4.2 °C para León.

Frente a este problema, se reconoce que sembrar, y mantener árboles y vegetación dentro de la propia ciudad, espacios abiertos para la circulación de corrientes de aire, y el uso de materiales reflejantes o que absorban menos la radiación solar y por tanto aumente en el efecto albedo, son algunas medidas que permiten disminuir el efecto isla de calor, lo que a su vez puede traer consigo co-beneficios en la mitigación y adaptación al cambio climático. Por ejemplo, los árboles plantados junto a casas y edificios enfrían el interior de éstos y así se reduce la demanda de energía para aire acondicionado, ayudan también a mitigar la contaminación del aire, y además tienen otros servicios como amortiguar el ruido (Seto et ál., 2014). De modo similar, promover modalidades de transporte público limpio ayuda a reducir el tamaño y número de lotes de estacionamiento de automóviles cuya pavimentación alimenta el efecto de la isla de calor (Environmental Protection Agency-EPA, 2008). Otra propuesta son las "azoteas verdes", ya que pueden mitigar las islas urbanas de calor mientras aumentan la eficiencia de energía (EPA, 2008). El potencial de mitigación de esta acción y en general de aumentar el efecto albedo en azoteas y caminos pavimentados -por ejemplo, usando materiales de color claro- ha sido estimado en 44 Gt de CO₂-eq a nivel mundial (Akbari et ál., en: Seto et ál., 2014).

Otra propuesta de adaptación y mitigación del cambio climático y de reducción del efecto de la isla de calor se encuentra en el Programa de Acción Climática de la Ciudad de México, el cual apuesta proteger las barrancas urbanas en tanto que contribuyen en la mitigación del cambio climático al capturar dióxido de carbono de la atmósfera al tiempo que se reduce el efecto de la isla de calor (SEDEMA, 2014b). De manera similar el incremento del índice de la superficie vegetal por habitante a partir del manejo de áreas verdes, reforestación y "naturación urbana" (además del uso de ecotécnicas y la reducción de la tala forestal entre

¹¹ Jáuregui lo define como el periodo de tres días consecutivos con temperaturas mayores a los 30 °C en la Ciudad de México y una temperatura promedio de 24 °C (2009).

otros), tanto en la Zona Metropolitana del Valle de México como en la Zona Metropolitana de León, se considera como una medida específica dentro de los programas locales de mejora de la calidad del aire (ProAire) que contribuye a evitar las islas de calor así como a limitar, tanto la generación de O_3 derivado de la presencia de sus precursores, como la re-suspensión de partículas causadas por la erosión del suelo (SEMARNAT, 2011; Instituto de Ecología del Estado de Guanajuato, 2013). La mitigación de tal medida es obvia y su potencial ha sido calculado por un estudio realizado para la colonia Escandón en la Ciudad de México, el cual corrobora la importancia de la cobertura verde urbana pues, para ese caso, ésta captura 1.4 % del total de CO_2 -eq emitido en esa colonia, después de descontar las emisiones derivadas de la respiración de las plantas y del suelo (Velasco et ál., 2014).

Pueden, sin embargo, presentarse escenarios en los que reducir el efecto de la isla de calor está en conflicto con otras estrategias clave de mitigación, como lo es la expansión de la cobertura verde versus el aumento de la densidad para crear ciudades más compactas (Seto et ál., 2014), por ello, las opciones deben ser bien valoradas para cada caso.

7.2 Calidad del Aire y co-beneficios: los ProAire

Los Programas de Gestión para Mejorar la Calidad del Aire (ProAire) se han constituido como una herramienta importante para revertir las tendencias de deterioro de la calidad del aire en las primordiales ciudades o zonas metropolitanas del país a partir de la reducción de emisiones de las principales fuentes de contaminación, así como de la prevención de futuras contingencias que puedan provocar cualquier deterioro ambiental y/o de salud a la población.

Pese a que las investigaciones sobre la contaminación ambiental de la Ciudad de México datan oficialmente de 1966, los antecedentes del programa radican en la creación, en 1978, de la Comisión Intersecretarial de Saneamiento Ambiental desde la cual se propuso y aprobó el Programa Coordinado para Mejorar la Calidad del Aire en el Valle de México 1979 - 1982. A este último le siguió el Programa de Contingencias Ambientales Atmosféricas diseñado en 1985 por la Comisión Nacional de Ecología ante el grave problema de la calidad del aire de la ZMVM. Para ese entonces, la ZMVM ya era calificada como el asentamiento más contaminado del planeta (SMA-DF, 2012b). Derivado de ello, en 1986 comenzó operaciones la Red Automática de Monitoreo Atmosférico y en 1990 se implementó el "Programa Integral contra la Contaminación Atmosférica de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México", propiamente el primer ProAire. Entre las medidas tomadas estaban la mejora de los combustibles, la introducción de convertidores catalíticos, la continuidad del programa Hoy No Circula y la verificación vehicular asociada (implementados en 1989), la modernización de flota de camiones de pasajeros, la reforestación urbana, entre otras. En 1992, acompañando dicha iniciativa, se conformó la Comisión Ambiental Metropolitana para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental en el Valle de México. Como resultado de tales acciones, se logró para 1995 controlar emisiones de plomo, SO_2 y CO , sobre todo a partir de la mejora de la calidad de los combustibles (gasolina y diésel bajos en plomo y azufre, respectivamente), no así las de PM_{10} y de O_3 cuya concentración sobrepasaba la norma el 90 % del año (Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca-SEMARNAP, 1996: 10).

La implementación del programa en el Valle de México, sus respectivos inventarios de emisiones de contaminantes atmosféricos y la generación de un índice Metropolitano de la Calidad del Aire (IMECA) que pondera y transforma las concentraciones diarias de un conjunto de contaminantes a un número adimensional, se han mantenido desde entonces, aunque con cambios en los contaminantes contemplados y ajustes en los umbrales de activación de medidas pre-contingentes y contingentes, éstas últimas clasificadas en Fase I y Fase II.

La segunda edición de ProAire cubrió de 1995 al 2000, la tercera del 2002 al 2010 y, la actual que va del 2011 al 2020. Los avances son sustanciales y han derivado en que la Fase II no se activa desde el 30 de diciembre de 1992, mientras que la Fase I desde el 1 de enero de 2005 (SMA-DF, 2012b). No obstante, si bien se han logrado claros avances (fundamentalmente en diseño de política, implementación de programas y elaboración de inventarios), la calidad del aire sigue siendo, por lo general, mala, sobre todo porque todos los contaminantes atmosféricos han aumentado, con excepción de las partículas suspendidas, SO_2 y CO , y las PM_{10} siguen siendo un potencial problema. Según datos de 2011, la ZMVM tuvo sólo 124 días con calidad del aire favorable (buena y regular), esto afectó a 6.8 millones de personas que habitaban en áreas de la ZMVM donde se excedían más de 100



horas el valor de 110 ppb para el O₃ (87 % de ellas en la Ciudad de México), y a otras 13.3 millones que vivían en áreas donde la concentración anual de PM₁₀ excedía los 50 µg/m³ (57 % en el Estado de México) (SMA-DF, 2012b).

Experiencias similares de atención a la contaminación atmosférica se han implementado desde finales de la década de 1990 para diversos asentamientos urbanos del país, especialmente zonas metropolitanas y corredores industriales. Los 11 ProAire vigentes totalizan 40.7 millones de habitantes o el 46.5 % de la población urbana de 2010; los más relevantes, por sus dimensiones, son el de la ZMVM y el de la Zona Metropolitana de Guadalajara con 4.4 millones de habitantes.

Es de señalarse que aunque no aparece como vigente, el Área Metropolitana de Monterrey, sí ha tenido ProAire en dos ocasiones, de 2009 al 2012 y de 2008 al 2011. Se trata del tercer asentamiento urbano más importante del país después de la Zona Metropolitana de Guadalajara, conformado por 14 municipios, con 4.1 millones de habitantes o el 88 % de la población estatal y 1.77 millones de vehículos. Y es que ya en la década de 1990 -y con sólo 10 municipios- se rebasaban frecuentemente las normas de calidad del aire por PM₁₀ y O₃, derivado de una carga de 1.9 millones de toneladas de contaminantes, el 42.2 % del particulado suspendido es proveniente de actividades extractivas de material pétreo, y el 47 % del CO, por la quema de combustibles en vehículos automotores (SEMARNAT, 2012: 7). Tal problema se buscó atender con el ProAire 1997 - 2000, el cual se vio rebasado por el crecimiento de la ciudad, el del consumo de combustible y el de la flota vehicular. Para 2005, las fuentes móviles contribuían con el 97 % de las emisiones de CO; 48 % de NO_x y 47 % de COV, mientras que las fuentes fijas aportaban el 88 % del total de partículas suspendidas y el 98 % del SO₂ (el grueso provenientes de la industria química, petroquímica y de la generación de electricidad) (Ibid). Así, después de registrar una tendencia a la alza en las concentraciones diarias de PM₁₀ del 2000 al 2007, y una concentración de O₃ por arriba de la norma nacional (el límite máximo anual se mantuvo en el rango de 0.0816 ppm a 0.094 ppm), se estableció el segundo programa, el de 2008 - 2012 con seis estrategias, 28 medidas y 131 acciones -de las cuales se cumplieron 29.2 %- (Ibid). Como resultado, se disminuyeron ligeramente las concentraciones de O₃, CO y NO₂ y se estabilizaron las de PM₁₀ y SO₂, hasta el 2011 cuando volvieron a repuntar -en el caso del SO₂, por encima del año base de 2006-. Desde su cierre, como se dijo, no hay programa vigente, lo que permite reconocer la ventana de oportunidad para simultáneamente mitigar el cambio climático y atender el problema de la calidad del aire.

Conclusiones

A manera de conclusiones como resultado del análisis efectuado, se describen en forma breve los vacíos que existen sobre conocimientos y datos del tema, también se proponen algunas recomendaciones de políticas públicas a desarrollar para subsanar la falta de información y para la mitigación urbana.

a) Vacíos de conocimiento y de datos

- Inconsistencias y/o ausencias en las bases de datos en diversas escalas de gobierno correspondientes al ámbito local, y en particular el urbano. Probablemente derivada, entre otras cuestiones, de la escasa integración regulatoria y de programas de acción en los diferentes niveles y dependencias de gobierno.
- Muy baja generación de datos relativos a los inventarios de emisiones y de acciones de mitigación, a escala municipal y urbana.
- Mínima transparencia y escasa comunicación de entes de gobierno, en relación a las acciones implementadas y el presupuesto asignado hasta la escala municipal, tanto en el sector urbano como rural.
- Existencia de poca literatura científica referente al potencial y seguimiento de las acciones de mitigación a escala urbana en México.
- Falta de métricas novedosas relativas a emisiones indirectas a escala urbana en México, así como de líneas base y escenarios a futuro de perfiles metabólicos urbanos.

b) Recomendaciones de política pública

- Impulsar la investigación en adaptación y mitigación urbana, a través de fondos específicos dirigidos a grupos o redes de trabajos. Hacer especial énfasis a áreas de conocimiento que están débiles o ausentes.
- Transparentar e incrementar la accesibilidad a documentos e información pública, sin desfases temporales. Ello, idealmente podría conformar una base de datos nacional de acceso libre sobre regulación, acciones y avances de adaptación y mitigación urbana en México.
- Establecer lineamientos mínimos obligatorios en la elaboración de los planes de acción climática locales, a la par de indicadores mínimos de seguimiento que sean verificables.
- Integrar la agenda de mitigación con las agendas sectoriales, por medio de la planeación territorial como medio articulador concreto; ello además de la integración de las agendas de adaptación y mitigación a escala urbana, mediante instrumentos de política pública *ad hoc* que no sólo dinamicen las agendas sectoriales sino que permitan enriquecerlas y trascenderlas, al tiempo que, se incluyan criterios multi-espaciales (uso de suelo) y multi-temporales (de mediano y largo aliento).
- Estimular la genuina participación social y los programas de formación y comunicación.

Referencias

- Allwood, J. M., Bosetti, V., Dubash, N. K., Gómez-Echeverri, L. and Von Stechow, C.** (2014). Glossary. In: O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth ... J.C. Minx (Eds.), *ClimateChange 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate*. Nueva York: Cambridge University Press.
- Arvizu, J. L y Huacuz, J.** (2003). Biogás de rellenos sanitarios para producción de electricidad. *Boletín del Instituto de Investigaciones Eléctricas-SENER*. Octubre-Diciembre. Disponible en: www.iie.org.mx/boletin042003/apli.pdf
- Baccini, P. & Brunner, P.** 2012. *Metabolism of the Anthroposphere*. Second Edition. EUA / Reino Unido: MIT Press, Cambridge.
- Baumgardner, D. & Raga, G.** (2010). Changes in Precipitation Intensity in Mexico City: Urban Heat Island Effect or the Impact of Aerosol Pollution. Conference paper. No. J7.2A. 13th Conference on Cloud Physics / 13th Conference on Atmospheric Radiation. 1 de Julio.
- Portland, Oregón, EUA:** American Meteorological Society.
- Consejo Nacional de Población [CONAPO].** (2012). *Catálogo. Sistema Urbano Nacional 2012*. México: Gobierno Federal.
- Davis, M.** (2006). *Planet of Slums*. Londres, Reino Unido/Nueva York, EUA: Verso.
- Davies, J., Sandström, S., Shorrickes, A. y Wolff.** (2008). The World Distribution of Household Wealth.
- Discussion Paper No3.** Institute for Development Economics Research, Universidad de las Naciones Unidas
- Delgado, R. G.** (2013). Climate change and metabolic dynamics in Latin American major cities. In: S. Zubir, y C. Brebbia, (Eds). *Sustainable City VIII. Urban Regeneration and Sustainability* (pp. 39 -56).Southampton, Reino Unido: WIT Press.
- Delgado, R. G.** (2014). Residuos sólidos municipales y cambio climático: metabolismo urbano para la planeación integral urbana. En: N. Oddone y H. Rodríguez. (Coords.), *Municipios y Cambio Climático. Hacia la construcción de una agenda de paradiplomacia ambiental*. España: Unión Iberoamericana de Municipalistas.
- Delgado, R. G., De Luca, Z.A. y Vázquez, Z. V.** (2015). Adaptación y mitigación urbana del cambio climático en México. México: UNAM.
- Delgado, R. G.** (2015a). *Adaptación y Mitigación del cambio climático en la Ciudad de México: análisis de la estrategia, programa y avances alcanzados*. *Revista Científica Monfragüe. Desarrollo Resiliente*, Vol. 1. Disponible en: www.monfragueresiliente.com/Documentos/numero9/Art%C3%ADculo1.pdf
- Delgado, R. G.** (2015b). (En prensa). Ecología política del metabolismo urbano y los retos para la conformación de ciudades de bajo carbono: una lectura desde América Latina. *Revista Crítica y Emancipación*. No. 13.
- Diario Oficial de la Federación [DOF].** (3 de Junio de 2013). Estrategia Nacional de Cambio Climático. Secretaría de Gobernación, México. Disponible en: http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5301093&fecha=03/06/2013
- DOF.** (28 de abril de 2014). Programa Especial de Cambio Climático 2014–2018. Secretaria de Gobernación. México. Disponible en: http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5342492&fecha=28/04/2014
- Garza, G.** (2000). *Ámbitos de la expansión territorial*. En G. Garza (Coord.) La ciudad de México en el fin del segundo milenio. México: El Colegio de México / Gobierno del Distrito Federal.
- Gobierno de Aguascalientes.** (19 de Agosto de 2013). Plan de Acción Climática Municipal (PACMUN). *Periódico Oficial del Estado de Aguascalientes*. Tomo. LXXVI. No. 33. Aguascalientes, Ags.
- GDF-Gobierno del Distrito Federal.** (13 de Febrero de 2008). Agenda Ambiental de la Ciudad de México. *Gaceta Oficial del Distrito Federal*. D.F., México.
- Gutiérrez de MacGregor, M. T.** (2003). Desarrollo y distribución de la población urbana en México. *Boletín del Instituto de Geografía*, N°50. México: UNAM
- Instituto de Ecología del Estado de Guanajuato** (2013). *Programa de Gestión para mejorar la calidad del aire de la Zona Metropolitana de León, Purísima del Rincón, San Francisco del Rincón y Silao/2013-2022*. Salamanca, Guanajuato: Autor.
- Imaz, G. M., Ayala, I. D. y Beristain, A. A.** (2014). Sustentabilidad, territorios urbanos y enfoques emergentes interdisciplinarios. *Interdisciplina*. 2 (2), 33- 49.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática [INEGI].** (1996). *Estados Unidos Mexicanos. Cien años de Censos de Población*. México: Autor.

- Jáuregui**, E. (2009). The heat spells of Mexico City. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*. N° 70. México: UNAM.
- Jáuregui**, E., Tejeda, A., Luyando, Casasola, M y García, G. (2008). Asentamientos humanos: Bioclima, isla de calor y consumo eléctrico. México: INE. Disponible en: www.inecc.gob.mx/descargas/cclimatico/2008_ecc_inf_asentamientos.pdf
- Martín**, C., Campillo, G., Meirovich, H. y Navarrete, J. (2013). Mitigación y adaptación al cambio climático a través de la vivienda pública. *Nota Técnica*. No. IDB-TN-593. Washington, EUA: BID. Disponible en: http://publications.iadb.org/bitstream/handle/11319/6026/IDB-TN-593_es.pdf?sequence=1
- Morales**, M. C., Madrigal, U. D. y González, B. L. (2007). Isla de Calor en Toluca. *Ciencia Ergo Sum* 14 (3), 307-316.
- Müller**, D. B., Liu, G., Løvik, A.N., Modaresi, R., Pauliuk, S., Steinhoff, F.S. and Brattebø, H. (2013). Carbon Emissions of Infrastructure Development. *Environmental Science & Technology*. 47, 1739 – 11746.
- Organización de las Naciones Unidas** [ONU]. (2014). *World Urbanization Prospects, the 2014 Revision*. Nueva York, EUA: The Population Division of the Department of Economic and Social Affairs of the United Nations.
- ONU**. (2011). *World Urbanization Prospects, the 2011 Revision*. Nueva York, EUA: The Population Division of the Department of Economic and Social Affairs of the United Nations.
- Newman**, P., Beatley, T. y Heather, B. (2009). *Resilient Cities. Responding to Peak Oil and Climate Change*. Washington, D.C., EUA: *Island Press*.
- Oswald**, S. U. Moreno, A. R. y Tena, O. (2014). Cambio climático, salud y género. En M. Ímaz, N. Blazquez, V. Chao, I. Castañeda, A. Beristáin (Coords.) *Miradas de Género* (pp. 85-136). México: UNAM-PNUD.
- Pino**, P. F. (2013). *Asociación público-privada entre Bioeléctrica S.A. de C.V. y el Gobierno del Estado de Nuevo León*. "Bioenergía de Nuevo León S.A. de C.V." México: Banco Iberoamericano de Desarrollo/Tecnológico de Monterrey. Disponible en: www.cca.org.mx/ps/funcionarios/muniampp/descargas/Documentos_de_apoyo/informaciontematica/capp/APP_Bioelectrica.pdf
- Sánchez**, R. R. (2010). El Cambio Climático y la Ciudad de México: Retos y Oportunidades. En J. Lezama y B. Graizbord. *Los Grandes Problemas de México*. México: Colegio de México.
- Schneider**, A., Friedl, M.A. and Potere, D. (2009). A new map of global urban extent from MODIS satellite data. *Environmental Research Letters* 4. In: Seto, K.C. et ál. (2014). Human Settlements, Infrastructure and Spatial Planning. In: *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, Reino Unido / Nueva York, EUA: Cambridge University Press.
- Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal** [SEDEMA]. (2014a). *Estrategia Local de Acción Climática. Ciudad de México 2014-2020*. México: SEDEMA/Centro Mario Molina.
- SEDEMA**. (2014b). **Programa de Acción Climática de la Ciudad de México 2014-2020**. México: SEDEMA / Centro Mario Molina.
- SEDEMA**. (2013). *Inventario de Emisiones Contaminantes y de Efecto Invernadero 2012. Zona Metropolitana del Valle de México*. México: Gobierno del Distrito Federal.
- Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal** [SMA-DF]. (2012a). *Inventario de Emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México. Gases de Efecto invernadero y Carbono Negro – 2010*. México: Gobierno del Distrito Federal.
- SMA-DF**. (2008). Programa de Acción Climática de la Ciudad de México 2008–2012. México: Gobierno del Distrito Federal.
- SMA-DF**. (2012b). *Calidad del aire en la Ciudad de México. Informe 2011*. México: Gobierno del Distrito Federal.
- Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca** [SEMARNAP]. (1990). *Programa Integral contra la Contaminación Atmosférica de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México*. México: Autor.
- SEMARNAP**. (1996). Programa para Mejorar la Calidad del Aire en el Valle de México 1995–2000. México: Autor. **Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales** [SEMARNAT]. (2012). *Programa de Gestión para Mejorar la Calidad del Aire del Área Metropolitana de Monterrey 2008-2012*. Dirección General de Gestión de la Calidad del Aire y Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes. México: Autor. Disponible en: www.semarnat.gob.mx/archivosanteriores/temas/gestionambiental/calidaddelaire/Documents/Calidad%20del%20aire/Proaires/Seguimiento%20y%20evaluación%202011/Anexo_1F_Informe_ProAire_Monterrey_E11.pdf
- SEMARNAT**. (2011). *Programa para mejorar la calidad del aire de la Zona Metropolitana del Valle de México 2011–2020*. Gobierno del Estado de México / Gobierno de la Ciudad de México. México: SEMARNAT.
- Seto**, K.C., Dhakal, S., Bigio, A., Blanco, H., Delgado, G.C., Dewar, D., Huang, L., Inaba, A, ... Ramaswami, A. (2014). Human Settlements, Infrastructure and Spatial Planning. In: *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, Reino Unido / Nueva York, EUA: Cambridge University Press.
- Tejeda**, M. A. y Conde, Á. C. (2008). *Guía para la elaboración de Programas Estatales de Acción ante el Cambio Climático*. México: INE-SEMARNAT / Universidad Veracruzana / Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM.



UN DESA. (2013) Population Density and Urbanization. In Seto, K.C. et ál (2014). *Human Settlements, Infrastructure and Spatial Planning. In: Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge, Reino Unido / Nueva York, EUA: Cambridge University Press

United States Environmental Protection Agency [EPA]. (2008). *Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies.* EUA. Disponible en: www.epa.gov/heatisland/resources/compendium.htm

UN WATER. [The United Nations Inter-Agency mechanism for all freshwater related issues, including sanitation]. *Statistics* Disponible en: http://www.unwater.org/downloads/UNW_brochure_EN_webversion.pdf

Velasco, E., Perrusquia, R., Jiménez, E., Hernández, F., Camacho, P., Rodríguez, S., Retama, A., & Molina, L. (2014). Sources and sinks of carbon dioxide in a neighborhood of Mexico City. *Atmospheric Environment.* 97, 226-7238.

Velasco, R. G., Lacy T. R. Viguri, G. S. (2012). *Guía Metodológica para Evaluar los Programa de Acción Climática de Gobiernos Locales.* México: Centro Mario Molina para Estudios Estratégicos sobre Energía y Medio Ambiente, A.C. Disponible en: <http://centromariomolina.org/desarrollo-sustentable/guia-metodologica-para-la-evaluacion-de-programas-de-accion-climatica-de-gobiernos-locales/>



Capítulo 11

COOPERACIÓN INTERNACIONAL: ACUERDOS E INSTRUMENTOS

Autora líder:

Johanna Koolemans Beynen³⁰,

Autores contribuyentes:

Israel Felipe Solorio Sandoval³¹, Irais Vázquez Cisneros¹⁵, Zuelclady María Fernanda Araujo Gutiérrez³²,
Lucila María Balam de la Vega³³, Omar Rojas García¹¹ y Antonina Ivanova Boncheva³⁴.

¹¹ITESM Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, ¹⁵UNAM Facultad de Economía,

³⁰Consultor, ³¹UACES Asociación Académica para Estudios Europeos Contemporáneos,

³²FAO Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura,

³³Consultora del proyecto Fortalecimiento REDD+ y Cooperación Sur-Sur,

³⁴Centro de Estudios APEC de la Universidad Autónoma de Baja California Sur.

Palabras Clave: Cambio climático, gases de efecto invernadero, contaminantes climáticos de vida corta, cooperación internacional, México, acuerdos internacionales, acuerdos multilaterales, acuerdos bilaterales, colaboración público-privado, negociaciones multilaterales.

Resumen

Según el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) las políticas de cambio climático, tanto internacionales como nacionales, deben cumplir con ciertos principios, además propone criterios para evaluar la cooperación internacional. Como México es miembro de este organismo suscribe a estos principios y criterios, los cuales se ven reflejados en varios documentos oficiales.

Aunque los proyectos internacionales mexicanos de mitigación han sido implementados más bien de manera “top down” (de arriba hacia abajo), México también ha tomado acciones en el ámbito de cooperación internacional “bottom up” (de abajo hacia arriba) de manera descentralizada, tanto al nivel de los estados, como en las ciudades y municipios.

México participa activamente en convenios multilaterales y bilaterales para avanzar en proyectos de mitigación. En el área de acuerdos multilaterales, el Protocolo de Kioto ha sido muy importante, pues le ha permitido al país desarrollar proyectos de mitigación, a través del Mecanismo para un Desarrollo Limpio (MDL). Recientemente, una parte significativa de los varios acuerdos bilaterales que tiene México son relacionados con el desarrollo de Acciones de Mitigación Apropriadas a cada País (NAMA, por sus siglas en inglés).

Bajo el Protocolo de Kioto, los países industrializados están obligados a apoyar los esfuerzos de los países en desarrollo a través de ayuda financiera, transferencia tecnológica y capacitación. Varias instituciones internacionales y países apoyan a México en esta área. Las NAMA también pueden ser oportunidades para desarrollar capacidades. Además, México ha liderado en proyectos de ayuda técnica, de desarrollo y de capacitación enfocados en cooperación con los países del Sur.

Las políticas internacionales de mitigación han influido sobre las políticas nacionales de México, mediante sus compromisos bajo la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC). México, como pocos países en vías de desarrollo, ha ido más lejos que sus compromisos en este marco. Además, ha jugado un papel importante en las Conferencias de las Partes (COP), y en otros foros que tratan el tema de mitigación de cambio climático. El compromiso de México en cuanto a esfuerzos para mitigar sus emisiones también quedan plasmados en su Plan Nacional de Desarrollo (PND), su Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENCC), su Programa Especial de Cambio Climático (PECC) y en su Contribución Prevista y Determinada a Nivel Nacional (INDC, por sus siglas en inglés).

Existe un riesgo de conflictos por las interacciones entre el cambio climático y la política del comercio internacional, que viene principalmente por la posibilidad de que algunos países podrían utilizar un arancel al carbón, para prevenir que empresas trasladen la producción de bienes intensivos en energía a países que no han implementado medidas de mitigación. Como la intensidad energética de la producción de los países en vías de desarrollo, como México, suele ser relativamente más alto, el impacto de este tipo de medidas podría ser significativo en estos países.

Las políticas de cambio climático, tanto nacionales como internacionales, pueden ser evaluadas utilizando cuatro criterios: eficacia ambiental; desempeño económico agregado; impactos distributivos y viabilidad institucional. Últimamente, se ha desarrollado métricas para evaluar los proyectos de mitigación, tanto nacionales y locales como internacionales, que son: Medición; reporte y verificación (MRV). El marco normativo mexicano ya está tomando en cuenta la necesidad de valorar los proyectos de mitigación, que sean de origen nacional o internacional, pero son pocos los proyectos que han sido evaluados de esta manera.

Además de las vías antes mencionadas, el financiamiento internacional para la mitigación fluye a través de: el Fondo para el Medio Ambiente Mundial, que se centra en la mitigación; Fondo de los países menos adelantados; el Fondo Especial para el Cambio Climático; el Fondo de Adaptación y el Fondo Verde para el Clima para la mitigación y la adaptación. Al año 2013, las fuentes de financiamiento y los recursos para cambio climático con que contaba México ascendían a 9,371 millones de dólares estadounidenses.



Claramente, sin la participación activa del sector privado será imposible reunir la cantidad de financiamiento requerido para lograr el nivel de mitigación necesaria. Por ende, uno de los enfoques del financiamiento público tendrá que ser el apalancamiento de fondos privados. El programa principal en este sentido en el país es el Programa GEI México, que consiste en un programa voluntario de contabilidad y reporte de emisiones que opera gracias a fondos internacionales y nacionales.

Queda claro que México se ha posicionado como líder en los foros internacionales de cambio climático, participa en muchos proyectos, ha sido muy activo en desarrollar programas nacionales, estatales y municipales que necesitan financiamiento internacional para avanzar. Además, de ser receptor de fondos, programas de capacitación y ayuda técnica, también se ha vuelto activo en programas de cooperación sur-sur y en esquemas de triangulación de ayuda, enfocado generalmente hacia América Latina y el Caribe. Como resultado de esto, México hoy es considerado un actor “polivalente” en temas de cooperación internacional. Además, es reconocido por sus actividades diplomáticas, y como un puente hacia los países de América Latina y el Caribe, así como hacia los Estados Unidos y Canadá.

México deberá continuar siendo un actor relevante, responsable y activo en las negociaciones multilaterales, y fortalecer sus relaciones bilaterales de cooperación. Se recomienda, además, que México fortalezca su capacidad por valorar estos proyectos, tanto ex ante como ex post, para asegurarse que cumplen con los criterios de evaluación. Se ven dos áreas o oportunidades para liderazgo en la cooperación internacional que México podría aprovechar: liderar un esfuerzo por fortalecer las estructuras de negociaciones internacionales para involucrar más al sector privado, tanto en financiamiento como en la implementación de proyectos de mitigación, y definir normas y estándares para evaluar tanto medidas de mitigación como cumplimiento con compromisos de mitigación y financiamiento, que es una necesidad urgente. También debe profundizar sus esfuerzos hacia América Latina.

Esta misma necesidad existe en términos de investigación nacional, pues se encontró una falta de trabajos académicos en el área de evaluación de proyectos e instituciones de cooperación internacional en México. También falta investigación sobre las interacciones entre el comercio internacional y cambio climático, desde un enfoque mexicano.

Introducción

Teniendo en cuenta dos de los problemas básicos de la cooperación internacional: los conceptos de encuadre del problema de bienes comunes y la falta de una autoridad internacional, este capítulo revisa las diferentes maneras de llevar a cabo y evaluar los esfuerzos de cooperación en materia de cambio climático. Luego, se examinan los esfuerzos de México por participar e influir en las negociaciones internacionales. De esta discusión, queda claro que el país ha desempeñado un papel activo en las negociaciones internacionales de cambio climático, aprovechando las oportunidades que el escenario internacional ofrece en la materia. En virtud de lo anterior y de acuerdo con lo establecido en los instrumentos nacionales, México deberá continuar siendo un actor relevante, responsable y activo en las negociaciones multilaterales, considerando, entre otras cosas, las oportunidades bilaterales de cooperación.

Conceptos de encuadre y una evaluación de los medios para la cooperación internacional

1. Concepto de encuadre: Problema de bienes comunes y cooperación climática internacional

Resolver el problema del calentamiento global requerirá de un esfuerzo de coordinación internacional, en el que tendrán que intervenir gobiernos nacionales debido al problema que los economistas describen como el “problema del bien común”. Los bienes comunes tienden a ser sobre-explotados porque todos tienen derecho a usarlos y nadie paga por su uso. Como el derecho de emitir gases de efecto invernadero (GEI) ha sido tradicionalmente un bien común, sin regulación gubernamental, todos tienen derecho a producir GEI que se van directo a la atmósfera, sin tener que pagar por hacerlo. Si un gobierno estuviera facultado para regular tales emisiones habría mayores posibilidades de reducirlas.

El cambio climático requiere de un esfuerzo internacional debido al problema del free rider: como el CO₂-eq viaja por todo el mundo y los efectos de un incremento en sus niveles de concentración en el atmósfera también son globales, los países que optan por no tomar medidas contra el problema se podrán beneficiar de la misma forma que las naciones que sí implementan programas costosos para reducir sus emisiones. Por lo tanto, enfrentar esta situación no requiere solamente de la participación de los gobiernos nacionales, sino de la acción gubernamental global, es decir, de la cooperación internacional, en tanto no existe una instancia gubernamental internacional que pueda obligar a los países a tomar acciones para mitigar sus emisiones de GEI.

1.1 Conceptos Encuadre: Principios

La CMNUCC y el IPCC dicen que las políticas de cambio climático deben incluir ciertos principios, ser equitativas, reconocer el principio de “responsabilidades comunes pero diferenciadas y según capacidades respectivas” (abreviada como “responsabilidades comunes pero diferenciadas”), asegurar beneficios mundiales al costo más bajo posible, fomentar el desarrollo sustentable y la cooperación internacional. (CMNUCC, 1992; IPCC, 2014).

Siendo miembro del IPCC y de la CMNUCC, México también suscribe los principios antes referidos, los cuales se ven reflejados en varios documentos oficiales. El título cuarto, capítulo 1, establece los principios que debe seguir la política nacional en materia de cambio climático, mismos que siguen los lineamientos de los organismos antes mencionados, como la sustentabilidad, la cooperación y el uso de instrumentos económicos. En el capítulo III, que trata el tema de mitigación, el artículo 32 estipula que las medidas de mitigación deberán tener en cuenta principios tales como las consecuencias económicas y sociales, un análisis de competitividad, incluir los costos de las externalidades sociales y ambientales y llevar a cabo un análisis costo-eficiencia, “priorizando aquéllas que promuevan una mayor reducción de emisiones al menor costo” (Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, 2012, p. 20).

El artículo 68 de la Ley General de Cambio Climático (LGCC) establece la promoción de la participación de la sociedad en la elaboración del Programa Especial de Cambio Climático (Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, 2012). Otro ejemplo de la importancia que ha dado México a la participación social en la toma de decisiones de políticas de cambio climático, es la



inserción del tema *México Incluyente* como uno de los cinco objetivos del Plan Nacional de Desarrollo, 2013 - 2018 (PND) junto con el tema México con Responsabilidad Global, aproximándose así al principio de beneficios globales establecido en el IPCC.

En cumplimiento al principio de beneficios mundiales, México estableció en su PND como objetivo 4.4 “Impulsar y orientar un crecimiento verde incluyente y facilitador que preserve nuestro patrimonio natural al mismo tiempo que genere riqueza, competitividad y empleo” (CICC, 2014). Estrategias relacionadas con este objetivo incluyen vincular la sustentabilidad ambiental con costos y beneficios para la sociedad.

La LGCC también agrega el principio de gradualidad en la instrumentación de la política nacional de mitigación, particularmente en caso de la falta de financiamiento y el fomento de capacidades nacionales. Tanto la LGCC y el PECC hacen hincapié en la importancia de aplicar las políticas de cambio climático de manera transversal, a través de múltiples instancias de gobierno, tanto federal como estatal y municipal (Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, 2012).

1.2. Criterios potenciales para evaluar la cooperación internacional

El IPCC (2014) propone 5 criterios para evaluar la cooperación internacional: eficacia hacia el medio ambiente; desempeño económico agregado; impacto social y distribucional; viabilidad institucional; y conflictos y complementariedades.

El primer criterio, eficacia hacia el medio ambiente, se refiere al grado en que una política de mitigación logra realmente reducir las emisiones de GEI. El criterio de desempeño económico agregado exige que las políticas de cooperación internacional maximicen beneficios, al menor costo posible. El IPCC también evalúa la cooperación internacional según su impacto social y distribucional, lo cual implica considerar el impacto de estas medidas en varios países, sectores sociales y también a lo largo del tiempo. La viabilidad institucional se refiere a la probabilidad de obtener el apoyo político necesario para implementar las medidas consideradas, esto depende del grado de participación, el cumplimiento, la legitimidad y la flexibilidad en la elaboración e implementación de estas medidas. Finalmente, el último criterio concierne la posibilidad de conflictos y complementariedades entre los criterios. El Quinto Informe de Evaluación del IPCC (2014) habla de la posibilidad de que una medida flexible reduzca los incentivos de buscar soluciones de largo plazo.

Aunque, ninguno de los documentos que enmarcan las políticas mexicanas de cambio climático habla explícitamente de criterios para evaluar la cooperación internacional en este contexto, cualquier programa de cooperación internacional de México en este ámbito deberá cumplir con los criterios mencionados en esta sección, ya que el país es miembro del IPCC. De los documentos indicados anteriormente, se puede inferir que las acciones de cooperación internacional en materia de mitigación deben, como cualquier política de mitigación, tomar en consideración criterios como: la vinculación de la sustentabilidad ambiental con los costos y beneficios para la sociedad; permitir e incluso fomentar la participación de la sociedad, en condiciones de equidad de género y priorizar políticas que promuevan una mayor reducción de emisiones al menor costo. Además, el principio de transversalidad debe resultar en políticas de mitigación complementarias, al promover el uso y asignación eficiente de los factores de producción de la economía, y aumentar las tasas de productividad (Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, 2012; CICC, 2014).

2. Acuerdos internacionales: ejemplos y lecciones para la política climática

Según el IPCC (2014), el conjunto de instituciones internacionales relacionadas con la política climática se ha vuelto considerablemente más complejo en los últimos años, ya que el problema de cambio climático se discute cada vez más en un mayor número de foros e instituciones. Varios de ellos han sido citados en secciones y capítulos anteriores, como la CMNUCC y otros que se mencionarán a continuación. Aunque, esto representa un avance en la lucha contra el cambio climático, también representa un riesgo, como señala el IPCC (2014), en tanto un marco más fragmentado aumenta la probabilidad de conflictos entre instituciones, y entre acuerdos, así como de lagunas y vacíos legales.

Hay diversas variables a considerar en la elaboración de una política internacional contra el cambio climático, incluyendo la pregunta ¿es mejor enfocar los esfuerzos en un acuerdo con compromisos fuertes pero con pocos miembros o es mejor un acuerdo más superficial pero con un mayor número de signatarios? En general, los estudios mencionados por el IPCC (2014) parecen inclinarse hacia la última opción. También hacen referencia a la posibilidad de que las transferencias internacionales de fondos puedan atraer mayor participación, así como el establecer vínculos entre el tema de cambio climático y otros problemas, como la contaminación.

En el marco de una discusión sobre el cumplimiento de los acuerdos internacionales de cambio climático, el IPCC (2014) subraya la importancia del principio de adicionalidad, así como medidas de medición, reporte, y verificación. La transparencia, tanto en los reportes nacionales de emisiones que elabora México en cumplimiento de sus responsabilidades internacionales, como en las transferencias fiscales para financiar proyectos de mitigación y adaptación, es una condición necesaria para el cumplimiento de estos principios. Se menciona, además, el establecimiento de sanciones como otra posible herramienta para asegurar cumplimiento de acuerdos.

3. Arquitecturas de Política Climática

3.1. Grado de Centralización

Como se menciona previamente, y se afirma en el IPCC (2014), al no existir una entidad global que pueda imponer acciones para mitigar el cambio climático, se debe negociar el grado de cooperación y las acciones específicas a las que se comprometen los países. Por ende, cada nación decide su grado de participación en las negociaciones internacionales y el grado de implementación de sus decisiones. Los países que adoptan un enfoque top down otorgan un alto grado de poder a estas instancias, comprometiéndose de manera conjunta a, por ejemplo, el establecimiento de una meta fija de reducciones de CO₂ equivalente, o a acciones específicas. En cambio, en un enfoque bottom up, los países fijan, a nivel nacional y de manera autónoma, sus propias metas y acciones.

Las medidas de cooperación internacional que ha llevado a cabo México en el tema de cambio climático se han caracterizado, en muchas ocasiones, por ser de tipo top down concertando sus acciones con otros países a nivel internacional en las negociaciones internacionales. El alto grado de centralización se basa en la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal, la cual establece que la Secretaría de Relaciones Exteriores debe de intervenir “en toda clase de tratados, acuerdos y convenciones en los que el país sea parte.” (Cámara de Diputados, 2014). No obstante, también existe un grado importante de colaboración internacional, sobre todo cuando está asociada a financiamiento a nivel estatal e incluso municipal, que no está regulada por la Federación.

México también ha emprendido acciones de abajo hacia arriba en el ámbito de la cooperación internacional y de manera descentralizada. A nivel estatal, tales acciones incluyen las decisiones de los estados de Baja California, Chihuahua, Coahuila, Nuevo León, Sonora y Tamaulipas de ser miembros observadores del Western Climate Initiative, una organización de estados de los Estados Unidos de Norteamérica y Canadá enfocada a la creación de un programa común de un esquema cap and trade (Center for Climate and Energy Solution, n.d.). También a nivel estatal, los estados de Chiapas, Campeche, Jalisco, Quintana Roo y Tabasco son miembros del Governor’s Climate and Forest Taskforce (GCF), un grupo internacional integrado por 26 estados de 7 países con altas coberturas de bosque tropical, que tienen el objetivo de intercambiar experiencias sobre proyectos de Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación (REDD+). El programa inició en 2010, cuando los estados de Acre en Brasil, Chiapas en México, y California en Estados Unidos firmaron un memorándum de entendimiento con el fin de construir un marco legal e institucional para un mercado futuro de bonos de carbono a nivel subnacional, mediante el mecanismo REDD+ (CICC, 2012).

Otro asunto relevante, relacionado con el grado de centralización, es el tipo de participantes permitidos, específicamente, los organismos gubernamentales. El proceso internacional de la lucha contra el cambio climático ha sido criticado en el sentido de que excluye a la sociedad civil de la participación formal en el proceso de negociación (Antal, 2012).



3.2. Foros de Naciones Unidas sobre Cambio Climático

El tema de cambio climático es discutido en varios foros en las Naciones Unidas, siendo los principales el IPCC y la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, el Protocolo de Kioto, el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). Sin embargo, muchos otros foros de las Naciones Unidas, como ONU-Habitat, la Organización de las Naciones Unidas para la Ciencia y la Cultura (UNESCO, por sus siglas en inglés), el Banco Mundial (BM), el Fondo Monetario Internacional (FMI), la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo (UNCTAD, por sus siglas en inglés) y muchos más también tratan el tema de cambio climático.

Los compromisos internacionales en materia de cambio climático más importantes en el marco de las Naciones Unidas son la CMNUCC y el Protocolo de Kioto, acuerdos que México ratificó, dentro de la estructura del Protocolo de Kioto el país está en la categoría de los países no Anexo 1 y se compromete a lo siguiente:

- Realizar inventarios nacionales de emisiones de gases de efecto invernadero.
- Implementar programas nacionales y medidas orientadas a mitigar el cambio climático.
- Gestionar sosteniblemente los sumideros y depósitos de GEI como bosques y océanos, así como otros ecosistemas terrestres, costeros y marinos.
- Cooperar en los preparativos para la adaptación a los impactos del cambio climático.
- Promover y apoyar el intercambio de información científica, tecnológica, técnica, socioeconómica y jurídica sobre el sistema y el cambio climático, y sobre las consecuencias económicas y sociales de las distintas estrategias de respuesta.
- Promover y apoyar con su cooperación a la educación, la capacitación y la sensibilización del público respecto del cambio climático y estimular su participación.
- Comunicar a la Conferencia de las Partes la información relativa a la aplicación de estos compromisos.
- A partir del 2014, entregar a la CMNUCC, por conducto de la secretaria, los Informes bienales conforme a las capacidades del país (Naciones Unidas, 2014).

La CMNUCC y el Protocolo de Kioto han dado lugar al establecimiento de nuevas instituciones enfocadas al financiamiento y al desarrollo de tecnologías para la adaptación al cambio climático, entre las cuales destaca el Fondo de Adaptación, establecido para proporcionar acceso directo al financiamiento para los países en desarrollo.

Otros foros de las Naciones Unidas que también abordan temas de cambio climático incluyen al PNUD, que trata la relación del cambio climático con el desarrollo y los derechos humanos, entre otros temas. También se encuentra el Convenio sobre la Diversidad Biológica de 1992 que tiene como objetivo “la conservación de la biodiversidad, el uso sostenible y la participación justa de los beneficios del uso de los recursos genéticos”, por lo que constituye el primer acuerdo internacional para atender aspectos de la diversidad biológica, especies y ecosistemas (Naciones Unidas, 2014). El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) igualmente ha sido activo en materia de cambio climático y, entre otras actividades, promovió la negociación del Protocolo de Montreal de 1987, enfocado a controlar y reducir el uso de sustancias que deterioran la capa de ozono y ha participado en la reducción de gases de efecto invernadero.

3.3. Participación de México en Foros internacionales de cambio climático

La cooperación internacional en México se desarrolla en el marco de la Ley de Cooperación Internacional para el Desarrollo (LCID), aprobada en 2011. Mediante este instrumento el país busca fomentar su desarrollo a través de la cooperación internacional (Transparencia Mexicana, 2013). Con respecto al tema de cambio climático en particular, según la ENCC, México busca fortalecer su presencia como líder en la cooperación internacional en la materia, sobre todo con respecto a América Latina y el Caribe, y en el marco de la cooperación Sur-Sur (SEMARNAT, 2013).

La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) suma esfuerzos con la Secretaría de Relaciones Exteriores (SRE) al participar en foros internacionales como: las Reuniones del G8+5; la Reunión de las Principales Economías sobre Energía y Clima; el Foro de Ministros de Ambiente de América Latina; el Foro de Ministros de Ambiente de Centroamérica; la Cumbre de Líderes de América del Norte; el Diálogo México-Unión Europea; el Diálogo América Latina-Unión Europea y la Red Iberoamericana de Oficinas de Cambio Climático. El objetivo principal de dicha participación es promocionar los intereses del país y su posicionamiento en materia de medio ambiente con la finalidad de impulsar su participación en foros internacionales e iniciativas de cambio climático (SEMARNAT, n.d.).

Del mismo modo el gobierno de México ha participado, a través de la SRE, en diversos foros internacionales y fue anfitrión en la COP 16 en el 2010, en Cancún. Asimismo, la Cancillería ha participado en la COP 17 en Durban, la COP 18 en Doha, la COP 19 en Varsovia y la COP 20 en Lima (SRE, n.d.).

Tanto en general, como en las negociaciones internacionales en torno al cambio climático, México ha sido reconocido por sus actividades diplomáticas, por su capacidad de conciliar diferentes puntos de vista en negociaciones internacionales y por las buenas relaciones con sus contrapartes. Además de organizar y ser anfitrión de la COP 16 en Cancún, como se mencionó arriba, fue instrumental en la intermediación para la adaptación de los acuerdos de Cancún (OCDE, 2013). Ha sido reconocido como un país puente hacia los países de América Latina y el Caribe, así como hacia los Estados Unidos y Canadá (Medel, 2013; SEGOB, 2014). Otros ejemplos incluyen el establecimiento del Fondo Verde, introducir el tema de cambio climático en el G20 y participar en el Pacto de la Ciudad de México mencionado en la próxima sección. Además, México ha entregado 5 comunicaciones nacionales a la CMNUCC, y está ahora elaborando la 6.ª Comunicación Nacional, tres más que cualquier otro país no-Anexo I. Esta comunicación contendrá su contribución prevista y determinada a nivel nacional, dada a conocer en 2015, siendo también, la primera contribución de un país no-Anexo 1.

México también participa en grupos informales dentro de las negociaciones internacionales, como es el Grupo de Integridad Ambiental, con Liechtenstein, Mónaco, República de Corea y Suiza, que fomenta la adopción de posiciones proactivas en defensa del medio ambiente global, principalmente en temas de financiamiento, apoyo a las presidencias de la COP y el establecimiento de puentes entre países desarrollados y en desarrollo. Asimismo, México participa en el Diálogo de Cartagena, un grupo muy diverso de países desarrollados y en desarrollo que tiene el propósito de exigir acciones ambiciosas para enfrentar el cambio climático y sus efectos. Además, forma parte de organismos internacionales de alcance mayor pero que han empezado a adoptar el tema climático en sus agendas, como la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), la Agencia Internacional de Energía (AIE), el Foro de las Mayores Economías sobre Energía y Clima (MEF) y el Foro de Cooperación Económica Asia-Pacífico (APEC) (Tudela, 2014).

Finalmente, es importante destacar la activa participación de México en iniciativas internacionales enfocadas a los contaminantes climáticos de vida corta (SLCF, por sus siglas en inglés), que incluyen carbono negro, metano y ozono troposférico. El país fue anfitrión de la primera reunión ministerial en 2011 y de la Iniciativa Global de Metano; colaboró en el Methane Blue Ribbon Panel desde la COP 15 en Copenhague para promover un fondo de financiamiento de proyectos de mitigación de metano; participo con el PNUMA en dos estudios sobre el carbono negro y el ozono troposférico; es miembro fundador de la Coalición para el Clima y Aire Limpio para reducir los Contaminantes de Vida Corta, en donde presidirá el área de mitigación del carbono negro y otros contaminantes de la producción de ladrillo, además de promover Planes Nacionales de Acción para los SLCF (CICC, 2012).

4. Los acuerdos multilaterales y bilaterales a través de diferentes escalas

Como se ha mencionado, México ha participado de manera activa en los más importantes acuerdos multilaterales; pero también ha buscado convenios bilaterales para avanzar en proyectos de mitigación. En el área de acuerdos multilaterales, entre los más importantes está el Protocolo de Kioto, que ha permitido a México desarrollar proyectos de mitigación, a través de los MDL. Este esquema consiste en proyectos financiados por los países desarrollados a cambio de certificados de mitigación de emisiones otorgados por las Naciones Unidas, que el país desarrollado puede usar para cumplir con sus metas de reducción de emisiones.



México ha participado en algunos proyectos como la captura de biogás en centros con altas cargas orgánicas como granjas y establos, donde existen cerca de 143 proyectos, y en aproximadamente 14 rellenos sanitarios, que representan mitigaciones de 5.5 millones de tCO₂ anuales, además de diversos proyectos de generación de energía eólica e hidroeléctrica (Salazar y Masera, 2010).

Con respeto a las relaciones bilaterales de México en el tema de cambio climático, un ejemplo de este enfoque bilateral es la relación del país con Alemania. De hecho, el más reciente Plan de Acción (firmado en 2007) en el tema de cooperación internacional para el desarrollo negociado entre estos dos países tiene como eje central los temas de medio ambiente y cambio climático (Medel, 2013). Uno de los proyectos financiados por el gobierno alemán otorga subsidios para la compra de calentadores solares de agua. La meta de este proyecto es lograr la instalación de 25,000 calentadores solares, de los cuales 11,369 subsidios ya han sido otorgados (CICC, 2012). Varios acuerdos o proyectos entre estos dos países también cuentan con la participación de la Unión Europea, y otros países europeos.

Una parte significativa de los diversos acuerdos bilaterales de México está relacionada con el desarrollo de NAMA y se han logrado contribuciones para el diseño de éstas por parte del BM, el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, la Agencia de Cooperación Internacional para el Desarrollo de Estados Unidos (USAID, por sus siglas en inglés), el Ministerio de Medio Ambiente de Canadá, la Agencia Alemana de Cooperación Internacional y el Ministerio de Infraestructura y Medio Ambiente del Reino Unido, entre otros (CICC, 2012).

Actualmente, México está buscando ayuda para el desarrollo de 10 propuestas de NAMA y para la implementación de otras 4 que se encuentran terminadas y registrados en la página de la CMNUCC, (CMNUCC, n.d.). El desarrollo de Acciones de Mitigación es uno de los ejes de la cooperación entre la Unión Europea y México (Comisión Europea, 2011), y también con Alemania. De hecho, uno de los frutos más importantes de la relación entre México y Alemania es la reciente NAMA de vivienda sustentable así como otros tres proyectos (Medel, 2014). El Centro de Transporte Sustentable EMBARQ ha avanzado en tres propuestas de financiamiento para NAMA en el área de transporte, con apoyo del gobierno holandés. Con financiamiento de Canadá, Petróleos Mexicanos (PEMEX) también está desarrollando NAMA relacionadas con la emisión de metano (CICC, 2012).

México tiene varias iniciativas con Estados Unidos de Norteamérica, incluyendo un grupo especial de alto nivel sobre energía limpia y política climática (high-level bilateral clean energy and climate policy task force). Por otro lado, los distintos esquemas de cooperación entre México y USAID pueden agruparse básicamente en dos ejes: uno orientado hacia el Proyecto México REDD+ y otro hacia Low Emission Development Strategies (LEDs). Respeto del primer programa, los gobiernos de México y EE.UU., a través de USAID, firmaron un acuerdo en 2012 para establecer una alianza entre organizaciones académicas y de la sociedad civil, instancias gubernamentales y otros actores, que comprende 4 componentes: política pública; desarrollo de capacidades; arquitectura financiera y MRV. La alianza tiene una duración de cinco años, con un presupuesto de \$30 millones de dólares estadounidenses, y se enfoca en la Península de Yucatán, Chihuahua y Oaxaca (CICC, 2012).

Por su parte, PEMEX ha sido muy activo en la cooperación internacional relacionada con temas de mitigación. Como reporta la Quinta Comunicación, en 2009 esta institución suscribió y presidió, junto con Rusia y Canadá, el Subcomité de Petróleo y Gas de la Iniciativa Global de Metano, que conduce estudios de medición para apoyar mejores prácticas operacionales. En el mismo año, la paraestatal se sumó al Global Gas Flaring Reduction Partnership, una iniciativa del BM, cuya meta es contribuir a los esfuerzos por reducir la quema de gas natural mediante su aprovechamiento. En la primera mitad de 2012, PEMEX tenía cinco proyectos MDL registrados cuyas emisiones ahorradas sumarán 933 mil toneladas anuales de CO₂-eq. (CICC, 2012).

Finalmente, otra escala en la que existen varios ejemplos de cooperación internacional es a nivel local, concretamente entre ciudades y municipios mediante organizaciones como ICLEI y C40 Cities. Un ejemplo muy interesante es el reciente lanzamiento de Friends of the Cities en el marco de la CMNUCC. Esta recién formada asociación informal entre México, Francia, Polonia, Indonesia, Perú y Sudáfrica, tiene como misión apoyar los esfuerzos locales y subnacionales para desarrollar sus capacidades y recursos para implementar medidas locales de mitigación y adaptación (ICLEI, 2014). La Ciudad de México en particular ha sido muy activa en el escenario internacional, sobre todo con respeto a ICLEI, Gobiernos Locales por la Sustentabilidad. En la Cumbre Climática Mundial de Alcaldes que tuvo lugar en el D.F. en 2010, alcaldes de 138 ciudades firmaron el Pacto de la Ciudad de

México, una iniciativa del entonces jefe de gobierno de la Ciudad de México, Marcelo Ebrard, mediante la cual se comprometieron a registrar sus compromisos, desempeño y acciones en la emisión de carbono (Moncult, 2014; Sánchez, 2012).

5. La tecnología y el desarrollo de conocimientos

5.1. Mecanismos para la tecnología y el desarrollo de conocimientos, transferencia y difusión

Como marca el Protocolo de Kioto, los países en desarrollo como México tienen compromisos propios para combatir el cambio climático, pero no metas de reducción obligatorias. Los países desarrollados están obligados a apoyar los esfuerzos de los países en desarrollo a través de ayuda financiera y de transferencia tecnológica (CMNUCC, 2014).

Existen múltiples instituciones internacionales que proporcionan apoyo al desarrollo de los países, particularmente en relación con las iniciativas mundiales de la reducción de emisiones e implementación de iniciativas contra el cambio climático. Dentro de las más importantes en las que México participa están el BM, el GEF, el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), el Banco Europeo de Inversiones y el PNUD (SENER, 2009).

Como ejemplos de proyectos que se están llevando a cabo con apoyo del GEF, se puede mencionar un estudio para la realización de un diagnóstico del potencial de eficiencia energética en varios sectores de la economía, así como una evaluación de impacto de medidas y políticas propuesta en el balance energético nacional y en los escenarios de GEI para 2020 y 2030. Con el BM, el GEF apoyó el Proyecto de Transporte Sustentable y Calidad de Aire. Otros proyectos incluyen un estudio de integración de propuestas de reformas para eliminar obstáculos legislativos para la implementación efectiva de medidas de mitigación, otro de análisis de los esquemas de financiamiento para mitigación, y otro de capacitación a autoridades locales en la planeación y administración de sus sistemas urbanos sustentables (CICC, 2012).

Por su parte, el BM otorgó 392 millones de dólares estadounidenses para financiar el Programa de Inversión Forestal y el Programa Préstamo de Inversión Específica para bosques y cambio climático. Proyectos que han recibido fondos del BID, incluyen una planta de elaboración de etanol en el norte de Tamaulipas y un proyecto de biodigestores para pequeñas y medianas granjas porcícolas en Yucatán (CICC, 2012).

Otro organismo que promueve la transferencia de tecnología es el Clean Energy Ministerial (CEM) enfocado en tecnologías de energía limpia. En el CEM participan los secretarios de estado con responsabilidad para la energía limpia. Agrupa a las economías más grandes del mundo, así como algunos países de menor dimensión, pero con avances significativos en el sector de energía renovable (Clean Energy Ministerial, 2012). La primera reunión de CEM fue realizada en Washington en 2010, con la participación de 23 países, incluyendo a México. Los países participantes generan en conjunto el 80 % de las emisiones a nivel global y realizan el 90 % de las inversiones mundiales en energía limpia (Ibid.).

México también ha participado en proyectos de ayuda técnica y desarrollo centrados en cooperación con los países del Sur. Entre estas propuestas se encuentra la Alianza del Pacífico, que como parte de sus grupos técnicos busca impulsar la cooperación entre los países miembros y con terceros, en las áreas de medio ambiente y cambio climático, innovación, ciencia y tecnología, desarrollo social, así como otras que de común acuerdo establezcan los países miembros (Chile, Colombia, México y Perú) (Alianza del Pacífico, 2013).

Otro ejemplo es la Estrategia Mexicana de Sustentabilidad Ambiental (EMSA), resultado de un consenso de las autoridades ambientales de la región (Belice, Colombia, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, México, Nicaragua, Panamá y República Dominicana) quienes, con apoyo del Proyecto Mesoamérica y la Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo (CCAD), formularon un esquema de cooperación para promover el desarrollo sostenible. En dicho esquema el cambio climático constituye una línea de acción a fin de reducir vulnerabilidad, adoptar medidas de adaptación, construir sistemas económicos bajos en carbono y canjear deudas por reducciones de emisiones de GEI (Proyecto Mesoamérica, 2013).



5.2. Desarrollo de capacidades

Varios artículos de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y el Protocolo de Kioto reconocen la importancia y la necesidad de la construcción de capacidades en los esfuerzos de mitigación. El artículo 4.5 de la CMNUCC también solicita la transferencia de tecnología de países desarrollados a países en desarrollo. Los esfuerzos por formar capacidades engloban una amplia variedad de actores, tanto del sector público, privado y de organizaciones no-gubernamentales, que se concentran básicamente en tres temas: políticas y planificación para adaptación; políticas y planificación para mitigación; y la medición, reporte y verificación de las acciones de mitigación. (IPCC, 2014).

La construcción de capacidades incluye la asistencia técnica y el apoyo para la planificación de políticas. Los esfuerzos por desarrollar NAMA también pueden ser considerados como oportunidades para el desarrollo de capacidades.

Otros ejemplos exitosos de cooperación para la formación de capacidades que involucran a México provienen de la alianza entre la Unión Europea y México. Además, de los distintos proyectos de investigación apoyados por la Comisión Europea en el sector de Ciencia y Tecnología, la Comisión financia un programa para administrar estudios de mapeo para la medición, reporte y verificación de las emisiones en México, con el fin de planificar y desarrollar NAMA (CICC, 2012).

En esta área se puede mencionar también la asistencia técnica que la Trade and Development Agency de los Estados Unidos proporciona a la Comisión Federal de Electricidad para la identificación de acciones de reducción de emisiones de hexafluoruro de azufre (SF_6), la capacitación de personal y la elaboración de un manual de entrenamiento para el manejo del gas (CICC, 2012). Con fondos de USAID, el U.S. Forest Service ha colaborado con instituciones mexicanas como la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), el Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza y el Instituto Politécnico Nacional en proyectos para medir la cantidad de carbono secuestrado en la reserva de la Biósfera de Sian Ka'an (CICC, 2012).

También en este ámbito, México realiza iniciativas de apoyo hacia el exterior. Por ejemplo, el Instituto de Ingeniería de la UNAM está llevando a cabo un proyecto que busca ayudar a municipios de América Latina y el Caribe a gestionar sus reservas de agua de manera más sustentable y reducir las emisiones de GEI en los sistemas de tratamiento de aguas residuales. En el marco del Programa Iberoamericano para el fortalecimiento de la Cooperación Sur-Sur, México, El Salvador, y la República Dominicana se han comprometido a afianzar la cooperación técnica y científica como un instrumento de la mayor importancia para la relación bilateral (CICC, 2012).

6. Los vínculos con políticas nacionales y regionales

6.1 Los vínculos entre las políticas internacionales y nacionales

En México, como en otros países, el contexto internacional interviene en las políticas nacionales de manera importante. El inverso también es cierto: el país ha tenido una influencia importante en las políticas internacionales de mitigación de cambio climático, desde la negociación de la CMNUCC, cuando un representante mexicano fue co-presidente del grupo de compromisos (De Alba, 2004).

Las políticas internacionales de mitigación han influido en las políticas nacionales de México sobre todo a través de la CMNUCC, que dicta los principios, objetivos y medios para hacer cumplir los instrumentos para generar compromisos por parte de los países emisores de gases de efecto invernadero. El Protocolo de Kioto, derivado de la CMNUCC, incluye una serie de obligaciones de mitigación para las naciones incluidas en su anexo B, que son los países más desarrollados, y con mayor nivel histórico de emisiones. Por otra parte, el artículo 12 de dicho Protocolo permite a los países del anexo B "comprar" las acciones de mitigación de otros países a través del Mecanismo de Desarrollo Limpio. Como se mencionó anteriormente, el país ha sido muy activo en este mercado: cuenta con un total de 147 proyectos, de los cuales 27 recibieron Certificados de Reducción de Emisiones (CRE), por un total de 11.3 MtCO₂-eq. Estos logros lo ubican en el cuarto lugar por número de proyectos registrados, y en quinto por proyectos que reciben CRE (CICC, 2012).

Aunque en un inicio, los compromisos de mitigación establecidos en el Protocolo de Kioto fueron coherentes con el principio “responsabilidades comunes pero diferenciadas y sus capacidades respectivas”, se han planteado algunos cambios. Por ejemplo, en la COP 13 de 2007 en Bali y en la COP 16 de 2010 en Cancún, muchos países en desarrollo propusieron medidas de mitigación cuantificables así como informes más frecuentes y una mayor transparencia de esas acciones.

En este sentido, México comenzó a desarrollar su propio marco jurídico y político de cambio climático. En 2009, la SEMARNAT y la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP) publicaron un estudio titulado “La Economía del Cambio Climático en México” (Galindo, 2009), uno de los documentos más relevantes para los tomadores de decisiones nacionales. Luego, en 2012 se aprobó la Ley General de Cambio Climático (CICC, 2013). El compromiso del país en cuanto a los esfuerzos para mitigar sus emisiones también está plasmado en otros instrumentos de política nacional como el PND, la ENCC y el PECC y más recientemente, en su contribución prevista y determinada a nivel nacional (CICC, 2014; Gobierno de la República, 2013; Gobierno de la República y SEMARNAT, 2013).

Lo anterior muestra que el entorno internacional ha influenciado, e incluso impulsado proyectos en México. Más iniciativas podrían haber surgido si el entorno internacional hubiera sido más favorable. Por ejemplo, frecuentemente se habla sobre la posibilidad de establecer un esquema de cap and trade en México, quizás eslabonado al programa europeo o al programa de California. Sin embargo, sin acciones más amplias en este sentido de Estados Unidos de Norteamérica, es poco probable que México implemente un esquema así, ya que podría arriesgarse a una pérdida de competitividad frente a las empresas estadounidenses.

El inverso también es cierto: México ha influido en las negociaciones internacionales. Anteriormente, en este capítulo se ha señalado el importante papel que el país ha jugado en las COP, y en otros foros que tratan el tema de mitigación de cambio climático. Como ejemplo, una de las principales aportaciones de México en la arena de las negociaciones internacionales fue su capacidad, preparación y diplomacia durante la COP 16 de Cancún en 2010. El gobierno mexicano salvó el proceso de negociaciones al proponer una forma de remplazar el protocolo de Kioto y un Fondo Verde, propuesto por el entonces presidente Felipe Calderón, para financiar proyectos de mitigación en países en desarrollo. Además, como se menciona más adelante, también ha comenzado a jugar un papel importante en proyectos de ayuda, tanto técnicos como financieros, para América Latina, y en particular hacia el Caribe. De hecho, en la quinta Asamblea del GEF, México se comprometió a aportar 20 millones de dólares estadounidenses para realizar proyectos ambientales en países en desarrollo, y se planea la implementación de 17 proyectos (Ponce, 2014).

6.2. Los vínculos entre la cooperación internacional y regional

Los vínculos entre la cooperación internacional y regional se pueden ver desde distintos puntos de vista. A continuación, se presenta un resumen de la manera en que México se relaciona con diferentes regiones, principalmente la Unión Europea, Norteamérica, América Latina y el Caribe. También, se menciona la vinculación entre la cooperación internacional y las regiones del país.

México se encuentra en una posición particular en cuanto a la cooperación internacional para el desarrollo, ya que, por un lado, recibe fondos y ayuda técnica, y por otro, presta ayuda técnica y dedica fondos a terceros países. Además, participa en esquemas de cooperación Sur-Sur y cooperación triangular. Como resultado de esto, hoy es considerado un actor “polivalente” en temas de cooperación internacional (Medel, 2013).

Un ejemplo particularmente interesante, pues combina estos dos aspectos, es el proyecto Role of Biodiversity in Climate Change Mitigation (ROBIN), financiado por la Unión Europea. Esta iniciativa se realiza en colaboración con siete países de América y Europa y permitirá cuantificar el papel de la biodiversidad en la mitigación, en los ecosistemas terrestres desde México hasta Bolivia (CICC, 2012).

En cuanto a la ayuda internacional que reciben diferentes regiones en México destaca la “Facilidad de Inversión en América Latina”, un fondo de la Unión Europea que financia un proyecto de 2 millones de euros en colaboración con la Agencia Francesa de Desarrollo y la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo. Este proyecto se centra en los estados de



Jalisco, Yucatán y Chiapas, y su objetivo es fortalecer la capacidad técnica e institucional para luchar contra el cambio climático a nivel local, y para reducir la presión sobre los bosques en cuencas importantes a través de la promoción del desarrollo rural sostenible (Comisión Europea, 2011).

Respecto a los esfuerzos de ayuda desde México hacia otros países, en el Programa Sectorial de Relaciones Exteriores 2013 - 2018 (SRE, 2013) se menciona que el país ha decidido enfocar su interés, en el tema de cooperación internacional para el desarrollo, hacia América Latina y el Caribe. Uno de los proyectos de cambio climático en esta región se realiza con Corea, para la capacitación a países de América Central, en el marco de la Plataforma de Colaboración entre México y Corea.

7. Las interacciones entre el cambio climático y la política del comercio internacional

Las interacciones entre el cambio climático y la política de comercio internacional ocurren de distintas maneras: el cambio climático tendrá costos económicos que podrán afectar al comercio internacional, y, al inverso, aumentos en el comercio internacional tienden a agrandar las emisiones, mientras que las medidas de mitigación podrían disparar el precio de los bienes intensivos en energía, y así cambiar los niveles de exportaciones o importaciones. Lo anterior, podría tener impactos sobre la balanza comercial. (Herreros, 2012). Para tratar de evitar conflictos, el artículo 3.5 de la CMNUCC especifica que las medidas de acción contra el cambio climático no deberán constituir alguna forma injustificable o arbitraria de discriminación, ni deberán ser restricciones disfrazadas para el comercio internacional. El protocolo de Kioto también advierte que las medidas contra el cambio climático se deben aplicar de manera que su impacto sobre el comercio internacional sea el mínimo posible (IPCC, 2014).

El riesgo de conflictos por las interacciones entre el cambio climático y la política de comercio internacional se origina principalmente, por la posibilidad de utilizar un arancel al carbón que permita igualar el precio de la energía entre la producción nacional y las importaciones, o mediante normas técnicas que exijan un mínimo de eficiencia para los productos vendidos en el mercado. Este tipo de medidas es controversial porque no está claro si cumple con los compromisos de los países miembros de la Organización Mundial de Comercio (OMC).

Sin embargo, existe mucho interés en este tipo de arancel porque permitiría evitar el problema del free rider que se menciona en los principios de encuadre al inicio de este capítulo. El concepto de climate clubs (clubes climáticos), una propuesta que, en la ausencia de un acuerdo mundial, permitiría a un grupo más pequeño avanzar en la lucha contra el cambio climático, generalmente incluye algún tipo de impuesto al carbón que funge como incentivo para ser miembro. Además, Das (2015) señala que, a pesar de la posibilidad de que este tipo de arancel fuera en contra de los compromisos de la OMC, más de 20 acuerdos ambientales multilaterales, incluyendo el Protocolo de Montreal, incorporan actualmente medidas de comercio internacional para alcanzar sus metas, sin que haya surgido una sola disputa comercial con respeto a estas medidas.

Un argumento más fuerte en contra de un arancel al carbón podría ser el hecho de que muchos países en vías de desarrollo han argumentado en su contra, diciendo que este tipo de impuesto contraviene los principios de la CMNUCC, en particular, los de equidad y de responsabilidades comunes pero diferenciadas (Das, 2015). Como la intensidad energética de la producción de los países en vías de desarrollo suele ser más alta que la de los países desarrollados, el impacto de este tipo de medidas podría ser más significativo en los primeros. Por ejemplo, la intensidad energética de México en 2011 fue de 8 108 unidades térmicas británicas (BTU, por sus siglas en inglés) por cada dólar del PIB, comparado con un promedio de 7,328 BTU por cada dólar para Estados Unidos y 5 143 BTU para Europa, según la Energy Information Administration de los EE. UU. (USIEA, n.d.).

Das (2015) argumenta que habrá que combinar este tipo de arancel con ayuda financiera y transferencia de tecnología, como lo hace el Protocolo de Montreal, para que estos impuestos sean aceptados por los países en desarrollo.

8. La evaluación del desempeño de las políticas e instituciones, incluyendo los mecanismos de mercado

Las políticas de cambio climático, tanto nacionales como internacionales, pueden ser evaluadas utilizando cuatro criterios: eficacia ambiental; desempeño económico agregado; impactos distributivos y viabilidad institucional, y que se basan en varios principios como: la maximización de los beneficios netos globales; la equidad y los principios de la justicia distributiva, de responsabilidades comunes pero diferenciadas y de capacidades respectivas; la precaución y los principios conexos de la anticipación y la prevención de riesgos futuros; y el desarrollo sostenible. Estos criterios, sin embargo, pueden ser conflictivos y obligar a compensaciones (trade-offs).

Con estos principios y criterios, se puede hacer una evaluación subjetiva de las instituciones y políticas de cooperación internacional; una evaluación objetiva, en cambio, requiere métricas e indicadores. Recientemente se han desarrollado indicadores para evaluar los proyectos de mitigación, tanto nacionales y locales como internacionales, que son los esquemas de MRV. Bajo este tipo de esquemas, cualquier medida de mitigación tiene que ser medible, reportable y verificable. Sólo si el proyecto cumple con estos requisitos puede ser comparado con otros proyectos para verificar su eficiencia, eficacia e impactos distributivos.

El marco normativo mexicano ya está tomando en cuenta la necesidad de evaluar los proyectos de mitigación, ya sea de origen nacional o internacional.

9. Inversión y finanzas

El financiamiento internacional para la mitigación fluye a través de cuatro vehículos principales: el Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM, Global Environmental Facility en inglés), orientado a la mitigación; el Fondo de los Países menos adelantados (Fund for Least Developed Countries) y el Fondo Especial para el Cambio Climático (Special Climate Change Fund), creado en 2001 para fines de adaptación y operado por el FMAM; el Fondo de Adaptación creado en 2008; y el Fondo Verde para el Clima (Green Climate Fund), establecido en 2010 para la mitigación y la adaptación. El Acuerdo de Copenhague estableció el objetivo de movilizar 100 mil millones de dólares estadounidenses para el año 2020 para atender las necesidades de los países en desarrollo.

Por su parte, como se mencione arriba, México tiene la meta voluntaria de bajar sus emisiones en un 22 % comparado a los niveles Business as usual (BAU), y en 36 % en caso de recibir suficiente ayuda, para el año 2030. Además, se compromete a disminuir emisiones de carbono negro en 51 % y a reducir a la mitad el número de ciudades clasificadas como "más vulnerables" al cambio climático, para la misma fecha. Aunque no se han publicado las estimaciones de cuánto costaría este esfuerzo, el costo de la meta anterior, condicionado al apoyo internacional, que constaba de una reducción de 30 % sobre el nivel BAU para 2020, era estimado en 9,371 millones de dólares estadounidenses (INECC, 2012; Gobierno de la República, 2015).

Para entender el financiamiento existente para la mitigación en México, se requiere definir qué es un mecanismo de financiamiento; éste se define como el método o conducto mediante el cual se obtienen los recursos necesarios para la realización de una determinada actividad, ya sea préstamos bancarios, aportaciones patrimoniales, donaciones, uso de reservas o ahorros, o ganancias por ventas, entre otros. En este contexto, los mecanismos de financiamiento para mitigación de cambio climático son un conjunto de normas y procedimientos predeterminados por una institución a través de los cuales, los fondos económicos son movilizados y desembolsados con el propósito de promover acciones de mitigación (Transparencia Mexicana, 2013).

Se ha citado anteriormente que entre los principales fondos internacionales establecidos para la mitigación de gases de efecto invernadero, y que están activos en México destacan el GEF, los fondos del BM, los fondos del BID y del Banco de Desarrollo de América del Norte (BDAN).

Actualmente, debido al auge internacional y nacional que existe en el tema de cambio climático, ha surgido interés por desarrollar nuevos mecanismos de mitigación que estén acompañados tanto de los fondos antes mencionados como de otros



recursos de mecanismos internacionales como es el Fondo Verde; en este sentido están en desarrollo las NAMA y los Mecanismos Bilaterales de Compensaciones, que funcionan a partir de la vinculación con terceras partes.

El sector privado se ha vuelto un pilar fundamental de acciones de mitigación y reducción de emisiones a partir del componente de responsabilidad social corporativa y el interés de volverse actores clave en la disminución de emisiones. Dentro de las instituciones bancarias podemos encontrar que el Banco Nacional de México (BANAMEX), Banco Santander y Banco HSBC han mostrado un particular interés por participar en acciones de mitigación y otorgar fondos específicos.

10. El papel de los sectores público y privado y la colaboración público-privada

Como se menciona en la sección anterior, el sector privado se ha vuelto una parte fundamental en el financiamiento de acciones de mitigación. Claramente, sería imposible reunir la cantidad de financiamiento requerido para lograr el nivel de mitigación necesario sin la participación activa del sector privado. Por ende, uno de los enfoques del financiamiento público tendrá que ser el apalancamiento de fondos privados (Ramstein y Ribera, 2014).

México cuenta con un número importante de programas con apoyo financiero de empresas privadas internacionales. De hecho, una de las líneas de acción de la SRE es promover y coordinar nuevos esquemas de financiamiento, como las asociaciones público-privadas (línea de acción 3.1.6, dentro de la estrategia 3.1 Consolidar a la Agencia Mexicana de Cooperación Internacional para el Desarrollo como coordinadora de la cooperación internacional de México) (SRE, 2013). El Programa GEI México, patrocinado por SEMARNAT y la Comisión de Estudios del Sector Privado para el Desarrollo Sustentable (CESPEDES) con la participación de organizaciones como el World Resources Institute y el World Business Council for Sustainable Development, ha recibido apoyo financiero del Fondo de Oportunidades Globales, de la Embajada Británica en México, de USAID, del BID, y de la Agencia de Cooperación Económica de la Embajada de Alemania en México. Esta iniciativa consiste en un programa voluntario de contabilidad y reporte de emisiones, que hasta la fecha cuenta con la participación de 166 empresas, de las cuales 100 reportan sus emisiones. El programa ha logrado capacitar a más de 1,400 representantes de varias empresas, permitiendo así que estimen tanto sus emisiones directas como las derivadas de sus residuos y emisiones indirectas (CICC, 2012).

Existen varios programas más en México que son orientados hacia el sector privado, financiados por la Unión Europea, el World Wildlife Fund, The Nature Conservancy, Greenpeace, Conservation Internacional, y el World Resources Institute, a través de CTS-Embarq. La Confederación de Cámaras Industriales de los Estados Unidos Mexicanos (CONCAMIN), un organismo de representación industrial, además de haber desarrollado dos proyectos NAMA, también se encarga de un proyecto con la Climate Action Reserve para promover iniciativas potenciales de mitigación.

Conclusiones

México se ha posicionado como líder en los foros internacionales de cambio climático. El país participa en diversos proyectos y ha sido muy activo en desarrollar proyectos nacionales, estatales y municipales que necesitan financiamiento internacional para su implementación. Además de ser receptor de fondos, programas de capacitación y ayuda técnica, también se ha vuelto activo en programas de cooperación sur-sur y en esquemas de triangulación de ayuda, enfocados generalmente hacia América Latina y el Caribe.

México deberá continuar siendo un actor relevante, responsable y activo en las negociaciones multilaterales, considerando, entre otras cosas, las oportunidades bilaterales de cooperación. Se recomienda además que México fortalezca su capacidad para evaluar estos proyectos, para asegurar que cumplan con los cuatro criterios mencionados en el documento y que son: eficacia ambiental; desempeño económico agregado; impactos distributivos; y viabilidad institucional. Hay dos áreas de oportunidad para el liderazgo en la cooperación internacional que México podría aprovechar. Una es liderar un esfuerzo por fortalecer las estructuras para involucrar más al sector privado y la sociedad civil, tanto en financiamiento como en la implementación de

proyectos de mitigación. La otra oportunidad de liderazgo está en definir, negociar y aplicar normas y estándares internacionales para evaluar las medidas de mitigación y el cumplimiento con los compromisos de mitigación y financiamiento, que es una necesidad urgente. Finalmente, debe profundizar sus esfuerzos hacia América Latina, y sobre todo hacia América Central, tomando ventaja de su cercanía, los lazos históricos y los problemas similares que enfrentan los países en la región.

Esta misma necesidad existe en términos de investigación nacional pues, se encontró una falta de trabajos académicos en el área de evaluación de proyectos e instituciones de cooperación internacional en México. Se señala, además, la misma ausencia en el tema de las interacciones entre el comercio internacional y el cambio climático, desde un enfoque mexicano.

Referencias

- Alba, E. de.** (2004). La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio Climático. En Martínez, J. y Fernández, A. (Coords.), *Cambio climático, una visión desde México* (pp. 143-153). México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales e Instituto Nacional de Ecología.
- Alianza del Pacífico.** (2013). Cooperación científica en materia de cambio climático en la alianza del pacífico: monitoreo de la biodiversidad. Disponible en: <http://alianzapacifico.net/cooperacion/>
- Antal, E.** (2012). El futuro del régimen del cambio climático y el papel de América del Norte, una perspectiva histórica y analítica. *Norteamérica, Revista Académica del CISAN-UNAM*, Año 07, número especial. Disponible en: www.revistascisan.unam.mx/Norteamerica/ne2012.php de <http://>
- Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión.** (2012). Ley General de Cambio Climático. DOF 06-06-2012. México: Cámara de Diputados.
- Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión.** (2014). Ley Orgánica de la Administración Pública Federal. Mexico: Cámara de Diputados.
- Center for Climate and Energy Solutions [C2ES].** (n.d.) Multi-state Climate Initiatives. Disponible en: <http://www.c2es.org/us-states-regions/regional-climate-initiatives>
- Clean Energy Ministerial [CEM].** (2012). Clean Energy Ministerial. Disponible en: <http://www.cleanenergyministerial.org/about/index.html>.
- Comisión Intersecretarial de Cambio Climático [CICC].** (2012). *Quinta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT] e Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático [INECC].
- CICC.** (2014). Programa Especial de Cambio Climático 2014-2018. (PECC).México: Diario oficial de la Federación [DOF] Disponible en: http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5342492&fecha=28/04/2014
- Comisión Europea.** (2011). La cooperación Unión Europa-México; herramientas para un mejor futuro. Disponible en: http://eeas.europa.eu/delegations/mexico/documents/projects/folleto_cooperacion_2011_es.pdf
- Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.** [CMNUCC]. (1992). United Nations Framework Convention on Climate Change. Disponible en: http://unfccc.int/files/essential_background
- CMNUCC.** (1998). Protocolo de Kioto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Naciones Unidas. 24 p.
- CMNUCC.** (n.d.). Public NAMA Country Pages, Mexico. Disponible en: <http://www4.unfccc.int/sites/nama/SitePages/Country.aspx?CountryId=112>
- Das, K.** (2015). Climate Clubs: Carrots, Sticks and More. *Economic and Political Weekly*, L (34). Disponible en: http://www.epw.in/system/files/pdf/2015_50/34/Climate_Clubs.pdf
- Galindo, L., M.** (2009). La economía del cambio climático en México, Síntesis. SHCP- SEMARNAT. Disponible en: <http://www.cepal.org/dmaah/noticias/paginas/2/35382/Sintesis2009.pdf>
- Gobierno de la República.** (2015). Contribución Prevista y Determinada a nivel Nacional de México. México: SEMARNAT. Disponible en: http://www.semarnat.gob.mx/sites/default/files/documentos/mexico_indc_espanolv2.pdf
- Gobierno de la República.** (2013). Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018 (PND). México: DOF Disponible en: http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5299465&fecha=20/05/2013
- Herreros, S.** (2012). Comercio y cambio climático: vínculos conceptuales y de regulación internacional. *Revista de Derecho Económico Internacional*. Número Especial, (2). Disponible en: http://dei.itam.mx/archivos/REVISTA_SEPTIEMBRE_NUMERO_ESPECIAL/articulo1.pdf
- ICLEI -Local Governments for Sustainability.** (2014). Friends of Cities at the UNFCCC. Disponible en: <http://www.iclei.org/climate-roadmap/advocacy/unfccc/friends-of-cities.html>.
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático [INECC].** (2012). Diagnóstico y evaluación de los esquemas financieros para proyectos de mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero. Disponible en: http://www.inecc.gob.mx/descargas/cclimatico/2012_estudio_cc_mitgef12b.pdf.
- Martínez, J. y Fernández, A. (coords.).** (2004). *Cambio climático: una visión desde México*. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Medel, G., M.** (2013). México y Alemania: socios estratégicos en la cooperación internacional para el desarrollo. *Revista Mexicana de Política Exterior*, (99).Disponible en: <http://www.sre.gob.mx/revistadigital/images/stories/numeros/n99/medel.pdf>.
- Moncult, L. de.** (2014). Carbonn Cities Climate Registry 2013 Annual Report, carbonn Cities Climate Registry. Disponible en: http://carbonn.org/fileadmin/user_upload/cCCR/cCCR_2014/cCCR-2013-annual-report.pdf

- Naciones Unidas.** (2014). Convention on Biological Diversity. Recuperado el 10 de 2014 de <http://www.cbd.int/> <http://www.cbd.int/convention/text/>
- Oberthür, S.** (2011). Global climate governance after Cancun: Options for EU leadership. *The International Spectator: Italian Journal of International Affairs*, 46: 1, 5-13. Disponible en: <http://www.tandfonline.com/toc/rspe20/46/1>,
- Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico [OCDE].** (2013). Evaluación de la OCDE sobre el desempeño nacional: México 2013. Disponible en: <http://www.oecd.org/fr/env/examens-pays/evaluaciondelaoedesobreeldesempeoambientalmexico2013.htm>.
- Panel Intergubernamental de Cambio Climático [IPCC].** (2014). AR5. Climate Change 2014, Mitigation of Climate Change, Chapter 13: International Cooperation: Agreements and Instruments http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg3/ipcc_wg3_ar5_chapter13.pdf
- Ponce, N.** (25 de mayo de 2014). Duplicará México aportación mundial en medio ambiente. *Milenio*. Disponible en: http://www.milenio.com/politica/Duplicara_Mexico-aptacion_mundial_en_medio_ambiente-Fondo_Mundial_para_el_Medio_Ambiente_0_305369694.html
- Proyecto Mesoamérica.** (2013). Estrategia Mesoamericana de Sustentabilidad Ambiental. Disponible en: http://www.proyectomesoamerica.org/joomla/index.php?option=com_content&view=article&id=186&Itemid=115
- Ramstein, C. y Ribera, T.** (noviembre, 2014). The LAC region in the face of climate change: perspectives on national policy and international cooperation. *Working Paper .A perspective from Latin American and Caribbean think tanks on climate change issues Series* IDDRI. (16). Disponible en: http://www.iddri.org/Publications/Collections/Idees-pour-le-debat/WP1614_CR%20TR_LAC%20chap%200.pdf
- Salazar, A. y O., Masera.** (2010). México ante el Cambio Climático. Resolviendo Necesidades Locales con Impactos Globales. Documento de Trabajo. Unión de Científicos Comprometidos con la Sociedad A.C. UNAM. 43 p.
- Sánchez, D., G.** (2012). The Global Cities Covenant on Climate "Mexico City Pact" A strategic Global Instrument for Cities and Local Governments Combatting Climate Change, Fundación Pensar. Disponible en: <http://www.mexicocitypact.org/downloads/texto-original/strategic%20document.pdf>
- Secretaría de Energía [SENER].** (2009). Políticas y medidas para facilitar el flujo de recursos derivados de los mecanismos internacionales de financiamiento. SENER. 49 p. Disponible en: http://www.sener.gob.mx/res/0/Mecanismos_financiamiento.pdf
- Secretaría de Gobernación [SEGOB].** (2014). Programa de Cooperación Internacional para el Desarrollo. México: DOF. Disponible en: http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5342827&fecha=30/04/2014
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT].** (2013). Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENCC). México: DOF. Disponible en: http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5301093&fecha=03/06/2013
- SEMARNAT.** (n.d.) Agenda Internacional de Cambio Climático. Disponible en: <http://www.semarnat.gob.mx/temas/agenda-internacional/cambio-climatico>
- Secretaría de Relaciones Exteriores [SRE].** (2013). Programa Sectorial de Relaciones Exteriores 2013-2018. México: DOF. Disponible en: <http://www.sre.gob.mx/images/stories/marconormativodoc/dof131213-p.pdf>
- SRE.** (n.d.) Cambio Climático. Disponible en: http://participacionsocial.sre.gob.mx/cambio_climatico.php
- Transparencia Mexicana [TM].** (2013). El financiamiento internacional para cambio climático en México: Arquitectura institucional y retos para la transparencia y rendición de cuentas en la efectividad del uso de los recursos. Programa de integridad en el financiamiento climático. Disponible en: http://www.tm.org.mx/wp-content/uploads/2013/10/PolicyPaper_TM_Financiamiento-Internacional-para-CambioClimatico-en-Mexico.pdf.
- Tudela, F.** (2014). *Negociaciones internacionales sobre cambio climático: estado actual e implicaciones para América Latina y el Caribe*. Cepal. Disponible en: <http://repositorio.cepal.org/handle/11362/37329>.



Capítulo 12

DESARROLLO REGIONAL Y MITIGACIÓN

Autores líderes:

Antonina Ivanova Boncheva³⁴, Alfredo Sergio Bermudez Contreras³⁰, Alejandro Chanona Burguete³⁵,
Ana Bertha Cuevas Tello³⁶, Silvia Guadalupe Figueroa González³⁷,
Gabriela Muñoz Meléndez³⁸ y Rodrigo Serrano Castro³⁹.

Autores colaboradores:

Adolfo de la Peña Barrón³⁹, María Eugenia Chiapa Díaz⁴⁰, Johanna Koolemans Beynen³⁰ y Antonio Martínez de la Torre³⁴.

³⁰Consultor, ³⁴Centro de Estudios APEC de la Universidad Autónoma de Baja California Sur,

³⁵UNAM FCPyS Centro de Relaciones Internacionales de la Facultad de Ciencias Políticas y Sociales,

³⁶UDG CUCSH Departamento de Estudios del Pacífico,

³⁷ITESM Campus Guadalajara Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey,

³⁸Departamento de Estudios Urbanos y del Medio Ambiente del Colegio de la Frontera Norte,

³⁹UABCS Universidad Autónoma de Baja California Sur,

⁴⁰PROFEPA Subdelegación Jurídica en Baja California Sur Procuraduría Federal de Protección al Ambiente.

Palabras clave: Cooperación regional, mitigación, Norteamérica, América Latina, Europa, Asia-Pacífico.

Resumen

México se encuentra inmerso en compromisos regionales y entre las formas de cooperación en las que participa el país, se encuentran acuerdos comerciales y convenios de cooperación en sectores de energía e infraestructura, los cuales permiten implementar instrumentos para la mitigación. La cooperación regional del país en materia de mitigación del cambio climático, ha orientado la toma de medidas internas a lo largo de los años, que han permitido avances quizá discretos pero constantes. Entre los principales acuerdos regionales de México en materia de mitigación, se ha trazado una cooperación con las regiones de Norteamérica, América Latina, Asia-Pacífico y Europa. Sobre esto versa el presente capítulo que además, identifica algunas áreas de oportunidad para la nación, aporta algunas iniciativas de cooperación a nivel interregional; y por último señala, la falla en la producción literaria, científica, con miras a la evaluación de resultados que tienen los instrumentos generados para la cooperación en la mitigación del cambio climático.



Introducción

Este capítulo tiene el objetivo de presentar la cooperación regional de México en materia de mitigación del cambio climático, se enfoca en la colaboración a nivel supranacional, es decir, a un nivel intermedio entre lo global y nacional. En principio, hay que decir que entre las formas de contribución en materia de mitigación donde participa México, se encuentran los acuerdos comerciales, así como convenios de cooperación en sectores de energía e infraestructura que permiten implementar instrumentos de mitigación. El país, también participa de manera activa en algunos grupos regionales de negociación en materia de cambio climático.

El cambio climático, por ser un mal común en el mundo, podría ser resuelto de manera más eficiente a nivel global, pero siendo difícil llegar a un acuerdo entre todos los países del mundo, las negociaciones a nivel regional constituyen una forma hacer alianzas y proponer soluciones importantes, aunque parciales. Llegar a acuerdos a nivel regional es más fácil, debido a factores como la cercanía geográfica, los objetivos comunes, la participación de un menor número de personas para pactar las medidas, aplicarlas y dar un seguimiento eficiente. En este capítulo, la primera parte es contextual y conceptual, en ella se abordan algunos fundamentos teóricos de la cooperación a nivel regional. Enseguida se toca el tema de las áreas de oportunidad para México. Para después entrar en el tema de los principales acuerdos de carácter regional con Norteamérica, América Latina, Asia- Pacífico y Europa. También se presentan algunos casos de colaboración interregional donde participa nuestro país. En las conclusiones, se destaca el hecho que aun cuando México ha sido activo en varios grupos de negociación multilateral, falta literatura científica que evalúe la implementación, el alcance y los resultados de los instrumentos que guían a los acuerdos de cooperación regional.

1. Fundamentos teóricos de la cooperación regional

Una de las características principales del sistema internacional es la anarquía; es decir, en la política internacional no existe una autoridad suprema por encima de los estados soberanos. Sin embargo, más que caos o ausencia de leyes lo que sobresale es un cierto grado de aceptación internacional de reglas, normas, instituciones comunes y acuerdos para la regulación y ordenación de las relaciones. Pudiera decirse que lo que prevalece en el sistema internacional es un elemento de orden precario e imperfecto (Dunne y Schmidt, 2001, pp. 142-143). Sin embargo, tal como lo señala Mearsheimer, no existe un “gobierno de gobiernos para hacer cumplir las normas y castigar a los culpables”, pero tampoco hay caos como tal (citado en Toft, 2005, p. 281).

Bajo esta característica, la base del relativo orden internacional es la cooperación. No obstante, los Estados no cooperan de manera espontánea, pues una vez que existe el interés nacional por cooperar se necesita la construcción de instituciones o regímenes internacionales que se encarguen de la negociación y el establecimiento de normas, leyes y acuerdos que permitan, en ausencia de un gobierno supranacional, fungir como tal y al mismo tiempo trabajar por el estímulo, el incentivo, el beneficio y la ganancia de cooperar (Ashley, 2009, p. 87).

Los acuerdos de integración regional surgieron en la década de los ochenta ante un evidente cambio en la postura del comercio internacional y la competitividad (Schiff y Winter, 2003, p. 5). Conforme a Vayrynen (Bravo, 2012) lo regional puede ser entendido en el sentido físico (geográfico o estratégico) y en el funcional (económico, ambiental y cultural). Refiere Bravo (2012), que en cuanto a lo físico, Vayrynen precisa que éste tiene relación directa con la anarquía, misma que conduce a los Estados a cooperar, ello con el objeto de, “...controlar territorios específicos y formar complejos de seguridad nacional...” (Vayrynen citado en Bravo, 2012, p. 42). En lo económico se refiere a la creación de una red de producción. En lo ambiental, específica por ejemplo, al espacio en donde puede caer una lluvia ácida. Mientras que lo cultural, hace mención al sentido de identidad, la práctica de alguna característica específica, entre otros. (Ibid).

En la cooperación entre naciones de una región, es muy importante tomar en cuenta la relación entre el desarrollo (crecimiento económico) y las políticas de mitigación. Entre las formas de cooperación en materia de mitigación donde participa México, se pueden mencionar los acuerdos comerciales y los convenios de cooperación en sectores de energía o infraestructura que permiten implementar instrumentos de mitigación.

La importancia de la cooperación deviene de los siguientes aspectos: en primer lugar, las regiones tienen diferentes niveles de desarrollo, que suponen patrones de uso de energía y de consumo. Por ejemplo, los acuerdos de cooperación regional que tienen miembros de bajo nivel de desarrollo, pueden encausar sus vías de desarrollo hacia el uso de tecnologías verdes y energías renovables (Agrawala et ál., 2014). En segundo lugar, la cooperación regional es una fuerza poderosa en la política y la economía a nivel global, incluyendo el área ambiental (se resuelven asuntos transfronterizos en materia de contaminación, uso de energía, recursos hídricos, etc.). Así, la escala regional ofrece oportunidades clave para mejorar las acciones de mitigación, aprendiendo de las experiencias de los países vecinos (Ramstein y Ribera, 2014) y creando sinergias mediante la colaboración.

En tercer lugar, las acciones a nivel regional complementan por un lado las acciones a nivel global y, por otro lado, las políticas nacionales (esto se ha mostrado, ante todo, en el sector energía por medio de la implementación de redes inteligentes y de energías renovables).

Debido a que el cambio climático es un mal común en el mundo, éste podría ser resuelto de manera más eficiente a nivel global; pero ante la dificultad de llegar a un acuerdo entre todos los países del mundo, los pactos a nivel regional constituyen las bases para acercarse a tal propósito y proponer soluciones importantes, aunque parciales. La obtención de acuerdos a nivel regional, resulta más sencilla si se toman en cuenta factores como la cercanía geográfica, los objetivos comunes, la participación de un menor número de personas para pactar las medidas a aplicar y en cómo hacer un seguimiento eficiente. No obstante, hay autores, que sostienen que la proliferación de acuerdos regionales puede impedir el establecimiento de un acuerdo a nivel global (Biermann et ál., 2009; Zelli, 2011; Leal, 2011; Balsiger y VanDeveer, 2012). Aunque por otro lado, los modelos de la teoría



de juegos han demostrado que varios acuerdos a nivel regional funcionan mejor que un acuerdo a nivel global, disminuyendo la posibilidad de algunos de los participantes de convertirse en free-riders (Asheim et ál., 2006; Osmani y Tol, 2010). Además, constituir foros complementarios para la negociación de los actores-clave involucrados en la cooperación regional (Lawrence, 2009) fomenta la cooperación regional e interregional (Carrapatoso, 2008; Leal, 2013).¹ Es importante mencionar también que 60 % de los pactos ambientales en el mundo tienen carácter regional (UNEP, 2001; Balsiger y VanDever, 2012).

En este contexto, existen tres grandes grupos de pactos que pueden coadyuvar a la mitigación: acuerdos específicos para acción climática, acuerdos de transferencia de tecnología y acuerdos de comercio e integración. Los dos últimos se pueden denominar como relevantes para la acción climática (Agrawala et ál., 2014; Stavins et ál., 2014). Dada la importancia clave del sector energía para la mitigación, la cooperación regional en el sector energético adquiere relevancia especial. Se centra ante todo en la eficiencia energética y la implementación de energías renovables y se basa en acuerdos más amplios de cooperación en política económica, desarrollo, y homogeneización de normatividad. La profundidad de esta cooperación depende de la integración económica entre los países, su capacidad tecnológica e institucional y la disponibilidad de recursos financieros. Siempre están incluidas también consideraciones como seguridad energética o el acceso a energía por parte de población en situación de pobreza (Shukla y Dhar, 2011; Criqui y Mima, 2012).

De conformidad a lo anterior, en ausencia de un gobierno supranacional las economías de varias regiones del mundo, han venido firmando una serie de acuerdos de cooperación tanto en el sentido físico (por ubicación geográfica) como por la utilidad funcional especialmente en lo que se refiere a lo económico, ambiental y la seguridad nacional, incluyendo la acción ante el cambio climático.

2. Cooperación regional y áreas de oportunidad para México

México se encuentra inmerso en varios compromisos regionales en materia de cambio climático, mismos que lo han llevado a tomar medidas internas que a lo largo de estos años han presentado avances discretos, pero constantes. Prueba de esto se tiene que en 2012 estableció una ley específica frente al tema (Ley General sobre el Cambio Climático), ello entre otros tantos resultados de eficiencia energética. El gobierno de México ha asumido en diversos foros internacionales, la responsabilidad primaria de protección del medio ambiente y los recursos naturales. También ha reconocido la necesidad de encontrar soluciones mediante la cooperación a nivel internacional y regional sustentada en los principios de soberanía, igualdad entre naciones, equidad en la responsabilidad y precaución ante los problemas futuros (Ivanova y Estrella, 2012) (ver Figura 1).

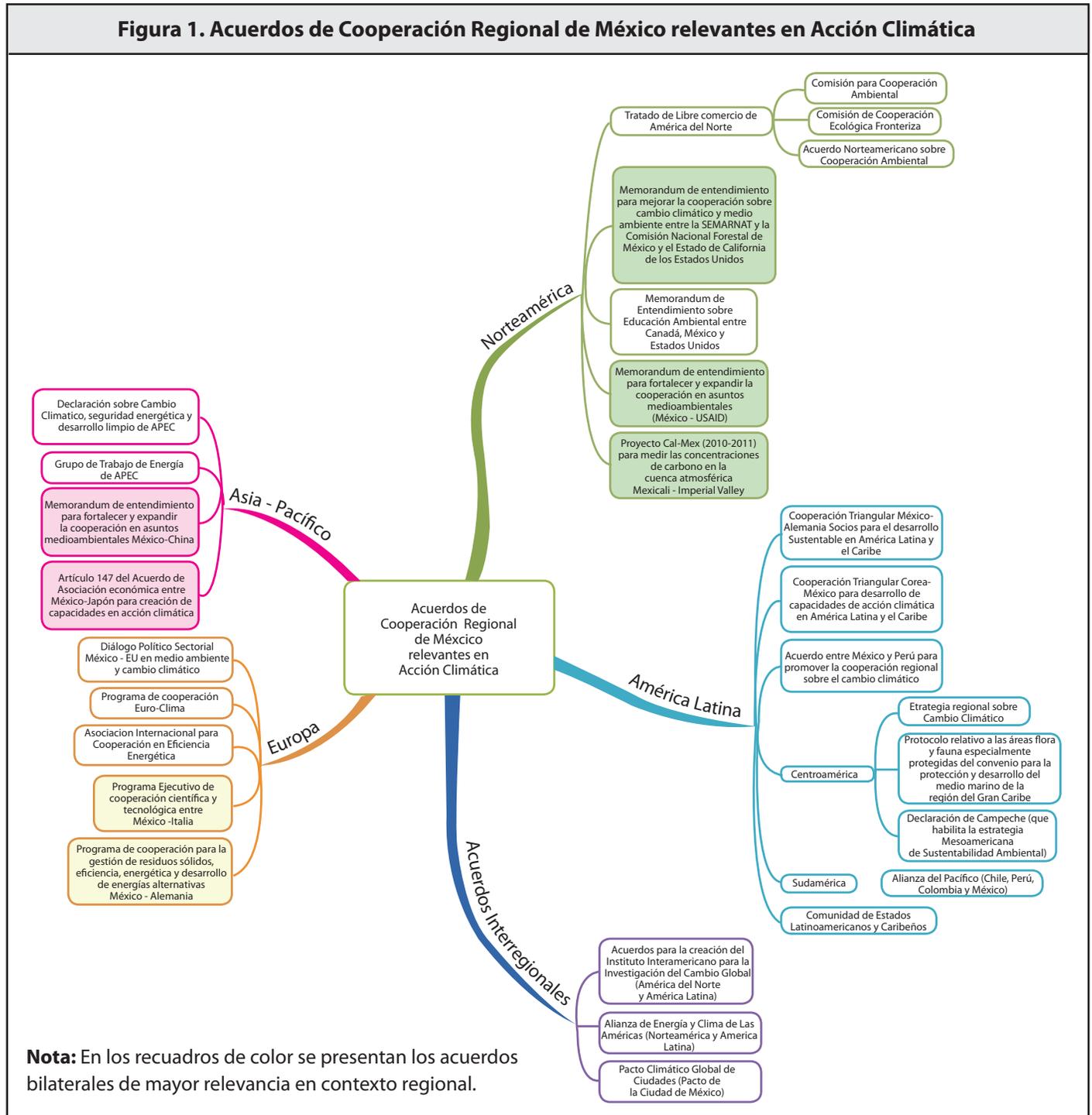
La situación de México en cuanto al cambio climático y la seguridad energética es la siguiente: el país ocupa la décimo tercera posición con mayor emisión de GEI en el mundo (Banco Mundial, 2010a). De la década de los noventa al 2012, el consumo de combustibles fósiles está creciendo más de prisa (1.8% promedio anual) que la producción de éstos (0.6 % promedio anual). El 90 % de la energía que se consume en el país proviene de los combustibles fósiles, mientras que el promedio mundial es 80 %. Es decir, México tiene un 10 % más de dependencia de estos recursos que el resto del mundo. A su vez, conforme al Anuario Estadístico de Petróleos Mexicanos (PEMEX) 2013, las reservas y la producción de hidrocarburos totales de México están disminuyendo, pasando por ejemplo, de 55,951.9 miles de barriles en 2002 a 44,530.0 en 2013. Además, casi el 30 % de la superficie de México está cubierta de bosques, sin embargo, México presentó una tasa de deforestación de 0.4 % promedio anual en los últimos veinte años, es decir, durante este periodo perdió 5.5 millones de hectáreas de bosques (Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO], 2012a ; 2012b). Ello, sin olvidar que México también es altamente vulnerable a que el cambio climático impacte negativamente en el agua (Mendoza, Villanueva y Maderey, 2008), la agricultura (Conde et ál., 2008), los bosques (Villers y Trejo, 2008) y la salud humana (Garibay, 2011).

Por lo anterior, por medio de los acuerdos de cooperación regional México tendría los siguientes beneficios: Transferencia de tecnología amable con el medioambiente a través de una red regional; fondos verdes y asesoría para incremento del área de

¹ Para más detalles sobre la aportación de los acuerdos regionales a la disminución de emisiones de GEI y la acción climática, véase Agrawala et ál., (2014).

bosques; acceso a la información de estrategias y mecanismos de eficiencia energética; capacitación en mecanismos de energía alternativa, renovables y nuclear; y apertura comercial al mercado de bienes y servicios ambientales. Por lo tanto, las relaciones de cooperación representan una oportunidad para México, no sólo por lo mencionado anteriormente, sino que además, por la reforma energética de 2013, la Inversión Extranjera Directa (IED) en este rubro abre aún más la posibilidad de ampliar los mecanismos de cooperación a nivel regional.

Figura 1. Acuerdos de Cooperación Regional de México relevantes en Acción Climática



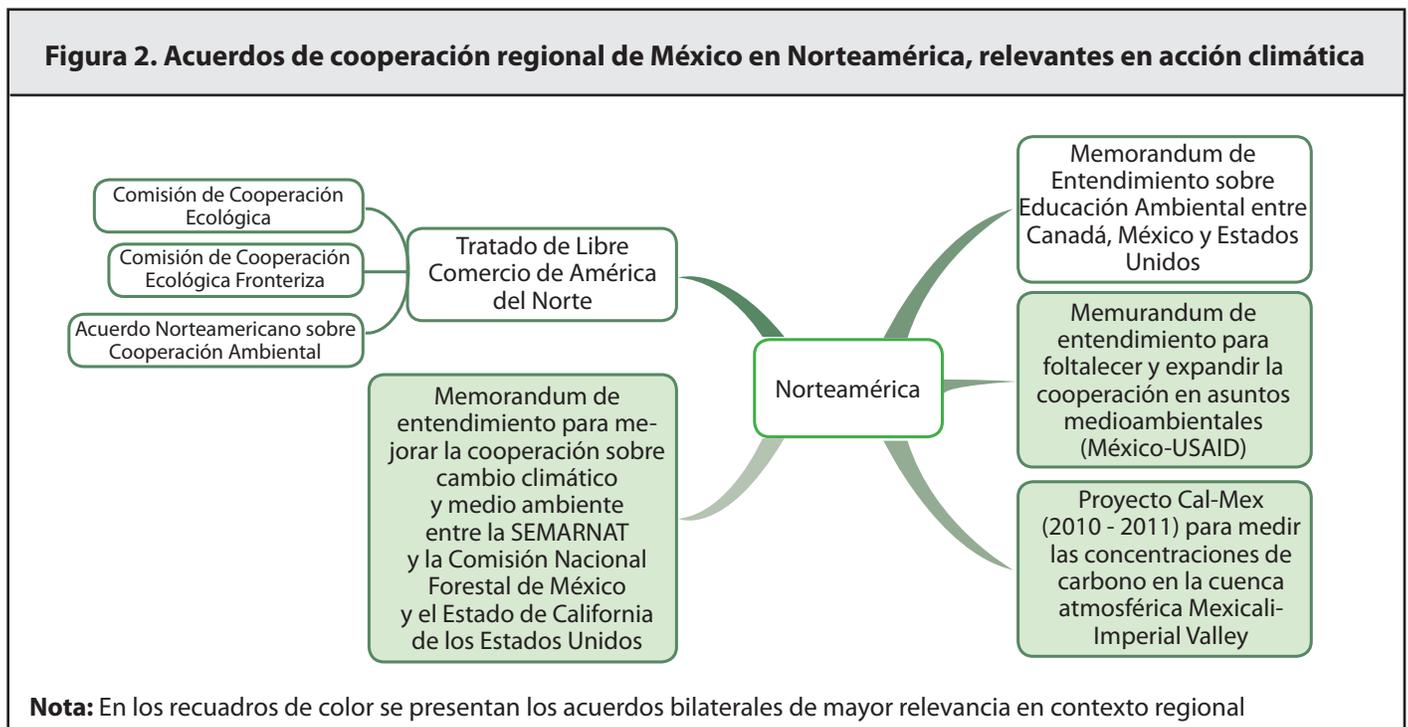
Fuente: (Ivanova y Estrella, 2012)

3. Principales acuerdos regionales de México con cooperación en materia de mitigación

3.1 Norteamérica

La cooperación ambiental entre los tres países de Norteamérica, se delinea de 1992 a 1994, antes de la entrada del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN). En ella la idea general de sostenibilidad apunta a conservar los recursos naturales sin detener el tráfico comercial que se desarrolla en la región, y consecuentemente, su crecimiento económico; aún a pesar de la discrepancia que existe entre cada una de las legislaciones ambientales y que por cierto, no incluye consideraciones hacia la reducción de gases de efecto invernadero (Cortés, 2010).

Los acuerdos y acciones de cooperación en Norteamérica son ejemplo de la gobernanza climática al implicar diversos actores y niveles de vinculación: desde el ámbito trilateral auspiciado por el Tratado de Libre Comercio, hasta lo subnacional, sin dejar de lado los acuerdos bilaterales, como lo ejemplifica el gráfico siguiente, y la explicación que lo acompaña enseguida.



Fuente: (Vannijnatten y Craik, 2013)

En el marco del TLCAN, los países miembro (Canadá, México y Estados Unidos) crearon el Acuerdo Norteamericano sobre Cooperación Ambiental (NAAEC, por sus siglas en inglés). Este acuerdo estableció un organismo internacional, la Comisión para la Cooperación Ambiental (CEC, por sus siglas en inglés), la cual tiene por objeto facilitar la cooperación y la participación ciudadana en la conservación, protección y mejora del ambiente a nivel regional (Craik, 2013). Se han realizado varias iniciativas por la CEC, tales como los cambios de la cobertura del suelo y la evaluación de la comparabilidad de los inventarios de gases de efecto invernadero en América del Norte (CEC, 2014a), sin embargo, falta reforzar las iniciativas de acción climática (Betsill, 2007; Agrawala et ál., 2014). Estudios empíricos sobre el TLCAN, han mostrado evidencia mixta sobre las consecuencias ambientales de la integración regional en Norteamérica, siendo de poca dimensión los impactos en México (Kaufmann, Pauly y Sweitzer, 1993; Stern, 2007). La cooperación en acción climática en América del Norte es un proceso dinámico y flexible que no sustituye, sino complementa al régimen climático a nivel mundial (Vannijnatten y Craik, 2013) (ver Figura 2).

La publicación de la Ley General de Cambio Climático el 6 de junio del 2012, colocó a México a la vanguardia de América del Norte en materia de legislación sobre cambio climático, pues ni Estados Unidos de Norteamérica (EE.UU.) ni Canadá han logrado algo similar (Ávila, 2012). A pesar de que México, al ser país No Anexo I, no tiene compromisos cuantificables de reducción de emisiones, la mencionada ley establece un compromiso de reducir en 30 % sus emisiones nacionales de GEI para 2020 con respecto a un escenario business as usual, siempre y cuando exista apoyo financiero y tecnológico de los países desarrollados. Adicionalmente se considera una reducción de 50 % de las emisiones del año 2000.

Existieron intentos previos de legislar sobre cambio climático en Norteamérica. En 2009, en EE. UU. se debatió la aprobación de la Ley Estadunidense sobre Energía Limpia y Seguridad (American Clean Energy and Security Act) o la ley Waxman-Markey, que en su momento representó la primera legislación sobre cambio climático aprobada por la Cámara de Representantes de Estados Unidos, pero cuando fue turnada al Senado de ese país, en abril de 2010, colapsó (Hulse y Herzenhorn, 2010). En 2010, Canadá, intentó aprobar una legislación comprehensiva y de largo plazo sobre cambio climático, la Ley de Cambio Climático y Rendición de Cuentas (Climate Change Accountability Act Bill C-311) que fue aprobada en la Cámara de los Comunes pero no en el Senado (Parliament of Canada, sf).

Ante la falta de un frente común en América del Norte para enfrentar al Cambio Climático², se ha reportado el surgimiento de una gobernanza norteamericana multinivel, es decir, una política regional de cambio climático, en la que influye la acción gubernamental e intervienen actores no estatales como empresas, organizaciones civiles y centros de conocimiento (universidades e institutos de investigación), que no se dirigen siempre al gobierno federal sino también en el nivel local (municipal) y estatal/ provincial (Carmona, 2012).

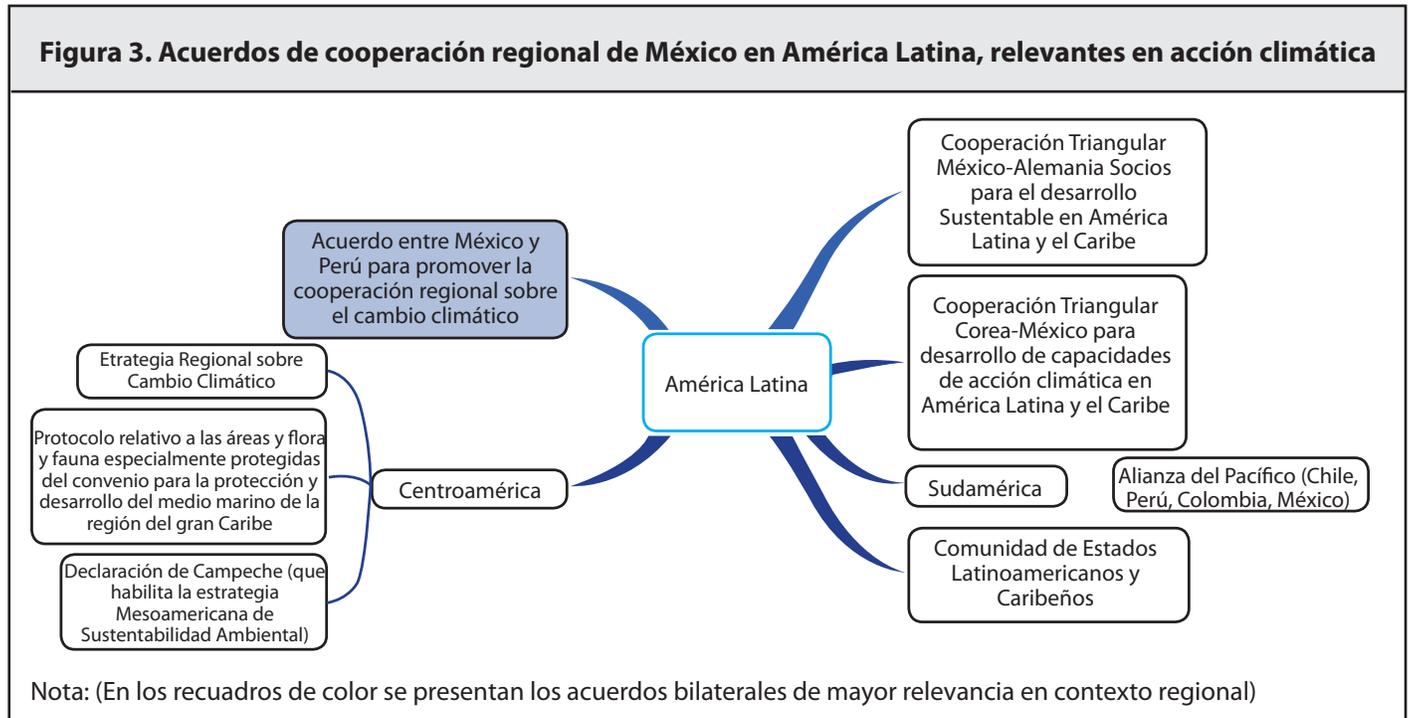
Ejemplos de medidas locales para reducción de emisiones GEI en México incluyen el desarrollo de Programas de Acción ante el Cambio Climático a nivel estatal (PEACC) o herramientas a nivel subnacional para implementar a través de sus propias instituciones medidas de mitigación y políticas de adaptación al Cambio Climático en su territorio (Tejeda y Conde, 2008). Hacia 2013, las 32 Entidades Federativas del país realizaban esfuerzos en la materia. Por ejemplo, actividades particulares como la Iniciativa Regional sobre Gases de Efecto Invernadero (Regional Greenhouse Gas Initiative, RGGI), la Iniciativa Climática del Oeste (Western Climate Initiative, WCI), la alianza regional entre la Comisión de Cooperación Ecológica Fronteriza (COCEF) y el organismo Center for Climate Strategies (CCS) quienes en 2006 impulsaron la realización de inventarios de emisiones de GEI y planes estatales de acción climática (PEAC) en los seis estados fronterizos mexicanos (COCEF, 2015). En 1992, los tres países de América del Norte firmaron el Memorándum de Entendimiento sobre Educación Ambiental con miras a promover, desarrollar, coordinar y crear capacitación educativa y ambiental conjunta, así como para intercambiar información que mejore la protección del medio ambiente, la calidad de vida y la conciencia pública a fin de promover el desarrollo sustentable en cada uno de los países (CEC, 2014b). Los EE.UU. y México también cooperan en varios proyectos fronterizos. El proyecto Cal-Mex (2010-2011) midió las concentraciones de carbono negro en la cuenca atmosférica Mexicali-Imperial Valley con el propósito de apoyar proyectos de mitigación en la zona (Comisión Intersecretarial de Cambio Climático [CICC], 2012; Santillán et ál., 2013). En 2012, México firma con la USAID un Memorándum de entendimiento para fortalecer y expandir la cooperación en asuntos medioambientales, incluyendo la acción climática (AMEXID, 2012).

En 2014, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) y la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) firmaron un Memorándum de Entendimiento, con vigencia hasta el 2018, para Mejorar la Cooperación Sobre Cambio Climático y Medio Ambiente con el Estado de California, que tiene como objetivo promover acciones bilaterales en cuatro ejes fundamentales: cambio climático, incendios forestales, calidad del aire y transporte limpio (Memorándum de Cooperación Ambiental México California, 2014). Es un caso especial de cooperación regional donde dos instituciones públicas de un país (México) firman un acuerdo con un estado de otro país (EE.UU.).

² Para más detalles sobre los avances de las políticas de cooperación para acción climática en Norteamérica, véase Craik, N. et ál., Eds (2013).

3.2 América Latina

México participa en distintos esquemas de cooperación en el ámbito latinoamericano: cooperación triangular con Corea del Sur y Alemania, cooperación Sur-Sur con Perú y en modalidad multilateral con los distintos bloques de integración regional como la Comunidad de Estados Latinoamericanos y Caribeños, la Alianza del Pacífico, Mesoamérica, el Gran Caribe y Centroamérica. A continuación se describirán los acuerdos resultantes, representados en la Figura 3.



Fuente: Elaboración propia.

La Comunidad de Estados Latinoamericanos y Caribeños (CELAC), es un organismo intergubernamental en el que participan 33 países de la región. Es heredero de iniciativas como el Grupo de Río y las Cumbres de América Latina y el Caribe sobre Integración y Desarrollo (CALC). Su creación se decidió en 2010 en la “Cumbre de la Unidad”, celebrada en la Riviera Maya, México. Por lo reciente de su formación como foro político de alto nivel, la CELAC no ha terminado todavía de consolidar su agenda, que en principio es de muy amplio alcance. En el marco de un compromiso general con el desarrollo sostenible, en sus dimensiones social, económica y ambiental, la CELAC ha mencionado en diversos documentos el tema del cambio climático (Tudela, 2014).

En el caso de la cooperación de México con sus socios de América Latina, destacan los documentos desarrollados por el Sistema de Integración Centroamericana (SICA) sobre los esfuerzos regionales para implementar medidas de adaptación y mitigación contra el cambio climático y en los cuales se denota la alta vulnerabilidad de los países Centroamericanos a los cambios ambientales.

Entre ellas, destaca la Estrategia Regional sobre Cambio Climático de 2010 que pone atención en medidas relacionadas con la reducción del riesgo de desastres, agricultura, seguridad alimentaria, bosques y biodiversidad, agua, salud, turismo, pueblos indígenas e infraestructura pública. Así como el documento Review of Current and Planned Adaptation Action: Central America and Mexico (Keller, Echeverría y Parry, 2011) que, como su nombre lo indica, realiza un análisis y evaluación de las medidas regionales en materia de adaptación al cambio climático.

El Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) también ha publicado documentos relacionados con el cambio climático y la agricultura, tales como el Boletín IICA ambiente y clima y las notas técnicas de su programa de cooperación en cambio climático que fue lanzado en junio de 2011.

Por otra parte, México y Alemania han puesto en marcha programas de cooperación triangular en temas como energía sustentable, mitigación del cambio climático y adaptación a sus impactos, así como uso sustentable y conservación de la biodiversidad. En Cooperación Triangular México-Alemania Socios para el desarrollo sustentable en América Latina y el Caribe, la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) y la Agencia Mexicana de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AMEXCID) dan cuenta de los programas de cooperación que se mantienen con organismos regionales y países como Guatemala, Perú, República Dominicana, Bolivia, Colombia, Ecuador, Paraguay y el Proyecto Mesoamérica. El Plan de Acción firmado entre Alemania y México, además de hablar de apoyo de un país desarrollado (Alemania en este caso) hacia otro en desarrollo (México), también habla de la cooperación entre los dos países dirigido hacia otros países de América Latina y el Caribe (Medel, 2014). Corea y México también están cooperando para fomentar el desarrollo de capacidades técnicas en América Latina y el Caribe para poder actuar efectivamente contra el cambio climático, ahora en un concepto de cooperación sur-sur (SEMARNAT, 2015).

El nivel local ha adquirido importancia en años recientes. En los textos *Political and Institutional Challenges facing Local Climate Change Policies: The experiences of Buenos Aires, Mexico and Sao Paulo* (2012) se analiza el caso de la Ciudad de México.

En 2011, México firmó un nuevo acuerdo de integración regional mejor conocido como Alianza del Pacífico (Chile, Perú, Colombia y México), en él destacan tres objetivos: la libre circulación de personas; el impulso al crecimiento, desarrollo y competitividad de los países miembros y, el convertirse en una plataforma política de integración económica y comercial con miras a proyectarse al mundo y, con mayor énfasis, a Asia Pacífico. Lo interesante de este acuerdo es que incluyeron los temas ambientales y el cambio climático, pues la Alianza del Pacífico en dos de sus proyectos de cooperación se enfocaron en estos temas: Integración de fomento a la producción y el consumo sustentable y la cooperación científica en materia de cambio climático. No obstante, aún no se señalan los medios para empezar a trabajar en ello (Alianza del Pacífico, 2014).

En 1990 fue firmado, y en 2000 entró en vigor el Protocolo relativo a las áreas y flora y fauna especialmente protegidas del Convenio de Protección y Desarrollo del Medio Marino del Gran Caribe, también conocido como protocolo SPAW. Su objetivo principal es el proteger los hábitats raros y frágiles mediante la protección de especies amenazadas o en peligro de extinción fortaleciendo así el patrimonio y los valores culturales de los países y territorios de la región del Gran Caribe³. La Unidad de Coordinación del Caribe, busca el cumplimiento de este objetivo asistiendo a los países en el establecimiento de medidas para el manejo de áreas protegidas (importantes como sumideros de carbono), manejo sustentable y uso de especies, asistencia para conservar ecosistemas costeros que se vuelven más vulnerables actualmente por los impactos (Unión Internacional para Protección de la Naturaleza [UICN], 2002).

En 2008 los ministros de ambiente de Mesoamérica suscribieron la "Declaración de Campeche" en la que expresaron el acuerdo de adoptar y ejecutar la Estrategia Mesoamericana de Sustentabilidad Ambiental (EMSA), impulsada en el marco del Plan Puebla Panamá (PPP) y de la Comisión Centroamericana de Desarrollo Ambiental (CCAD). EMSA busca profundizar y diversificar la cooperación regional en materia ambiental en un contexto de creciente vinculación económica, política y social entre los países de la región mesoamericana: Belice, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, México, Nicaragua y Panamá. La EMSA pretende servir de fundamento a un esquema amplio, estructurado y flexible de cooperación que apunte una estrategia de desarrollo sustentable y participativa de la región mesoamericana capaz de traducirse en un mejoramiento en las condiciones de vida de sus habitantes (SEMARNAT, 2014).

Además, la EMSA rescata y busca dar continuidad a importantes experiencias regionales de cooperación en materia ambiental, como el Corredor Biológico Mesoamericano (CBM) y el Sistema Arrecifal Mesoamericano (SAM). También recoge la experiencia

³ El texto completo del Protocolo se puede consultar en el Registro de Acuerdos Nacionales Relativos al Medio Ambiente (1993)



de cooperación en temas ambientales lograda por las naciones centroamericanas a través de la Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo (CCAD).

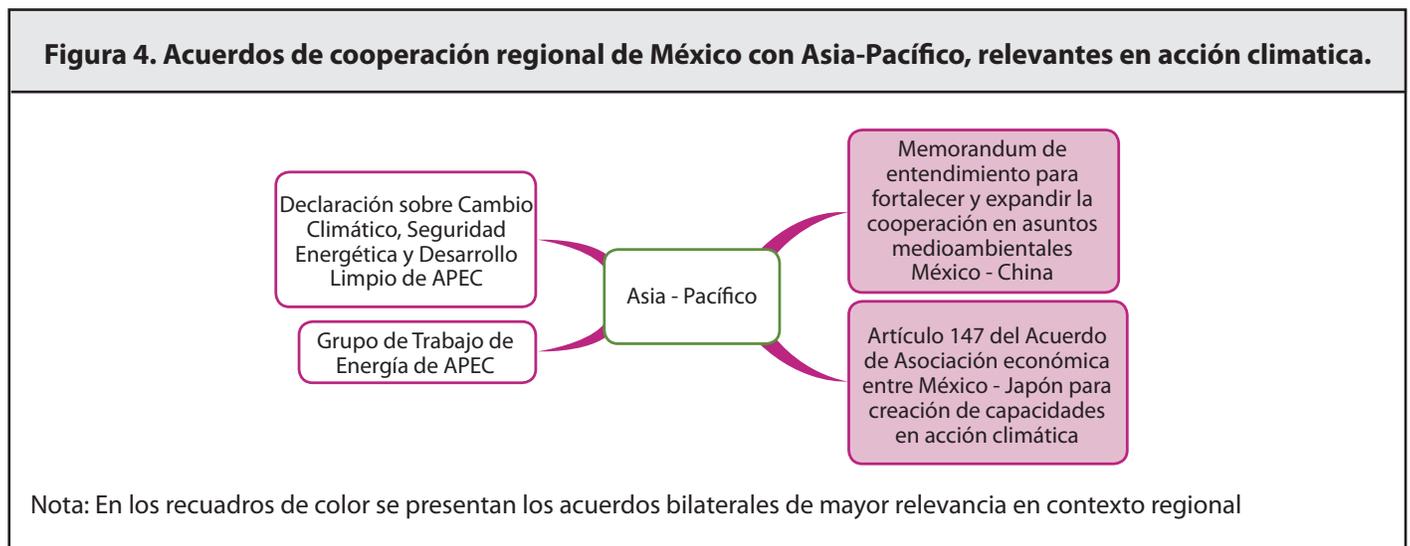
La formulación de la EMSA se puede entender como un proceso de consenso entre los países de la región para definir y seleccionar los asuntos particulares objeto de la cooperación. Inicialmente, los ministros de ambiente determinaron tres áreas estratégicas: biodiversidad y bosques, cambio climático y competitividad sustentable (Ibid).

Durante la XIX Reunión del Foro de Ministros de Medio Ambiente de América Latina y El Caribe, realizada en marzo del 2014 en Los Cabos, se firmó un acuerdo entre Perú y México para promover la cooperación regional sobre el cambio climático, que permita brindar un apoyo a los países interesados en el desarrollo e implementación de políticas y legislación climáticas, así como de acciones de adaptación. Este programa regional liderado por ambos países, supone contribuir en la generación de capacidades y sinergias para el crecimiento verde (Ministerio del Ambiente de Perú, 2014).

3.3 Asia y el Pacífico

Para destacar la importancia de la cooperación de México con la región de Asia Pacífico, debe quedar claro que las economías que se encuentran situadas en esta área geográfica son sumamente relevantes en cuanto al asunto del cambio climático (Ivanova, 2009). Ello se debe, por un lado, a que son las responsables directas de las causas que generan este mal público global al emitir el 61 % de los gases de efecto invernadero en el planeta, y por el otro, porque es una de las zonas del mundo más vulnerable a los daños, amenazas y riesgos del cambio climático⁴ (PECC, 2012 y Asian Development Bank-ADB, 2013). Bajo esta premisa no existe ninguna otra región en el planeta que se encuentre en la misma circunstancia que Asia Pacífico, por lo tanto, lo que aquí se haga o se deje de hacer, tendrá un impacto positivo, o negativo, en todo el planeta (Cuevas, 2014).

México forma parte del Foro de Cooperación Económica Asia Pacífico (APEC, por sus siglas en inglés) en el que se han establecido objetivos de mitigación climática e instrumentado programas y grupos de trabajo. México también ha realizado cooperación bilateral en la región con países como China y Japón. A continuación se explicará la tónica de la cooperación que resume la Figura 4.



Fuente: Elaboración propia.

De manera particular, desde la década de los noventa, cada una de las naciones ha establecido medidas contra el cambio climático desde su esfera nacional y algunas han ratificado su grado de cooperación a nivel internacional. Sin embargo, en el 2007

⁴ Especialmente en cuanto al agua se refiere (sequías, inundaciones, escasez, deslaves, etc.)

las economías miembro del Foro de Cooperación Económica de Asia Pacífico, lanzaron una declaración, que por la relevancia de las economías firmantes,⁵ y los objetivos planteados, causaron interés internacional. La Declaración sobre Cambio Climático, Seguridad Energética y Desarrollo Limpio (Declaración de Sídney), aunque sostiene que el crecimiento económico de APEC ha reducido la pobreza y mejorado los estándares de vida, reflexiona que el éxito ha dependido de la oferta energética que, al ser usada, ha mermado la calidad del aire por la emisión de GEI.

En esta Declaración las economías del APEC establecen como objetivos: reducir la intensidad energética al menos 25 % para 2030 (tomando como año base 2005); incrementar la cubierta forestal de la región al menos 20 millones de hectáreas de bosques para 2020; establecer una red de tecnología energética para colaborar dentro de la región y otra de manejo sustentable de los bosques (APEC, 2007). Sin embargo, la contribución principal de APEC en su lucha frente al cambio climático ha sido posterior a esa fecha, pues los mecanismos establecidos para alcanzar los objetivos son los que verdaderamente hacen la diferencia en cuanto a compromisos de cooperación con otros organismos internacionales del cambio climático. Por lo que, la Iniciativa verde enfocada en las micro, pequeñas y medianas empresas (PYMES), el uso de la tecnología de baja emisión e innovación, el consumo de energía alternativa, renovable y nuclear, la seguridad energética, el transporte y el impulso hacia el mercado de los bienes y servicios ambientales son los medios que APEC propone para hacer frente al cambio climático (Ivanova et ál, 2013).

APEC también presenta un ejemplo de cómo las medidas de política comercial pueden ser usadas para fomentar el comercio y las inversiones en bienes y servicios ambientalmente amigables. Así, en 2011 los líderes de APEC decidieron reducir los aranceles a 5 %, o menos, para los bienes amigables con el medio ambiente para el fin de ese año (APEC, 2011; Agrawala et ál, 2014). Aunque esta decisión no es legalmente vinculante, esta “ley blanda” puede ayudar a definir los estándares aplicados por los estados “de buen gobierno” (Dupuy, 1990; Abbott y Snidal, 2000).

Cabe señalar que la APEC tiene también un Grupo de Trabajo de Energía, que se fundó en 1990 para maximizar la contribución del sector energía para el desarrollo económico y el bienestar social a nivel regional, minimizando al mismo tiempo la emisión de GEI y los impactos sobre el medio ambiente, producto del suministro y uso de energía (APEC Secretariat, 2012). Los otros grupos de trabajo, como transporte y turismo también tienen en su agenda acciones climáticas (Ivanova et ál., 2013).

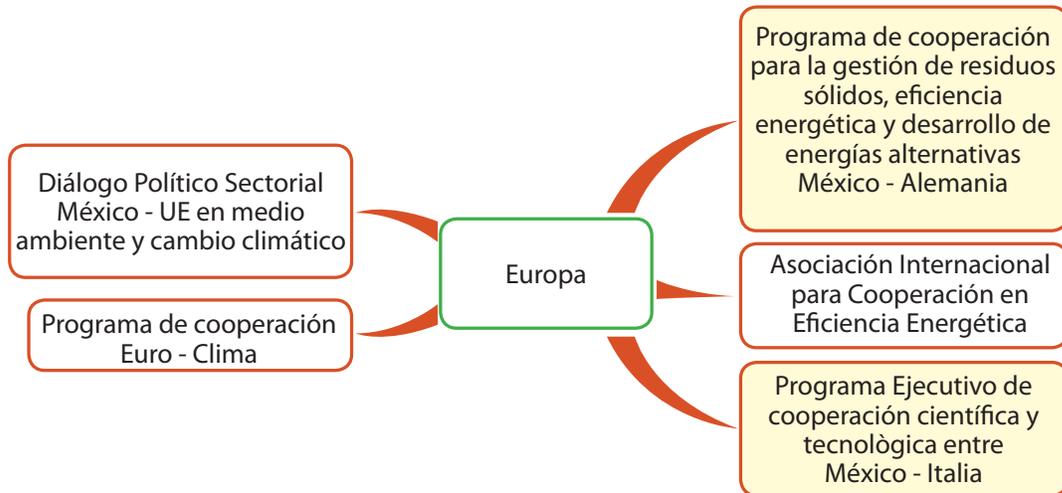
Un caso interesante de cooperación en la región Asia – Pacífico, aunque se trate de cooperación bilateral es la disposición acordada en el artículo 147 del Acuerdo de Asociación Económica entre México y Japón de fomentar la creación de capacidades para implementar el Mecanismo de Desarrollo Limpio (CDM, por sus siglas en inglés) (Agrawala et ál, 2014). Con China, nuestro país ha firmado un Memorándum de entendimiento para la cooperación en energía renovable, que se enfoca a cooperación en energía solar y recuperación de dióxido de carbono (Secretaría de Energía [SENER], 2013).

3.4 Europa

México es considerado por la Unión Europea (UE) como un socio estratégico en América Latina y el Caribe (ALC). La cooperación entre México y esta región cuenta con más de 30 proyectos de investigación, y con un Diálogo de Alto Nivel (Comisión Europea, 2011). La cooperación México - UE en temas relacionados con el cambio climático incluye programas que se desarrollan en el marco bilateral y birregional (ALC-UE). La Figura 5, muestra los principales acuerdos y programas de cooperación que serán explicados en las siguientes líneas.

⁵ 1) China y Estados Unidos son los mayores emisores de GEI en el mundo. 2) Las tres principales potencias económicas del mundo (China, Estados Unidos y Japón).

3) El mayor porcentaje de consumo de energía en el planeta (60 %) y 4) la más grande extensión de bosques.

Figura 5. Acuerdos de cooperación regional de México en Europa, relevantes en acción climática

Nota: En los recuadros de color se presentan los acuerdos bilaterales de mayor relevancia en contexto regional

Fuente: Elaboración propia.

El análisis de los documentos publicados por la UE da cuenta de los temas prioritarios para la cooperación en esta área: mitigación y adaptación para el cambio climático, crecimiento económico ambientalmente sustentable, y energía. En el Country Strategy Paper 2007-2013 la UE hace referencia a la degradación ambiental y centra su interés en la cooperación para el crecimiento de la economía ambientalmente sustentable (Environmentally sustainable economic growth) como uno de los sectores focales de la cooperación (Comisión Europea, 2007).

En 2010, se publicó el Plan Ejecutivo Conjunto de la Asociación Estratégica México-UE en el que se establece el Diálogo Político Sectorial México - UE en Medio Ambiente y Cambio Climático y la UE se comprometió a compartir la experiencia del Sistema Europeo de Comercio de Emisiones con México con la finalidad de apoyar el eventual establecimiento de un sistema similar en el país. En tanto que en el Country Briefing on Regional Cooperation Programmes-Mexico, 2013 se presenta la ficha técnica de los proyectos.

A nivel birregional México participa en el programa de cooperación Euro - Clima, financiado por la Comisión Europea con el objetivo de fortalecer la cooperación ALC - UE en los temas relacionados con el cambio climático. En este marco entre 2011 y 2012 se publicaron seis boletines de carácter informativo sobre diversos temas relacionados con el cambio climático: agua, la Cumbre de Durban, los impactos del cambio climático, economía y financiamiento.⁶

Entre las actividades de Euro - Clima se han financiado estudios sobre los impactos socioeconómicos del cambio climático en la región, desarrollados con la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). En este marco se han publicado 16 textos que tratan diversas problemáticas a nivel nacional y regional. Entre estos se han dedicado tres a México en materia de distribución del ingreso y pobreza, comercio interregional de alimentos y producción de maíz y nueve enfocados a la región.

⁶ Boletín #1: Boletín informativo (2011); Boletín #2: Agua y Cambio Climático en América Latina (2011), Boletín #3: La Cumbre de Durban: Consecuencias para América Latina (2012); Boletín #4: Cambio Climático en América Latina: Suelos, Desertificación y Sequía (2012) Boletín #5: Economía del Cambio Climático en América Latina (2012), Boletín #6: Financiamiento al Cambio Climático en América Latina (2012)

En cuanto a la eficiencia energética, en el *Strengthening Clean Energy Technology Cooperation under the UNFCCC: Steps toward Implementation* (Benioff et ál, 2010) se hace referencia a los acuerdos de los países del G8 más Brasil, China, India, Corea, México y la Comisión Europea para acelerar la implementación de medidas de eficiencia energética a través de la *International Partnership for Energy Efficiency Cooperation*.

Los programas de cooperación bilateral son muy importantes para México. Alemania es uno de los países más activos de la UE en materia de cooperación con el país.⁷ En este caso destacan los documentos sobre los programas que mantiene con México. Tal es el caso de *Red GIRE SOL Esfuerzos locales, impactos globales* (2009) sobre el programa de cooperación para la gestión de residuos sólidos y *Desarrollo con Energía. Proyectos de la cooperación entre México y Alemania* (2013) sobre eficiencia energética y desarrollo de energías alternativas. En 2014 México firmó un Programa Ejecutivo de cooperación científica y tecnológica entre México e Italia enfocado en áreas de ambiente y energías (AMEXID, 2014).

México es también beneficiario de La Facilidad de Inversión de América Latina (LAIF, por sus siglas en inglés), un mecanismo financiero que combina subvenciones y préstamos para facilitar el financiamiento de la inversión en varios sectores, entre ellos la energía, el medioambiente y la infraestructura social. Entre 2010 y 2013 México recibió apoyo para 6 operaciones (de un total de 25 para la región) (Comisión Europea, 2014, p.19). Otro mecanismo en el que participa el país es el Programa de Refuerzo de las Capacidades para Reducir las Emisiones (LECBP, por sus siglas en inglés), que se realiza con apoyo técnico del Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). El LECBP estará vigente para el periodo 2010 - 2017 con un presupuesto de 18 millones de euros. Su objetivo es apoyar a los gobiernos a formular estrategias de bajas emisiones, preparar Acciones de Mitigación Nacionalmente Apropriadas (NAMA, por sus siglas en inglés) recopilar datos para la elaboración de los inventarios nacionales de emisiones de GEI y desarrollo de indicadores (Ibid., p.25)

3.5 Acuerdos interregionales

Aunque tales acuerdos son muy pocos en el mundo (Agrawala et ál, 2014; Stavins, 2014), es importante resaltar que México forma parte de la Alianza de Energía y Clima de las Américas (ECPA, por sus siglas en inglés), acuerdo que reúne a países de dos regiones (Norteamérica y América Latina). En la Cumbre de las Américas celebrada en abril de 2009 en Puerto España, Trinidad y Tobago, los líderes del hemisferio occidental destacaron que la energía y el cambio climático figuran entre los temas más importantes que hemos de enfrentar en el futuro y reafirmaron su compromiso de trabajar en forma conjunta con miras a un futuro con energía no contaminante. Como respuesta a este desafío común, se creó la ECPA. Sus labores se concentran en eficiencia energética, energía renovable, uso de combustibles fósiles más eficientes y menos contaminantes, insuficiencia energética e infraestructura, así como uso de la tierra y silvicultura sustentable. En el primer año, se iniciaron cerca de una docena de iniciativas y proyectos enmarcados en estas áreas de la ECPA, que lideraron Brasil, Canadá, Chile, Costa Rica, EE.UU., México, Perú y Trinidad y Tobago. Participan instituciones interamericanas y regionales como la Organización de los Estados Americanos (OEA), el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE), bancos multilaterales de desarrollo como el Banco Mundial, el sector privado, la sociedad civil y el sector académico (Energy and Climate Partnership of the Americas [ECPA], 2014; Agrawala et ál., 2014).

El Instituto Interamericano para la Investigación del Cambio Global (IAI, por sus siglas en inglés) fue establecido en 1992 en Montevideo, Uruguay, cuando 11 países del Hemisferio firmaron el Acuerdo. Uno de los objetivos del IAI, es fomentar la cooperación regional para investigaciones multidisciplinarias sobre el cambio global en temas como ciencias de la tierra, oceánicas y atmosféricas y en las ciencias sociales. Las investigaciones financiadas por IAI se centran en el impacto del cambio global en los ecosistemas y la biodiversidad, problemas socioeconómicos, el nivel tecnológico y las economías de las naciones de la región (IAI, 1992).

⁷ Entre los programas de Cooperación de la GIZ en México se encuentran: Protección de la Biodiversidad en la Sierra Madre Oriental, Protección y Uso Sustentable de la Biodiversidad Marina y Costera en el Golfo de California, Evaluación de los Servicios Ambientales en las Áreas Naturales Protegidas, Conservación y Uso Sustentable de la Selva Maya (que incluye a Guatemala y Belice); Gestión Medioambiental Urbana-Industrial; Gestión Integral de la Basura en Altamira y Gestión Sustentable de la Basura del Sector Turístico en el Caribe.



La cooperación birregional entre Europa y América Latina ha enfocado esfuerzos al desarrollo de capacidades locales. El Proyecto Modelización Climática Integrada y Desarrollo de Capacidades en América Latina (CLIMACAP), apoya en la formulación de políticas eficaces de mitigación del cambio climático, a través, de fortalecer la capacidad de modelación climática en los países de América Latina, con la finalidad de apoyar la toma de decisiones política basadas en evidencia nacional y regional. En vigor para el periodo CLIMACAP es un consorcio integrado por institutos de investigación europeos y de Argentina, Brasil, Colombia y México (Comisión Europea, 2014, pp. 8-9).

En un reciente informe del Instituto para Desarrollo Sustentable y Relaciones Internacionales (IDDRI, 2014), se presentan áreas de cooperación de Europa con América Latina y el Caribe para afrontar los retos del cambio climático. En material de mitigación, el documento explora las siguientes áreas: ciudades, transformación de sistemas energéticos, sustitución de combustibles fósiles, así como reformas fiscales y políticas públicas para facilitar estas acciones.

El Pacto Climático Global de Ciudades (Pacto de la Ciudad de México), es producto de la gobernanza climática multinivel al ser impulsado por la alianza de una diversidad de actores: organismos no gubernamentales como Gobiernos Locales por la Sustentabilidad (ICLEI, por sus siglas en inglés), organismos intergubernamentales como el Banco Mundial, gobiernos subnacionales, actores supranacionales como la Unión Europea, organizaciones académicas y de la sociedad civil como Fundación Pensar (Banco Mundial, 2010b; Figueroa, 2014). Administrar y gestionar el Pacto ha conducido a la creación de un nuevo actor en la gobernanza: el secretariado del Pacto que facilita el intercambio y la cooperación y que despliega una intensa actividad paradiplomática (The Mexico City Pact, 2012). La sede de dicho secretariado es la Ciudad de México, al ser su gobierno uno de sus más importantes artífices.

Los esfuerzos de mitigación desde lo local son de suma relevancia. Los gobiernos participantes presentan anualmente su inventario de emisiones bajo la metodología Carbonn y los criterios MRV: emisiones medibles, reportables y verificables. Sólo un año después de la apertura del registro de emisiones, fue publicado en el marco de la COP 17 en Durban, Sudáfrica, el primer reporte anual que dio cuenta de 90 inventarios de GEI, 107 compromisos, 555 acciones de 51 ciudades pertenecientes a 19 países en las que habitan 83 millones de habitantes y emiten 447 millones de toneladas de CO₂ por año (Carbonn, 2012).⁸

Actualmente, tienen lugar una amplia gama de intercambios en materia climática entre los gobiernos locales mexicanos y los del exterior. ICLEI ha sido un importante puente entre ellos, así como otros actores tales como agencias de cooperación extranjeras, centros de investigación y fundaciones. Los gobiernos locales están construyendo sus capacidades gracias a acciones de diplomacia federativa. El reto es lograr articular las iniciativas que se presentan en lo local, regional y el ámbito nacional (Figueroa, 2014).

El Grupo de Integridad Ambiental se constituyó formalmente en el año 2000, en la reunión de órganos subsidiarios celebrada en Lyon, Francia. En la actualidad integran el grupo Liechtenstein, México, Mónaco, República de Corea y Suiza. Entre todos los grupos formales de negociación, es el único que incluye países Anexo I y No Anexo I, es decir, países desarrollados y en desarrollo. Salvo Liechtenstein y Mónaco, los países que lo integran son también miembros de la OCDE, aunque, como lo ha recordado repetidamente México, esta membresía no desempeña ningún papel formal en las negociaciones multilaterales climáticas.

El grupo, que se ha venido cohesionando a pesar de su heterogeneidad, defiende posiciones proactivas en defensa del medio ambiente global, e intenta en las negociaciones, tender puentes entre países desarrollados y en desarrollo. Entre los temas respecto a los cuales ha planteado propuestas concretas destaca el del financiamiento para el cambio climático (Tudela, 2014).

⁸ La información respecto a la metodología puede encontrarse en el sitio web del Centro Bonn para la Acción Climática Local y Presentación de Informes: <http://carbons.org/>

Conclusiones

Los acuerdos regionales en materia de acción climática, o bien los de comercio e integración relevantes a la acción climática, se enmarcan dentro de la idea de una sociedad internacional basada en la cooperación, donde las nuevas necesidades sociales ya no pueden ser resueltas por los estados - nación de manera unilateral (Borrás, 2007). Es por esta realidad que los países buscan armonizar sus políticas y gestionar en común, acciones que les beneficien mutuamente. La calificación de “carácter vinculante” indica que la acción o medida acordada tiene carácter obligatorio e impositivo (Convención de Viena, 1969). Dentro de la mayoría de los acuerdos existen controles sobre la aplicación y el cumplimiento de las medidas acordadas. En el primer caso, el control es de carácter preventivo, pues tiene como objetivo evitar una eventual infracción del Derecho Internacional (por ejemplo, los países miembro proporcionan información que compruebe que marchan por buen camino en la adopción del tratado). Mientras que en el segundo caso, el control interviene posterior a la comisión del incumplimiento, es decir en consecuencia y reviste de un carácter de sanción, o un modo de solución de la diferencia jurídica, con el fin de obtener una reparación apropiada, consecuencia de la falta en la que haya incurrido el país (Manual de Tratados, 2001).

México forma parte de varios acuerdos a nivel regional que ofrecen una amplia gama de instrumentos para la cooperación en la mitigación del cambio climático, así como en la adaptación a sus impactos, y para la protección del medio ambiente en general. El país ha sido activo también en algunos grupos de negociación multilateral climática. Sin embargo, prácticamente no existe una literatura científica que evalúe la implementación, el alcance y los resultados de estos instrumentos. La poca literatura que evalúa los impactos del TLCAN está escrita por autores extranjeros.

De aquí podemos derivar dos recomendaciones importantes: primero, promover la inclusión de cláusulas ambientales en los nuevos acuerdos regionales o bien introducirlas en los convenios existentes que permiten una revisión periódica. En este caso nos referimos a los convenios de comercio e integración que pueden ser relevantes y útiles para la acción climática a nivel regional. Constituyendo una especie de “ley blanda” estos acuerdos pueden contribuir mucho para estimular la toma de acciones de mitigación y adaptación del cambio climático, la protección del medio ambiente, la cooperación energética y la sustentabilidad del desarrollo.

La segunda recomendación, es fomentar estudios y publicaciones sobre la evaluación de los efectos de los acuerdos regionales en materia ambiental y en acción climática. En este sentido se podrían utilizar los Fondos Sectoriales del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), así como el financiamiento que proporcionan los organismos internacionales, las Agencias de Cooperación y las Organizaciones de Sociedad Civil a nivel nacional, regional e internacional.

Referencias

- Abbott, K.W. & Snidal, D.** (2000). Hard and Soft Law in International Governance. *International Organization* 54, 421–456. doi: 10.1162 / 002081800551280.
- Agrawala S.,** Klasen, S., Acosta, R., Barreto, L., Cottier, T., Guan, D., (...) Venables, A. (2014). Regional Development and Cooperation. In: O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, (...) J.C. Minx (Eds.) *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. United Kingdom and New York, USA: Cambridge University Press.
- Alianza del Pacífico.** (2014). Grupos técnicos. 23 de diciembre. Disponible en: <http://alianzapacifico.net/>
- Agencia Mexicana de Cooperación Internacional para el Desarrollo [AMEXCID]. (2012). Frutos de la cooperación para el desarrollo México-Estados Unidos. Disponible en: <http://amexcid.gob.mx/index.php/es/prensa/casos-de-exito/1329-frutos-cooperacion-desarrollo-mexico-estados-unidos-usaid-caso-exito-amexcid>
- AMEXCID.** (2014). México e Italia: avanzan en su compromiso de fortalecer sus lazos en ciencia y tecnología. Disponible en: <http://amexcid.gob.mx/index.php/es/prensa/comunicados/2142--mexico-e-italia-avanzan-en-su-compromiso-de-fortalecer-sus-lazos-en-ciencia-y-tecnologia>
- Asia-Pacific Economic Cooperation [APEC]. (2011). Leaders' Declaration Annex C- Trade and Investment in Environmental Goods and Services. Disponible en: http://www.apec.org/Meeting-Papers/Leaders-Declarations/2011/2011_aelm/2011_aelm_annexC.aspx.
- APEC.** (2007). Sydney APEC Leaders' Declaration on Climate Change, Energy Security and Clean Development. Disponible en: <http://www.apec.org>
- APEC Secretariat.** (2012). APEC Energy Overview 2011. Disponible en: <http://www.apec.org/Groups/SOM-Steering-Committee-on-Economic-and-Technical-Cooperation/Working-Groups/Energy.aspx>.
- Asheim, G.B.,** Froyn, C.B., Hovi, J. & Menz, F.C. (2006). Regional versus global cooperation for climate control. *Journal of Environmental Economics and Management* 51, 93–109. doi: 10.1016 / j.jeem.2005.04.004, ISSN: 00950696.
- Ashley, R.K.** (2009). Desenredar el Estado Soberano, una doble lectura de la problemática de la anarquía. En: A.Santa Cruz, (Ed.) *El Constructivismo y las Relaciones Internacionales*. México: CIDE.
- Asian Development Bank.** [ADB]. (2013). *Asian Water Development Outlook 2013: Measuring Water Security in Asia and Pacific*. Philippines: ADB. Disponible en: www.adb.org.
- Ávila, A. A.** (2012). Éxitos y fracasos de la legislación de cambio climático en América del Norte. *Norteamérica*, vol.7, número especial, México.
- Balsiger J. & VanDeveer, S. D.** (2012). Navigating Regional Environmental Governance. *Global Environmental Politics*, 12, 1 – 17. doi: 10.1162 / GLEP_e_00120, ISBN: 1526-3800.
- Banco Mundial.** (2010a). Base de datos. Disponible en: <http://datos.bancomundial.org/indicador/EN.ATM.CO2E.KT/countries>
- Banco Mundial** (2010b). Cities and climate change, an urgent agenda. Disponible en: <http://siteresources.worldbank.org/INTUWM/Resources/340232-1205330656272/CitiesandClimateChange.pdf>.
- Benioff, R.,** De Coninck, H., Dhar, S., Hansen, U., McLaren, J. & Painuly, J. (2010). **Strengthening Clean Energy Technology Cooperation under the UNFCCC: Steps toward Implementation**. Colorado: NREL, Disponible en: <http://www.nrel.gov/docs/fy10osti/48596.pdf>
- Betsill, M. M.** (2007). Regional Governance of Global Climate Change: The North American Commission for Environmental Cooperation. *Global Environmental Politics* 7, 11–27. doi: 10.1162 / glep.2007.7.2.11, ISBN: 1526-3800.
- Biermann, F.,** Pattberg, P. Van Asselt, H. & Zelli, F. (2009). The Fragmentation of Global Governance Architectures: A Framework for Analysis. *Global Environmental Politics* 9, 14–40. doi: 10.1162 / glep.2009.9.4.14, ISBN: 1526-3800.
- Borrás, P. S.** (2007). Los Mecanismos de Control de la aplicación y del Cumplimiento de los Tratados Internacionales Multilaterales de Protección al Medio Ambiente. (Tesis) Catalunya, España: Universitat Roviral Virgili ISBN: 978-84-691-06525/DL: T-2223-2007.
- Bravo, J.** (2012). El concepto de región en el ejercicio de la hegemonía estadounidense. No. 112. *Revista de Relaciones Internacionales*. México: UNAM.
- Carbott.** (2012). *Bonn Center for Local Climate Action and Reporting*. Disponible en: <http://carbott.org/>
- Carmona, G.E.** (2012). La gobernanza climática en América del Norte: Actores, instituciones y dinámicas en la formación de políticas. México: *Norteamérica*, vol. 7, número especial.
- Carrapatoso, A. F.** (2008). Environmental aspects in free trade agreements in the Asia-Pacific region. *Asia Europe Journal*. 6, 229 – 243.

- Commission for Environmental Cooperation [CEC].** (2014a). Greenhouse Gas Emissions. Disponible en: <http://www.cec.org/Page.asp?PageID=1323&SiteNodeID=1293> CEC. (2014b). Resumen de derecho ambiental en los Estados Unidos. Disponible en: <http://www.cec.org/lawdatabase/us25.cfm?varlan=espanol>
- Comisión Intersecretarial de Cambio Climático [CICC].** (2012). México Quinta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Disponible en: <http://unfccc.int/resource/docs/natc/mexnc5s.pdf>
- Comisión de Cooperación Ecológica Fronteriza [COCEF].** (2015). Iniciativas de Cambio Climático. Disponible de: <http://www.cocef.org/desarrollo-de-capacidades/iniciativas-de-cambio-climatico>
- Comisión Europea.** (2007). Country Strategy Paper 2007-2013, Bruselas. Disponible en: https://ec.europa.eu/europeaid/sites/devco/files/csp-mexico-2007-2013_en.pdf.
- Comisión Europea.** (2011). La cooperación Unión Europa-México; herramientas para un mejor futuro. Disponible en: http://eeas.europa.eu/delegations/mexico/documents/projects/folleto_cooperacion_2011_es.pdf
- Comisión Europea.** (2014). Experiencias de la Unión Europea. Cooperación para el Desarrollo Regional con América Latina sobre cambio climático, energías renovables y agua, Bruselas: Comisión Europea, Dirección General de Desarrollo y Cooperación – EuropeAid.
- Conde, C., Ferrer, M. Gay, C. y Araujo, R.** (2008). Impactos del cambio climático en la agricultura en México. En: J. Martínez, y A. Fernández, (Comp.). *Cambio climático: una visión desde México*. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y el Instituto Nacional de Ecología.
- Convención de Viena.** (1969) Tratado sobre el Derecho de los Tratados; U.N. Doc A/CONF.39/27 (1969), 1155 U.N.T.S. 331. Viena, 23 de mayo.
- Cortés, M.L.I.** (2010). El Cambio Climático en América del Norte y la conducción de la cooperación ambiental en el marco vinculatorio del protocolo de Kyoto. (Tesis de Licenciatura en Relaciones Internacionales) México, D.F: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Craik, N.** (2013). Regional Climate Policy Facilitation: The Role of North American Commission on Environmental Cooperation. In: N. Craik, I. Studer & D. Vannijnatten (Eds.) *Climate Change Policy in North America. Designing Integration in a Regional System*. Canada: University of Toronto Press.
- Criqui, P. & Mima, S.** (2012). European climate - energy security nexus: A model based scenario analysis. *Energy Policy*, 41, 827–842. doi: 10.1016/j.enpol.2011.11.061, ISBN: 0301-4215.
- Cuevas, A.** (2014). El papel del APEC en la mitigación del cambio climático y el modelo de desarrollo limpio en alguno de sus miembros, 1992-2010. (Tesis de doctorado). México: Universidad de Colima.
- Dunne, T. & Schmidt, B.** (2001). Realism. In: J. Baylis & S. Smith (Eds.), *The Globalization of World Politics*. Second Edition. United States: Oxford University Press.
- Dupuy, P.M.** (1990). Soft law and the international law of the environment. *Michigan Journal of International Law* 12, 420 – 435.
- Energy and Climate Partnership of the Americas [ECPA].** (2014). About ECPA. Disponible en: <http://www.ecpamericas.org>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO].** (2012a). El estado de los bosques del mundo. Roma: FAO. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/016/i3010s/i3010s.pdf>.
- FAO.** (2012b). Los bosques y el cambio climático, trabajando con los países para hacer frente al cambio climático por medio de la gestión forestal sostenible. Roma: Autor Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/017/i2906s/i2906s00.pdf>.
- Figueroa, S.** (2014). El papel de los gobiernos locales en la construcción del régimen climático transpolítico en contexto de gobernanza: los casos de la Ciudad de México y Seúl, período 1992-2012. (Tesis de doctorado), Universidad de Colima.
- Garibay, G.** (2011). Climate Change, Vulnerability, and its Effects on Health: The situation in Mexico. In: G. Garibay, (Coord.). **Trends of Global Change Climate Change**. México: Universidad de Guadalajara y el Instituto Nacional de Ecología.
- GIZ [Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit].** (2013). Desarrollo con Energía. Proyectos de la cooperación entre México y Alemania. Disponible en: <http://www.giz.de/de/downloads/giz2014-sp-desarrollo-con-energia-mexico.pdf>
- Hulse, C. & Herzenhorn, D.M.** (2010). Democrats Call off Climate Bill Effort, *The New York Times*, 22 de Julio. Disponible en: <http://www.nytimes.com/2010/07/23/us/politics/23cong.html>. Instituto Interamericano para la Investigación del Cambio Global [IAI]. (1992). Acuerdo para la creación del Instituto Interamericano para la Investigación del Cambio Global. Disponible en: http://proteo2.sre.gob.mx/tratados/ARCHIVOS/INSTITUTO-INVEST_CAMBIO_GLOBAL.pdf
- Instituto para Desarrollo Sustentable y Relaciones Internacionales [IDDRI].** (2014). A Progressive Approach to Climate Challenges: The European Union and the Latin American and Caribbean Region Working Together. Disponible en: http://www.iddri.org/Publications/Rapports-and-briefing-papers/EU-LAC%20climate%20coop_FINAL.pdf
- Ivanova, A.** (2009). *Asia Pacífico, Reformas estructurales, sociedad del conocimiento, cambio climático y seguridad*. Colima, México: Universidad de Colima

- Ivanova, A.** y Estrella, E. (2012) El marco jurídico e institucional de México ante el cambio climático: retos para el desarrollo. En: Calva, J.L. (co-ord.) Cambio climático y políticas de desarrollo sustentable, Análisis estratégico para el desarrollo, Vol. 14, México, D.F.: Consejo Nacional de Universitarios.
- Ivanova, A.,** Rangel, E. Celaya, R. y Gámez, A. (2013). APEC: más allá del comercio. Cómo el Mecanismo de Cooperación Económica Asia Pacífico contribuye al desarrollo sustentable, la ciencia y la formación de recursos humanos. México: Universidad Autónoma de Baja California y la Universidad de Colima.
- Kaufmann, R. K.,** Pauly, P. & Sweitzer, J. (1993). The Effects of NAFTA. *Environment. Energy Journal* 14, 217 – 224.
- Keller, M.,** Echeverría, D. & Parry, J. (2011) *Review of Current and Planned Adaptation Action: Central America and Mexico* (Belize, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicaragua, Mexico and Panama), International Institute for Sustainable Development.
- Lawrence, P.** (2009). Australian climate policy and the Asia Pacific partnership on clean development and climate (APP). From Howard to Rudd: continuity or change? *International Environmental Agreements: Politics, Law and Economics*. Springer, 9, 281–299. doi: 10.1007/s10784-009-9102-1, ISBN: 1567-9764, 1573–1553
- Leal, A. R.** (2011). Proliferation of Regional Trade Agreements: Complementing or Supplanting Multilateralism? *Chicago Journal of International Law*, 11, 597 – 629.
- Leal, A. R.** (2013). Climate Change Mitigation from the Bottom Up: Using Preferential Trade Agreements to Promote Climate Change Mitigation. *Carbon and Climate Law Review*, 34 – 42.
- Manual de Tratados.** (2001). Preparado por la Sección de Tratados de la Oficina de Asuntos Jurídicos de la Organización de las Naciones Unidas, ISBN 92-1-333311-0.
- Medel, G. M.** (2013). México y Alemania: socios estratégicos en la cooperación internacional para el desarrollo, *Revista Mexicana de Política Exterior*, 99, 77-96. Disponible en <http://www.sre.gob.mx/revistadigital/images/stories/numeros/n99/medel.pdf>.
- Memorándum de Cooperación Ambiental México California.** (2014). Memorandum de entendimiento para mejorar la cooperación sobre cambio climático y medio ambiente entre la SEMARNAT y CONAFOR de los Estados Unidos Mexicanos y el Estado de California de los Estados Unidos de América. Disponible en: http://www.semarnat.gob.mx/sites/default/files/documentos/internacional/norte/mou_semarnat_conafor_california_espanol.pdf.
- Mendoza, V.,** Villanueva, E. y Maderey, L. (2008). Vulnerabilidad en el recurso del agua de las zonas hidrológicas de México ante el cambio climático. En: Martínez, J. y Fernández, A. (Comp.). Cambio climático: una visión desde México. México: Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales y el Instituto Nacional de Ecología.
- Ministerio del Ambiente de Perú.** (2014). Perú y México en cooperación contra el cambio climático ad portas de COP20 de Lima. Disponible en: <http://www.minam.gob.pe/calidadambiental/2014/03/20/peru-y-mexico-en-cooperacion-contra-el-cambio-climatico-ad-portas-de-cop20-de-lima>.
- Osmani, D. & Tol, R. S. J.** (2010). The Case of two Self-Enforcing International Agreements for Environmental Protection with Asymmetric Countries. *Computational Economics*, 36, 93 – 119. doi: 10.1007/s10614-010-9232-0. Parliament of Canada. (sin fecha). C-311. An Act to ensure Canada assumes its responsibilities in preventing dangerous climate change. Disponible en: <http://www.parl.gc.ca/LEGISINFO/BillDetails.aspx?billId=4328110&Mode=1&Language=E>
- Pacific Economic Cooperation Council [PECC].** (2012). State of the Region, 2012-2013. Singapore: PECC. Disponible en: <http://www.pecc.org>.
- Petróleos Mexicanos [PEMEX].** (2013). Anuario estadístico. México. Disponible en: www.pemex.com
- Ramstein, C. & Ribera, T.** (2014). The LAC region in the face of climate change: perspectives on national policy and international cooperation. Working Papers N°16/14. A perspective from Latin American and Caribbean think tanks on climate change issues Series, Institut du développement durable et des relations internationales [IDDRI], Paris. Disponible en: http://www.iddri.org/Publications/Collections/Idées-pour-le-debat/WP1614_CR%20TR_LAC%20chap%2000.pdf
- Registro de Acuerdos Nacionales Relativos al Medio Ambiente.** (1993). Protocolo relativo a las áreas y flora y fauna especialmente protegidas del Convenio de Protección y Desarrollo del Medio Marino del Gran Caribe. Disponible en: http://www.inecc.gob.mx/descargas/ai/con_128.pdf
- Santillán, S. N.,** García, C. R., Ojeda, B. S., Velázquez, L. N., Quintero, N. M. & Schorr, M.
- Schiff, M. & Winter, A.** (2003) *Regional Integration and Development*. Washington, USA: World Bank and Oxford University Press.
- Schorr, M.** (2013). Greenhouse gases mitigation against climate change: United States-Mexico Border Study Case, *Atmósfera*, UNAM, Vol.26:4, Disponible en: <http://www.revistas.unam.mx/index.php/atm/article/view/29044>

- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT].** (2014). Estrategia Mesoamericana de Sustentabilidad Ambiental (EMSA). Disponible en: <http://www.semarnat.gob.mx/leyes-y-normas/tratados-internacionales/cooperacion-regional/frontera-sur/estrategia-meso-americana>.
- SEMARNAT.** (2015, nota de prensa). México y Corea impulsan cooperación con AL y El Caribe en temas climáticos. Disponible en: <http://saladeprensa.semarnat.gob.mx/index.php/noticias/1935-mexico-y-corea-impulsan-cooperacion-con-al-y-el-caribe-en-temas-climaticos>.
- Secretaría de Energía [SENER].** (2013). *Balance Nacional de Energía 2012*. México: Gobierno de la República Mexicana, Secretaría de Energía. Disponible en: <http://www.sener.gob.mx/portal/default.aspx?id=1433>
- SENER.** (2014). México y China firman acuerdo de entendimiento sobre cooperación energética. Disponible de: <http://www.sener.gob.mx/portal/Default.aspx?id=2439>
- Shukla, P.R. & Dhar, S.** (2011). Climate agreements and India: aligning options and opportunities on a new track. *International Environmental Agreements: Politics, Law and Economics* 11, 229 – 243. doi: 10.1007 / s10784-011-9158-6, ISBN: 1567-9764, 1573 – 1553.
- Stavins, R., Zou, J., Brewer, T., Conte G. M., Den Elzen, M., Finus, M. (...) Winkler, H.** (2014). International Cooperation: Agreements and Instruments. In: O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, (...) J.C. Minx. (Eds.), *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press.
- Stern, D.I.** (2007). The Effect of NAFTA on Energy and Environmental Efficiency in Mexico. *Policy Studies Journal* 35, 291 – 322. doi: 10.1111 / j.1541-0072.2007.00221.x, ISBN: 1541-0072.
- Tejeda, M. A. y Conde, Á. C. (Coord.).** (2008). Guía para la Elaboración de Programas Estatales de Acción ante el Cambio Climático. México: Instituto Nacional de Ecología, Universidad Veracruzana y Universidad Nacional Autónoma de México-CCA.
- The Mexico City Pact.** (2012). Ciudades firmantes del Pacto de la Ciudad de México a diciembre de 2012. En *Firmantes-The Mexico City Pact*. Disponible en: <http://www.mexicocitypact.org/pacto-de-la-ciudad-de-mexico-2/lista-de-ciudades/>
- Toft, P.** (2005). John J. Mearsheimer: an Offensive realist Between Geopolitics and Powers *Journal of International Relations and Development*. Disponible en: <http://www.palgrave-journals.com/jird>.
- Tudela, F.** (2014). Negociaciones internacionales sobre cambio climático: Estado actual e implicaciones para América Latina y el Caribe. Santiago de Chile: CEPAL. Disponible en: http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/37329/S1420809_es.pdf?sequence=1
- Unión Internacional para Protección de la Naturaleza [UICN].** (2002). Protocolo relativo a las áreas y a la flora y fauna especialmente protegidas del Convenio de Protección y Desarrollo del Medio Marino del Gran Caribe. Disponible en: http://claiweb.org/ambiental/cambial/convenciones%20%28D%29/aguas_humedales/El%20Protocolo%20Relativo%20a%20las%20%20C3%81reas%20y%20a%20la%20Flora%20y%20Fauna%20Silvestres.htm
- United Nations Environment Programme [UNEP].** (2001). International Environmental Governance: Multilateral Environment Agreements. New York: United Nations. Disponible en: http://www.unep.org/ieg/Meetings_docs/index.asp.
- Vannijnatten, D. and Craik, N.** (2013). Designing Integration: The System of Climate Change Governance in North America. In: N. Craik, I. Studer & D. Vannijnatten (Eds.) *Climate Change Policy in North America. Designing Integration in a Regional System*. Canada: University of Toronto Press.
- Viller, L. y Trejo, I.** (2008). Evaluación de la vulnerabilidad en los ecosistemas forestales. En: J. Martínez, y A. Fernández, (Comp.), *Cambio climático: una visión desde México*. México: Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales y el Instituto Nacional de Ecología.



Capítulo 13

POLÍTICAS E INSTITUCIONES NACIONALES Y SUBNACIONALES

Autor líder:

Fausto Quintana Solórzano²⁸.

Autores colaboradores:

Juan Antonio Le Clerq Ortega⁴¹ y Johanna Koolemans Beynen¹¹.

¹¹ITESM Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey,

²⁸UNAM CRIM Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias,

⁴¹UDLAP Universidad de las Américas Puebla.

Palabras clave: Resiliencia, intersectorialidad, intersecretarial, sinergias, gobernanza.

Resumen

México ha sido uno de los países pioneros en la creación de legislación ambiental e instituciones ambientales. Junto con Francia, Filipinas, Corea del Sur, Reino Unido y la Unión Europea, México cuenta con una legislación climática a nivel macro, fue una de las primeras naciones en firmar en 1992 y ratificar en 1993 la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) y posteriormente en firmar el protocolo de Kioto en 1998 y ratificarlo en el 2000. Como resultado de la adhesión de México a los instrumentos internacionales ambientales se ha constituido un sistema de gobernanza climática multisectorial y multiescala. El país cuenta, además de la Ley General de Cambio Climático (LGCC), con un Sistema Nacional de Cambio Climático (SNCC) integrado por el Comité Interinstitucional, el Consejo de Cambio Climático, el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), el Comité de Evaluación e incluye la participación del Poder Legislativo, las entidades federativas y la representación municipal. Además, la política nacional de cambio climático ha desarrollado instrumentos políticos técnicos para medir el éxito de las acciones en materia de mitigación de gases de efecto invernadero (GEI), a saber se cuenta con: el Registro de Emisiones, el Inventario Nacional de Emisiones, el Atlas Nacional de Riesgo y un Sistema de Información. A nivel estatal y municipal se están desarrollando programas de acción climática y constituyendo comités intersecretariales y de evaluación en la materia.



Introducción

Las políticas e instituciones públicas de mitigación de GEI en México se han constituido en un andamiaje de instancias y leyes robusto. Desde el nivel macro (federal) hasta el nivel local (municipal), a partir de la adhesión del país a los instrumentos y las negociaciones internacionales, específicamente de la CMNUCC en 1992, en Río de Janeiro, Brasil, se han integrado en las prioridades de los gobiernos las preocupaciones ambientales, particularmente el cambio climático. La reducción de emisiones de GEI es uno de los propósitos centrales de la política climática nacional; desde la Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENCC) hasta los Programas de Acción Climática Municipales (PACMUN), la mitigación a partir de la transición y la eficiencia energética, el pago de servicios ambientales, el transporte sustentable, el manejo de residuos, etc., constituyen acciones de mitigación que son promovidas cada vez más en los espacios políticos.

Los compromisos internacionales de reducción de GEI se han establecido en un 25 % para el año 2030. Tal propósito requiere de mayores esfuerzos integrados y respaldados por diversas políticas sectoriales. Al respecto, una de las características de la política climática en México consiste en el principio de la multisectorialidad. En el ámbito del diseño de gestión pública, respondiendo a este principio, el Sistema Nacional de Cambio Climático contempla un Comité Interinstitucional, un Consejo y un Comité de Evaluación, tal composición garantiza, al menos por las prerrogativas de dicho Comité, que la política climática nacional esté integrada por un conjunto de políticas sectoriales con un eje articulador basado en la perspectiva de cambio climático. Además, respondiendo al involucramiento de los actores y sus espacios geográficos, la política en la materia en México ha impulsado el desarrollo de estrategias estatales y municipales de acción climática.

La existencia de la LGCC (2012), incluyendo la ENCC (2013) y el PECC (Programa Especial de Cambio Climático) (2013), constituyen el indicador más claro de la presencia de una estrategia de planificación gubernamental en materia de cambio climático. Además, el desarrollo de programas y leyes en los niveles subnacionales es muestra de que la asunción de responsabilidades frente a la crisis climática es insoslayable. Sin embargo, debido a crecimiento de las pruebas científicas en los últimos cinco lustros del incremento de la temperatura terrestre y, por consecuencia, de las alteraciones de los ciclos hidrometeorológicos (Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2013) y el incremento de los niveles de vulnerabilidad social, económica y ecológica de la población de los mexicanos, la política climática enfrenta una mayor demanda en términos de eficacia, eficiencia y equidad. La sola existencia de los instrumentos jurídicos, de planeación, técnicos y financieros no es suficiente para calificar a la política nacional y subnacional en cuanto a objetivos de mitigación, se requerirá en el corto plazo de fortalecer las instancias de evaluación y los mecanismos de sanción de la misma; alcanzar reducciones de GEI probables; e involucrar a la población en todos los espacios y momentos del ejercicio político, incluyendo el acceso a los beneficios monetarios de los negocios verdes.

1. Instituciones y gobernanza

La atención y respuesta de la sociedad al cambio climático, a través de un sistema de gobernanza multinivel, son tareas que no se pueden postergar o ignorar. Los costos socioeconómicos por la omisión e inacción frente a los retos derivados de las transformaciones en el sistema climático global serán muy altos y, en muchos casos, éstos equivaldrán a una pérdida anual permanente de, al menos, 5 % del Producto Interno Bruto Mundial (Stern, N., 2006). En este sentido, la mitigación frente al cambio climático, entendida como la aplicación de políticas y acciones destinadas a reducir las emisiones de las fuentes, o mejorar los sumideros de los gases o compuestos de efecto invernadero (LGCC, 2012), representa un objetivo central en la creación y fortalecimiento de los instrumentos nacionales de políticas de cambio climático.

La existencia de instituciones robustas (Ostrom, 2000) y un sistema de gobernanza multinivel, representadas en una red de conexiones entre gobiernos centrales, entidades subnacionales y otros actores públicos y privados para el diseño e implementación de políticas desde el nivel internacional a los niveles nacionales y locales de acción (Corfee, J. et ál., 2009, p. 25), facilita a los países la construcción de andamiajes burocráticos y marcos jurídicos para enfrentar dilemas de acción colectiva como los generados por el cambio climático.

Aunque en los grupos humanos, principalmente en los sistemas de organización social de las poblaciones nativas, existen respuestas colectivas y espontáneas a fenómenos como el cambio climático (García, 2011); la complejidad de éste, la diversidad de los actores involucrados y los múltiples impactos de la modificación de los patrones hidrometeorológicos, las respuestas aisladas, a pesar de su importancia en las acciones de mitigación, no son suficientes para enfrentar el desafío que el cambio climático representa para distintos sectores económicos y productivos de un país en sus diversas escalas geográficas.

En el caso de México, el desarrollo y el fortalecimiento de instituciones, así como el desarrollo del régimen jurídico climático, son resultado tanto de factores internos como externos. En los primeros, se debe subrayar que la incorporación de México al proceso de internacionalización económica y comercial, impulsado por la globalización, ha generado presiones para que el país establezca y modernice sus instituciones en dos áreas principalmente: la protección de los derechos humanos y el cuidado del medio ambiente. En 1987, se elevó a rango constitucional la obligación de preservar y restaurar el equilibrio ecológico y se facultó al Congreso para expedir leyes que establecieran las obligaciones conjuntas de las autoridades federales, estatales y municipales (Micheli, 2002, p. 139)

El ingreso al Acuerdo General de Aranceles Aduaneros y Comercio (GATT, por sus siglas en inglés) en 1986; la entrada en vigor del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLACAN) y el ingreso de México en la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) en 1994 y del Tratado de Libre Comercio México y Unión Europea (TLCUEM) en el 2000, entre otras decisiones de política exterior y de la propia dinámica de la política internacional ambiental en el contexto de las negociaciones de la CMNUCC, han orillado al gobierno mexicano hacia la consolidación de instituciones y leyes en materia ambiental y climática. Una breve revisión histórica nos permite ver como dos años después, en 1988, del ingreso de México al GATT se promulgó la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección del Ambiente (LGEEPA), y el mismo año de entrada en vigor el TLCAN se creó la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP) (SEMARNAT, 2006, p. 69), entidad que cambió su nombre a Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales - SEMARNAT- en el año 2010.

En la aparición del sistema de gobernanza ambiental, también ha jugado un papel importante la presencia de actores de la sociedad civil, principalmente organizaciones de segundo nivel de ejidos y comunidades indígenas, quienes, ante la defensa de sus derechos de acceso y uso de los recursos naturales, han presionado a los gobiernos a crear y modificar políticas y leyes en aquellos sectores donde se encuentran involucrados. Por ejemplo: la Ley Forestal de 1986, permitió a los Ejidos Forestales establecer asociaciones civiles para la prestación de servicios técnicos a sus programas de manejo forestal.

La toma de conciencia y la preocupación de la sociedad civil sobre las cuestiones referentes con el cambio climático suceden cuando los impactos de la crisis climática afectan la seguridad de las personas en diversas áreas: escasez y contaminación hídrica, producción de alimentos, derrumbes y deslaves por lluvias, entre otras. La aparición de las Organizaciones no Gubernamentales (ONG), así como el incremento de su activismo, es resultado del alejamiento del Estado y la sociedad, por lo que las ONG se convierten en catalizadores de algunas demandas públicas ciudadanas (Delgado, 2004, p. 493).

En el ámbito urbano, la denominada agenda gris de los problemas ambientales motivó la aparición de agrupaciones civiles que, en una demanda asociada a la salubridad, exigieron a los gobiernos mejores condiciones del aire en las ciudades. Gracias a esta exigencia, en el caso concreto de la Ciudad de México, se pudo incorporar el interés de la sociedad de reducir las emisiones de gases contaminantes de los sectores autotransporte e industrial.

En el diseño de las instituciones centrales climáticas la convergencia de sectores involucrados y, por consecuencia, la concertación política, produce un modelo sistémico e intersecretarial de gestión pública de los asuntos climáticos. En México este diseño intersectorial se ha consolidado en la figura de las comisiones intersecretariales, que, ante la necesidad de evaluación y seguimiento de los compromisos, acciones y logros por parte de la sociedad, ha permitido la conformación de consejos consultivos y de evaluación de expertos climáticos.



Si bien la política climática en México ha creado en sistema integral, capaz de proponer e involucrar al mismo tiempo la participación de los estados y los municipios en el diseño e implementaciones de los Programas Estatales de Acción ante el Cambio Climático (PEACC) y los Planes de Acción Climática Municipales (PACMUN) respectivamente, así como a la iniciativa privada y al sector educativo, no ha dejado de ser centralista y responder más a una lógica vertical, orientada desde el ejecutivo.

El desarrollo de capacidades de gestión e instrumentos técnicos para la implementación de programas y proyectos de mitigación, así como herramientas de medición como los inventarios de emisiones, está asociado a las políticas de desarrollo científico y tecnológico. Por ejemplo, la necesidad de contar con instrumentos de monitoreo y reporte de la reducción de emisiones consideradas en el Programa de Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación de los Bosques y el incremento de los depósitos de carbono (REDD+), y la transición hacia un modelo energético basado en un modelo que sustituya la utilización de fuentes convencionales (petróleo, gas y carbón) por energías renovables.

En términos generales, México cuenta con instrumentos de política ante el cambio climático cuyas características son la intersectorialidad, la transversalidad y la multiescalaridad. Sin embargo, contar con las instituciones y las leyes con objetivos precisos, cuyo propósito es mitigar los GEI e incrementar los depósitos de éstos, no es suficiente, si no se cuenta con reducción significativa de las emisiones verificables y no se crean capacidades en los actores, particularmente en el nivel subnacional. Alcanzar los objetivos de mitigación del 30 % en el 2020 y en 50 % en el 2050, con relación a las emisiones del 2000, que el gobierno mexicano se propuso en la ENCC (2013, p. 8), requiere que las políticas nacionales climáticas desarrollen capacidades técnicas y humanas en todos los niveles, y se establezcan instrumentos financieros sostenibles para el soporte de los programas climáticos.

2. Antecedentes de políticas climáticas en México

La presencia de políticas públicas climáticas en el país asociadas al cambio climático, como en muchos países en desarrollo, son un fenómeno de reciente creación. Sin embargo, en contaminación atmosférica, vinculada a una “agenda gris” en México, se han desarrollado respuestas ante los problemas de la calidad del aire desde 1989, año en que se publicó el primer inventario de emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM).

En 1997 se estableció de manera informal el Comité Intersecretarial de Cambio Climático, espacio en el que se acordaron posiciones nacionales ante las Conferencias de las Partes (COP) realizadas en Kioto, Japón (COP 3, 1997) y en Buenos Aires, Argentina (COP 4, 1998) (SEMARNAT, 2006, p. 342). Además de funcionar como foro para la concertación política intersectorial con vistas a las negociaciones internacionales sobre el tema, el Comité facilitó la coordinación de la acción climática por parte del sector público, la interlocución con el poder legislativo y la promoción de un diálogo nacional (Tudela, 2004, p. 156). Durante 1998, dicho Comité coordinó la formulación de un Programa Nacional de Acción Climática, presentado públicamente en 1999 e integrado por cinco apartados: antecedentes científicos; propuestas y líneas de acción; propuestas de esfuerzos sectoriales de mitigación; propuestas de puntos de agenda para investigación y desarrollo; y medios de implementación. Sin embargo, y por diversas razones, no fue posible desarrollar este programa, ni formalizar la integración del Comité (SEMARNAT, 2006, p. 342).

En enero de 2004, se estableció el Comité Mexicano para Proyectos de Reducción de Emisiones y de Captura de Gases de Efecto Invernadero (COMEGEI), integrado por los titulares de cinco secretarías de Estado (Secretaría de Energía [SENER], Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación [SAGARPA], Secretaría de Comunicaciones y Transportes [SCT], Secretaría de Hacienda [SH] y SEMARNAT), para fungir como Autoridad Designada (AND) ante el Mecanismo para un Desarrollo Limpio (MDL) del Protocolo de Kioto.

¹ El gobierno de México, a través del INECC, publicó en marzo de 2015 Los compromisos de mitigación y adaptación ante el cambio climático para el periodo 2020 - 2030, comunicado en el que compromete la reducción de manera no condicionada del 25 % de sus emisiones de GEI y de contaminantes climáticos de vida corta para 2030. Meta que implica una reducción de 22 % de GEI y una reducción de 51 % de carbono negro. En inglés se refiere a las Intended Nationally Determined Contribution. http://www.inecc.gob.mx/descargas/difusion/2015_mex_indc_presentacion.pdf

El 25 de abril de 2005, se creó la Comisión Intersecretarial de Cambio Climático (CICC), constituida por siete secretarías (SAGARPA, SCT, SEMARNAT, SENER, Secretaría de Relaciones Exteriores [SRE], Secretaría de Economía [SE] y la Secretaría de Desarrollo Social [SEDESOL]) (SEMARNAT, 2006, p. 343). La CICC en 2006 presentó su Primer Reporte Público Anual de Acción Climática, que permitió evaluar el desempeño intersecretarial y los avances nacionales de cada Secretaría y de la CICC, incluyendo acciones directas o indirectas en materia de cambio climático (SEMARNAT, 2006, p. 344).

Con relación a los instrumentos técnicos como inventarios nacionales de emisiones, desarrollado gracias a los compromisos adquiridos ante la CMNUCC, en el país se publicó en 1996, el Primer Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto de Invernadero con cifras de 1990, y el gobierno, a través de la SEMARNAT, presentó en 1997 ante la CMNUCC la Primera Comunicación Nacional, de las cinco hasta ahora entregadas.

3. Características y clasificación de los instrumentos y paquetes de políticas

El Artículo 25 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, establece que:

Corresponde al Estado la rectoría del desarrollo nacional para garantizar que éste sea integral y sustentable, que fortalezca la soberanía de la Nación y su régimen democrático y que, mediante la competitividad, el fomento del crecimiento económico y el empleo, [así como] una más justa distribución del ingreso y la riqueza, permita el pleno ejercicio de la libertad y la dignidad de los individuos, grupos y clases sociales... (SEGOB, 2014).

Por su parte, el Artículo 26 de la Constitución dispone que el Estado organice “un sistema de planeación democrática del desarrollo nacional que imprima solidez, dinamismo, competitividad, permanencia y equidad al crecimiento de la economía para la independencia y la democratización política, social y cultural de la nación” (SEGOB, 2014). Asimismo, prevé que habrá un Plan Nacional de Desarrollo (PND) al que se sujetarán obligatoriamente los programas de la Administración Pública Federal. En tanto que el Artículo 22 de la Ley de Planeación determina que: “los programas especiales observarán congruencia con el Programa Nacional de Desarrollo (PND) y su vigencia no excederá del período constitucional de la gestión gubernamental en que se aprueben, aunque sus previsiones y proyecciones se refieran a un plazo mayor” (DOF, 2015).

El PND aprobado por Decreto publicado el 20 de mayo de 2013 en el Diario Oficial de la Federación (DOF), establece cinco metas nacionales y tres estrategias transversales para llevar a México a su máximo potencial. Estas metas nacionales son: México en Paz, México Incluyente, México con Educación de Calidad, México Próspero y México con Responsabilidad Global. De manera simultánea, se actuará con base en las estrategias: Democratizar la Productividad, Gobierno Cercano y Moderno y Perspectiva de Género. Cada una de estas estrategias transversales será ejecutada a través de un programa especial.

La característica de intersectorialidad de los instrumentos y paquetes de políticas de mitigación del cambio climático en México es correspondiente con el principio de integridad y transversalidad de la Política Nacional de Cambio Climático, estipulado en el artículo 26 de la LGCC. En México, se ha constituido un sistema de gobernanza climática multinivel, en el cual podemos identificar un énfasis en el fortalecimiento institucional y jurídico a nivel federal; avances en las capacidades técnicas de medición y registro de GEI; un lento desarrollo de los programas en los niveles subnacionales e incipientes instrumentos de evaluación de las políticas públicas y sus respectivas metas de mitigación de GEI. En cuanto a legislación climática, México (2012), Francia (2009), UE (2009), Filipinas (2009), Corea del Sur (2010) y Reino Unido (2008), se encuentra entre las primeras naciones en desarrollar una ley climática marco (Le Clercq, 2015, p. 117; Townshend et ál., 2013).

Además de la LGCC, la política nacional climática sustenta su planeación en la ENCC (2013) y el PECC 2014 -2018 (2013) a nivel federal, y con los programas de acción climática estatal y municipal en el nivel subnacional; y para su coordinación, administración y evaluación en el Sistema Nacional de Cambio Climático (SINACC). El Cuadro 1 resume en términos generales la Política Nacional de Cambio Climático (ENCC, 2013):

**Cuadro 1. Instrumentos de política de cambio climático en los tres órdenes de gobierno**

Marco jurídico	Ley General de Cambio Climático		Leyes estatales en materia de cambio climático	
Planeación	Estrategia Nacional de Cambio Climático	Programas Especial de Cambio Climático	Programas estatales de cambio climático	Programas municipales en materia de cambio climático
Arreglos institucionales	Sistema Nacional de Cambio Climático Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático	Comisión Intersecretarial de Cambio Climático Consejo de Cambio Climático	Comisiones estatales intersecretariales de cambio climático	
Instrumentos	Registro Nacional de Emisiones Inventario Nacional de Emisiones Atlas Nacional de Riesgos Sistema de Información	Normas Oficiales Mexicanas	Inventarios estatales de emisiones Atlas estatales de riesgos	Atlas de riesgos de municipios estatales
Evaluación	Coordinación de Evaluación INECC	Coordinación de Evaluación INECC	Procedimientos de evaluación del programa estatal	Procedimientos de evaluación del programa municipal
Financiamiento	Fondo de Cambio Climático	Fondo de Cambio Climático	Fondo de Cambio Climático y Fondos Estatales	Fondo de Cambio Climático y gestión de otros recursos

Fuente: (ENCC, 2013, p. 15)

La LGCC es reglamentaria de las disposiciones de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos en materia de protección al ambiente, desarrollo sustentable, preservación y restauración del equilibrio ecológico (LGCC, Art. 1). Tiene como objetivo regular, fomentar y posibilitar la instrumentación de la política nacional de cambio climático e incorpora acciones de adaptación y mitigación con un enfoque de largo plazo, sistemático, descentralizado, participativo e integral.

Particularmente, la LGCC en el Capítulo III, de los artículos 31 al 37, establece que la política nacional de mitigación de cambio climático, de manera específica el artículo 33, inciso II de esta Ley, que el objetivo es reducir las emisiones nacionales, a través de políticas y programas, que fomenten la transición a una economía sustentable, competitiva y de bajas emisiones en carbono, incentivos y otras alternativas que mejoren la relación costo-eficiencia de las medidas específicas de mitigación, disminuyendo sus costos económicos y promoviendo la competitividad, la transferencia de tecnología y el fomento al desarrollo tecnológico.

El SINACC está integrado por la Comisión Intersecretarial de Cambio Climático (CICC), el Consejo de Cambio Climático (C3), el INECC, el Congreso de la Unión, las entidades federativas y la Asociación de Autoridades Municipales.

La CICC, es un mecanismo permanente de coordinación de acciones entre las dependencias y entidades de la Administración Pública Federal en materia de cambio climático. Está integrada por 14 secretarías de Estado:

- Secretaría de Gobernación
- Secretaría de Relaciones Exteriores
- Secretaría de Marina
- Secretaría de Hacienda y Crédito Público
- Secretaría de Desarrollo Social
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
- Secretaría de Energía
- Secretaría de Economía
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes
- Secretaría de Educación Pública
- Secretaría de Salud
- Secretaría de Turismo
- Secretaría de Desarrollo Agrario Territorial y Urbano

Entre las funciones de la CICC se encuentran: 1) formular e instrumentar políticas nacionales para la mitigación y la adaptación al cambio climático, así como su incorporación a los programas y acciones sectoriales correspondientes; 2) desarrollar los criterios de transversalidad e integridad de las políticas públicas para que los apliquen las dependencias y entidades de la Administración Pública Federal centralizada y paraestatal; 3) aprobar la ENCC; y 4) participar en las elaboración e instrumentación del PECC (ENCC, 2013, p. 13)

El PECC 2014 - 2018 es congruente con el objetivo 4.4 y la estrategia 4.4.3 del PND 2013 - 2018, que se refieren al fortalecimiento de la política nacional de cambio climático y cuidado al medio ambiente para transitar hacia una economía competitiva, sustentable, resiliente y de bajo carbono. La obligación de emitir el Programa Especial de Cambio Climático (PECC) emana de la Ley General de Cambio Climático, que en su artículo 66 dispone, que este programa será elaborado por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, con la participación y aprobación de la CICC y que en él se establecerán los objetivos, estrategias, acciones y metas para enfrentar el cambio climático mediante la definición de prioridades en materia de adaptación, mitigación, investigación, así como la asignación de responsabilidades, tiempos de ejecución, coordinación de acciones y de resultados y estimación de costos, de acuerdo con la ENCC.

El Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, es la instancia de investigación que crea la LGCC para coordinar y realizar estudios y proyectos de investigación científica y tecnológica con instituciones académicas, de investigación, públicas o privadas, nacionales o extranjeras, en materia de cambio climático. Es la institución encargada de realizar los análisis de prospectiva sectorial y de colaborar en la elaboración de estrategias, planes, programas e instrumentos relacionados con cambio climático. Su trabajo incluye la estimación de los costos futuros asociados a este fenómeno y de los beneficios derivados de las acciones para enfrentarlo. La evaluación de la política nacional de cambio climático recae en la Coordinación de Evaluación, integrada por el titular del INECC y seis consejeros sociales, y puede realizarse mediante uno o varios organismos independientes (ENCC, 2013).

El Consejo de Cambio Climático, es el órgano permanente de consulta de la CICC y está integrado por miembros provenientes de los sectores social, privado y académico, con reconocida experiencia en cambio climático. Entre sus funciones destacan:

- 1) asesorar a la CICC y recomendarle la realización de estudios, políticas y acciones, así como fijar metas tendientes a enfrentar los efectos adversos del cambio climático y 2) promover la participación social, informada y responsable, mediante consultas públicas (ENCC, 2013)



Los instrumentos de planeación de la política mexicana de cambio climático está integrada por: la Estrategia Nacional de Cambio Climático, el Programa Especial de Cambio Climático 2014-2018 (PECC); los Programas Estatales de Acción ante el Cambio Climático (PEACC) y los Planes de Acción Climática Municipales (PACMUN).

El PECC, contribuye con 14 programas sectoriales de las secretarías de Estado que conforman la CICC y sus respectivos objetivos. De manera especial, el PECC se relaciona con los siguientes programas sectoriales:

- Programa Sectorial de Medio Ambiente y Recursos Naturales 2013 - 2018, particularmente con sus objetivos: 1. Promover y facilitar el crecimiento sostenido y sustentable de bajo carbono con equidad y socialmente incluyente; 2. Incrementar la resiliencia a efectos del cambio climático y disminuir las emisiones de compuestos y gases de efecto invernadero; 5. Detener y revertir la pérdida de capital natural y la contaminación del agua, aire y suelo y; 6. Desarrollar, promover y aplicar instrumentos de política, información, investigación, educación, capacitación, participación y derechos humanos para fortalecer la gobernanza ambiental.
- Programa Sectorial de Energía 2013 - 2018, particularmente con sus objetivos: 2. Optimizar la operación y expansión de infraestructura eléctrica nacional y; 5. Ampliar la utilización de fuentes de energía limpia y renovable, promoviendo la eficiencia energética y la responsabilidad social y ambiental.
- Programa Sectorial de Desarrollo Agropecuario, Pesquero y Alimentario 2013-2018, particularmente con sus objetivos: 3. Promover mayor certidumbre en la actividad agroalimentaria mediante mecanismos de administración de riesgos. 4. Impulsar el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales del país y; 5. Contribuir a erradicar la carencia alimentaria en el medio rural.
- Programa Sectorial de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano 2013-2018, particularmente con sus objetivos: 1. Promover el ordenamiento y la planeación territorial como articuladores del bienestar de las personas y el uso eficiente del suelo; 2. Incentivar el crecimiento ordenado de los asentamientos humanos, los centros de población y las zonas metropolitanas y; 3. Consolidar ciudades compactas, productivas, competitivas, incluyentes y sustentables, que faciliten la movilidad y eleven la calidad de vida de sus habitantes.

La planeación en las entidades estatales está reglamentada por la LGCC en el Capítulo IV, artículo 38, fracción III, donde se establece que son instrumentos de planeación los programas de las entidades federativas. En la página electrónica del Sistema de Información sobre Ecología y Cambio Climático, el gobierno federal reportó la conclusión de los siguientes 14 PEACC al primer bimestre de 2014: Baja California, Baja California Sur, Chiapas Distrito Federal, Estado de México, Guanajuato, Hidalgo, Nuevo León, Puebla, Quintana Roo, Tabasco, Tlaxcala, Veracruz y Zacatecas; 16 en desarrollo: Aguascalientes, Campeche, Chihuahua, Coahuila, Durango, Guerrero, Jalisco, Michoacán, Morelos, Oaxaca, Querétaro, San Luis Potosí, Sinaloa, Sonora, Tamaulipas y Yucatán; y dos entidades en planeación: Colima y Nayarit.

En el artículo 9 del LGCC, se describen las atribuciones que corresponden a los municipios. Estas atribuciones son similares a los de las entidades federativas, sólo que los municipios, además de tener que tomar en cuenta las políticas nacionales, también tienen que tomar en cuenta las políticas estatales, y el PEACC de su estado. Como los municipios tienen responsabilidades sobre la provisión de agua y saneamiento, ordenamiento ecológico local, desarrollo y transporte urbano, y protección civil, los contenidos de los PACMUN tienden a concentrarse en estos temas. Para finales de 2012, más de 60 municipios ya habían empezado, o terminado, su PACMUN. Cabe destacar que también el INECC reporta los estados que se encuentran en proceso de elaboración de sus instrumentos de planeación, así como del establecimiento de sus comisiones estatales intersecretariales; leyes estatales en materia de cambio climático, los instrumentos técnicos de política pública, los procedimientos de evaluación de los estados y municipios. Así como la existencia de financieros de cambio climático.

Los instrumentos técnicos de política pública considerados en la LGCC, la ENCC y el PECC son: el Registro Nacional de Emisiones, el Inventario Nacional de Gases, el Atlas Nacional de Riesgo y el Sistema Nacional de Información.

La LGCC, en el artículo 87, establece que la SEMARNAT deberá integrar el registro de emisiones generadas por las fuentes fijas y móviles, que se identifiquen como sujetas a reporte y que, a su vez, éstas tendrán que registrarse por sector, subsector y actividad.

Los inventarios de emisiones de contaminantes atmosféricos, son un instrumento estratégico para la gestión de la calidad del aire (SEMARNAT). El más reciente es el Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto de Invernadero (INEGI) 1990 - 2010, publicado en 2013. Al igual que la LGCC, el PECC y la ENCC, este inventario representa uno de los compromisos asumidos por México ante la CMNUCC.

4. Sinergias y trade-offs entre políticas

Ante la naturaleza multi-escala del fenómeno y la magnitud de sus consecuencias, el diseño de instituciones y la formulación de políticas ante el cambio climático involucran la interacción conflictiva entre objetivos sociales y sectoriales. Ostrom, (2009); Paavola, Gouldson y Kluvánková, (2009); así como Young (2008 y 2013), destacan como característica de la gobernanza ante el cambio climático la existencia de procesos multinivel que se manifiestan a través de entre-juego horizontal (en el mismo nivel de organización) o vertical (entre ámbitos y niveles diferenciados).

La definición de metas de mitigación y objetivos para la adaptación, se entienden como líneas estratégicas inevitablemente transversales de las que se desprende la posibilidad de generar sinergias entre diferentes tipos de políticas. Sin embargo, también ponen en evidencia la dificultad de articular una política de cambio climático de acuerdo a objetivos de sustentabilidad, ante la falta de correspondencia (el problema del fit) entre definiciones propiamente "climáticas" y los marcos legales nacionales, los objetivos contradictorios de los programas sectoriales y acciones implementadas de manera descentralizada por gobiernos locales (Folke et al., 2007; Galaz et al., 2008; Young, 2013).

La importancia de generar sinergias y mejorar la correspondencia entre objetivos sectoriales, se observa en la definición de integración de objetivos nacionales para mitigación dentro de los programas especiales. El PECC 2008-2012 desglosa 86 metas orientadas a mitigar 50.65 MtCO₂-eq hacia 2012, cuyo cumplimiento involucra la participación de ocho secretarías de estado y 21 órganos desconcentrados o descentralizados de la Administración Pública Federal. Bajo una estructura metodológica que no establece metas medibles y verificables, el PECC 2014 - 2018 involucra seis secretarías y nueve órganos desconcentrados o descentralizados para dar cumplimiento a lo establecidos a través de los indicadores 4, 5, 6 y 7.

Identificar el potencial para impulsar procesos más sinérgicos entre sectores y reducir posibles trade-offs con las políticas enfocadas a generar crecimiento económico, estableciendo de esta forma una mejor correspondencia entre políticas públicas, no es sencillo para un país en desarrollo como México, pues la definición de objetivos de mitigación más congruentes requieren partir de la vinculación entre metas nacionales y las principales fuentes emisoras. De acuerdo con lo establecido en el Inventario Nacional de Emisiones (SEMARNAT, 2012, p. 196), las principales categorías emisoras de GEI en México son la energía (56.9 %), el cambio en usos del suelo y la silvicultura (18.2 %) y la agricultura (16.5 %). Esto tendría que reflejarse en metas de mitigación más ambiciosas para el sector transporte (22.2 %) y la generación de energía (21.68 %), lo cual puede significar impactos en cascada en el desempeño de la economía nacional ante la dependencia a hidrocarburos en la matriz energética nacional, la falta de infraestructura ferroviaria y la ineficiencia de la red de transporte público en las principales ciudades del país.

A finales de 2015 deberá definirse un nuevo acuerdo para articular la respuesta internacional ante el cambio climático. A diferencia del enfoque impulsado a través del Protocolo de Kioto, metas obligatorias para reducción de emisiones en las naciones industrializadas, el nuevo modelo busca involucrar a todas las Partes a través de Contribuciones Determinadas Nacionalmente (Intended Nationally Determined Contributions). Este cambio radical en el sentido de la arquitectura climática global, se enfoca fundamentalmente a promover incentivos para interconectar en forma multinivel las acciones locales, nacionales, regionales y globales y contener gradualmente las emisiones de GEI (Bodansky et al., 2014). Lógica que necesariamente requiere de nuevos diseños institucionales capaces de generar sinergias y resolver problemas de correspondencia entre diferentes tipos de políticas en niveles diferenciados de la organización política (Paavola, 2008; Ostrom, 2009).



Las acciones políticas y acciones de mitigación consideradas en el Artículo 34 de la LGCC, asociadas a los sectores señalados, son:

- I. Reducción de Emisiones en la generación y uso de energía.
- II. Reducción de emisiones en el sector de los transportes.
- III. Reducción de emisiones y captura de carbono en el sector agrícola, bosques y otros usos del suelo y preservación de ecosistemas y biodiversidad.
- IV. Reducción de emisiones en el sector residuos.
- V. Reducción de emisiones en el sector de procesos industriales.
- VI. Educación y cambio de patrones de conducta, consumo y producción.

5. Vínculos nacionales, estatales y locales

La LGCC, divide las responsabilidades en la lucha contra el cambio climático entre la federación, las entidades federales y los municipios, y llama a las tres entidades a coordinar sus acciones y programas. Reserva a la federación la atribución de formular y conducir la política nacional en materia de cambio climático, incluyendo la ENCC y el PECC, y tratados internacionales, entre otros; pero también exige responsabilidades importantes a las entidades federales y los municipios.

En el artículo 8, describe las atribuciones que corresponden a los estados, incluyendo la de formular, conducir y evaluar la política estatal en esta materia, y de formular, regular, dirigir e instrumentar acciones de mitigación y adaptación, ambos en concordancia y de acuerdo con la ENCC y el PECC. Otros atributos importantes, en este ámbito, son los de elaborar e instrumentar los PEACC, y de celebrar convenios de coordinación con la federación, con otras entidades federales, y con municipios para implementar acciones para la mitigación y adaptación (LGCC, 2012).

En la actualidad se están llevando a cabo muchos casos de cooperación entre las tres entidades, fortaleciendo los vínculos entre todos. Como ejemplo, durante años el Instituto Nacional de Ecología (INE), ahora INECC ha estado ayudando a los estados con la elaboración de sus PEACC. Este también está apoyando a los municipios con la elaboración de sus PACMUN, con la colaboración de la agencia internacional Gobiernos Locales por la Sustentabilidad (ICLEI, por sus siglas en inglés).

Otro ejemplo es la CICC, creada para coordinar las acciones entre las dependencias y entidades de la Administración Pública Federal con el objetivo de darle un carácter intersectorial a la política nacional climática. Al nivel estatal, los estados de Quintana Roo, Yucatán y Campeche establecieron una Comisión Regional de Cambio Climático, para desarrollar estrategias y acciones en común en la lucha contra el cambio climático. Finalmente, se debe de mencionar los Consejos de Cuenca, que sirven para facilitar la coordinación de las políticas y programas hidráulicos entre los tres niveles de gobierno. Un ejemplo de ello, es el Consejo de Cuenca del Valle de México, que reúne los estados de Hidalgo y México, así como el gobierno del Distrito Federal con representantes de la Comisión Nacional de Agua y la Comisión del Agua del Estado de México (Quinta Comunicación Nacional, 2013).

Con respeto a temas de cooperación con otros países de la región, habrá que mencionar la creación, en 2012, de Desarrollo Sustentable, A.C., una asociación civil creada a partir de un iniciativa presidencial para promover un modelo de economía verde, resiliente al clima y baja en emisiones de carbono, para México, América Latina, y el Caribe. Una de sus metas es originar esquemas de cooperación regional que involucran a múltiples niveles de gobierno, así como empresas privadas locales, regionales, e transnacionales.

6. Desarrollo de capacidades

Para el cumplimiento de las metas de reducción de emisiones es necesario contar con instrumentos de: planeación, sistemas de medición, reporte y verificación, inventarios de emisiones y atlas de riesgo. Además de la existencia de fondos que puedan financiar las actividades mencionadas.

Al respecto, la política nacional de cambio climático a través de la LGCC considera la capacitación técnica para el desarrollo de los instrumentos señalados. El INECC ha desarrollado la plataforma virtual “Elementos Técnicos para la elaboración de Programas Estatales de Acción ante el Cambio Climático”, a través de la cual se ha capacitado a 375 personas de las 32 entidades federativas. En el ámbito municipal, el ICLEI ha apoyado a través de la capacitación técnica y asesoría en el diseño e implementación de programas de desarrollo; asimismo, el gobierno federal, a través del INECC, colabora con talleres a nivel municipal para el desarrollo de inventarios de emisiones y atlas de riesgo.

En el contexto de REDD+, las políticas nacionales, a partir de los lineamientos de los acuerdos en las más recientes reuniones de las COP de la CMNUCC, han impulsado el desarrollo del Sistema de Medición, Reporte y Verificación (MRV), este sistema tiene el propósito de, a partir del establecimiento de la línea base, medir los logros en cuanto a la reducción y fijación de emisiones en el sector forestal. Pretende que los datos que se reportan en los informes de aquellos proyectos que han recibido financiamiento de la cooperación internacional, sean correctos. La primera etapa de ejecución del mecanismo REDD+, de las tres que considera su diseño, contempla el desarrollo de capacidades de MRV, la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), con apoyo del gobierno Noruego, ha impulsado en los distintos niveles de gobierno, la capacitación a través de talleres regionales, en el área, lo que también involucra inventarios y registro de emisiones forestales. (Quintana, 2014; CONAFOR, 2014).

El desarrollo de capacidades operativas y técnicas de cambio climático en el país, también involucra el trabajo que han realizado otras entidades gubernamentales y centros e institutos de investigación científica. Con relación al primero, encontramos las diversas secretarías de estado, representadas en la CICC, debido al carácter multisectorial y transversal del cambio climático. El Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), apoyado en los programas de investigación científica: Fondos Sectoriales y Fondos Mixtos, ha incorporado el tema del cambio climático en las líneas prioritarias de investigación.

El CONACyT además, a través del Programa de Ciencia Básica de la Secretaría de Educación Pública (SEP), las Cátedras de Jóvenes Investigadores y convenios de colaboración internacional, también han incorporado el tema del cambio climático como un reto de los procesos de investigación científica en el país.

El Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM, ha desarrollado escenarios climáticos para las Comunicaciones Nacionales de México ante la CMNUCC. Esos escenarios, también han sido utilizados para estudios de impactos potenciales para diferentes sectores y regiones en México.

7. El papel de las partes interesadas, incluidas las ONG

Al entender el cambio climático como un fenómeno multi-escala, implícitamente se coloca en el centro del análisis la importancia de dos tipos de procesos de entre-juego: por un lado, la dinámica institucional en forma de entre-juego horizontal (en el mismo nivel de organización) o vertical (entre ámbitos y niveles diferenciados); por el otro, la interacción conflictiva de autoridades de gobierno y actores sociales en y a través de diferentes niveles de la organización política. (Ostrom, 2009; Paavola et ál., 2009; Young, 2008 y 2013).

Desde esta perspectiva, y considerando el impacto social de los costos económicos relacionados con la definición de estrategias para mitigar Gases de Efecto Invernadero (Nordhaus, 2013), pero fundamentalmente los grados de vulnerabilidad asociados a las consecuencias inevitables del aumento en la temperatura (Adger 2006; Mearns y Norton 2010; Peeling 2011), la definición de políticas y programas de cambio climático involucran efectos distributivos desiguales para los actores políticos y sociales (Knight, 1992; Le Clercq, 2011).

La construcción de regímenes institucionales y políticas para hacer frente al cambio climático se entienden como procesos de gobernanza multinivel en los que concurren decisiones jerárquicas (top-down), ascendentes (bottom-up) y en forma de red (Adger y Jordan, 2009; Bevir, 2011; Delmas et ál., 2009; Evans, 2012). Procesos en los que las soluciones definidas desde una lógica de racionalidad administrativa ambiental (Dryzek, 1997) son disputadas por organizaciones sociales que impulsan metas más ambiciosas (Meadowcroft, 2009) organismos empresariales preocupados por costos económicos o nueva regulación, especialistas



que buscan definir técnicamente la agenda e incluso funcionarios de agencias gubernamentales preocupados por mantener los objetivos climáticos dentro del marco de sus propios programas o evitar impactos presupuestales desfavorables sectorialmente (Delgado, 2004; Ortíz y Velasco, 2012; Pérez, 2011; Quadri, 2004; Sánchez, et ál., 2009).

En la formulación de las Estrategias Nacionales Cambio Climático (2007 y 2013) y de los Programas Especiales (2008 - 2012 y 2014 - 2018) se han involucrado diálogo y participación entre autoridades, expertos, organizaciones sociales y el sector privado. De igual forma, la creación de la LGCC, en 2012, puede entenderse como un proceso de gobernanza legislativa bottom-up, en el cual los legisladores tuvieron que escuchar e integrar las opiniones de expertos, organizaciones sociales, sector privado, funcionarios públicos y representantes de agencias internacionales (Ivanova y Estrella, 2012; Le Clercq, 2014).

La misma LGCC, definió como uno de sus objetivos centrales, establecer los canales institucionales para garantizar la participación de organizaciones de la sociedad en los procesos de toma de decisiones y la evaluación de resultados ante el cambio climático en México. El Título Octavo de la Ley, instaura criterios para que los tres órdenes de gobierno promuevan la participación, la opinión y la celebración de convenios con organizaciones sociales y privadas, orientadas a fomentar acciones de mitigación y adaptación y contribuir a la planeación, ejecución y vigilancia de la política de cambio climático.

En su artículo 51, la LGCC, define la figura del Consejo de Cambio Climático (C3) como órgano de consulta de la Comisión Intersecretarial de Cambio Climático, y establece que:

Se integrará por mínimo quince miembros provenientes de los sectores social, privado y académico, con reconocidos méritos y experiencia en cambio climático, que serán designados por el presidente de la comisión, a propuesta de sus integrantes y conforme a lo que al efecto se establezca en su Reglamento Interno, debiendo garantizarse el equilibrio entre los sectores e intereses respectivos.

Después de su instalación en mayo de 2013, participan en el C3 representantes de: Centro Mario Molina, Programa LEAD del Colegio de México, el Consejo de Administración de Banamex, Centro de Estudios del Sector Privado para el Desarrollo Sustentable, World Energy Council, Organización Panamericana de la Salud, Instituto Global para la Sostenibilidad, Academia de Ingeniería de México, Pronatura México, Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sostenible, Centro de Ciencias de la Atmósfera de la Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto Politécnico Nacional, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Consejo Consultivo para el Desarrollo Sustentable de la Región Centro del país, Proyecto PNUD-SEMARNAT.

8. Vínculos con la adaptación

Los vínculos entre la política de adaptación y la de mitigación del cambio climático, consisten en aquellas estrategias, programas y acciones cuyo propósito es el desarrollo y fortalecimiento de capacidades políticas, sociales y tecnológicas para resolver los impactos y los problemas generados por el cambio climático. Los vínculos entre adaptación y mitigación existen en las acciones de política en distintas escalas geográficas (IPCC, 2014).

Por ejemplo: en el sector forestal, los proyectos de mitigación pueden facilitar la adaptación de los bosques al cambio climático y, la adaptación de los bosques puede aumentar considerablemente la sostenibilidad de los proyectos de mitigación. Los proyectos de mitigación tienen el potencial de facilitar la adaptación de los bosques al cambio climático reduciendo las presiones antropogénicas sobre los bosques, mejorando la conectividad entre las áreas forestales y conservando la biodiversidad en lugares críticos. La reducción de las presiones sobre los ecosistemas, como la destrucción y la degradación del hábitat, aumentan la capacidad de adaptación del ecosistema y forma parte de las estrategias para reducir la vulnerabilidad de los bosques al cambio climático. (Petkova et ál., 2011).

Conclusiones

Los retos principales de la política nacional de cambio climático están relacionados con la eficacia, eficiencia y equidad. Además de la existencia de instituciones, se deberá trabajar bajo los principios y objetivos que propone la propia LGCC, a saber: la sustentabilidad, la correspondencia entre niveles de gobierno, la precaución ante la incertidumbre, la prevención de daños al medio ambiente y la preservación del equilibrio ecológico, adopción de patrones de producción y consumo sustentables, integridad y transversalidad, participación ciudadana efectiva, responsabilidad ambiental, transparencia y acceso a la información y el compromiso con la economía y el desarrollo económico.

Particularmente, la política climática tendrá que fortalecerse en los siguientes temas: la publicación frecuente de inventarios y registros de emisiones, en específico en los niveles subnacionales; los mecanismos de evaluación de las políticas públicas climáticas; el impulso a la construcción de fondos financieros sostenibles y a una mayor participación de la iniciativa privada a los mercados de carbono; y, finalmente, una mejor estrategia de comunicación social climática, incluyendo un sistema de información actualizado de cambio climático, que permita a los tomadores de decisiones, investigadores, docentes y público en general, contar con estudios, inventarios, registros y evaluaciones entre otros, para una mejor comprensión de cambio climático y las decisiones políticas que se han tomado al respecto.

La política pública en materia de mitigación de cambio climático, en términos cuantitativos, a nivel federal ha alcanzado a constituir un andamiaje jurídico e institucional robusto. Se cuenta con las herramientas jurídicas y la burocracia para implementar las acciones establecidas en el PECC. Sin embargo, la mera presencia de las instituciones y las leyes no son sinónimos de éxito en la lucha frente al cambio climático, las políticas deberán en los próximos años fortalecer las capacidades o instrumentos de política en el área técnica (inventarios y registros de emisiones) que, a su vez, permitan reportar reducciones y/o aumento de GEI cuantificables, principalmente en los estados y los municipios.

Asimismo, respondiendo a la característica multinivel de la política nacional de cambio climático, se deberá trabajar para que todas las entidades federativas y aquellos municipios, que cuenten con las capacidades institucionales y financieras, desarrollen sus instrumentos de planeación y de registro y emisiones de GEI, incluyendo comités de evaluación de los objetivos y metas establecidas.

Con relación a los avances de capacidades técnicas y operativas en materia de mitigación, tanto a nivel federal como subnacional, se han concretado con el respaldo de la cooperación internacional y recursos del gasto público; sin embargo, estos procesos no pueden ser exclusivamente soportados por los recursos mencionados, de ahí que sea necesario generar estrategias e incentivos a actores privados para que incrementen su participación en los mercados de carbono, la generación de energías renovables, el transporte público de bajas emisiones y el manejo de residuos entre otros. Por ejemplo, los proyectos REDD+ han despertado el interés de los dueños de los bosques debido a las altas expectativas de transferencias de recursos económicos; sin embargo, estos últimos han salido de la cooperación del Gobierno de Noruega, de los instrumentos financieros del Banco Mundial para REDD+ y de los recursos de la CONAFOR, y no así de las compensaciones por reducción de emisiones por parte de los mercados de carbono.

Finalmente, la estrategia política de comunicación social y de educación ambiental, tendrá que responder a la necesidad de incrementar la cultura de responsabilidad social ante el cambio climático. Esta tarea implica incorporar en las políticas de comunicación social y educativa la perspectiva climática.

Referencias

- Adger, N.** (2006), Vulnerability, *Global Environmental Change*, 16, 268- 281.
- Adger, N.** & Jordan, A. (2009), *Governing Sustainability*, New York: Cambridge University Press.
- Berkes, F., Colding, J. & Folke, C.**, (Eds.) (2003), *Navigating Social-Ecological Systems. Building Resilience for Complexity and Change*. United Kingdom: Cambridge University Press.
- Bevir, Marc** (ed.) (2011), *The Sage Handbook of Governance*, London: Sage.
- Bodansky, D., Hoedl, S., Meltcaft, G. & Stavins, R.** (2014), "Facilitating Linkage of Heterogenous Regional, National, and Subnational Climate Policies Through a Future International Agreement", Harvard Project on Climate Agreements.
- Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión.** (1983). Ley de Planeación. DOF 06-05-2015 Disponible en: http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/59_060515.pdf
- Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión.** (1988). Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente. México: DOF 16-01-2014 Disponible en: http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/regley/Reg_LGEEPA_MPCCA_311014.pdf
- Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. (2012). Ley General de Cambio Climático, México: DOF 10-10-2012. Disponible en: http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGCC_291214.pdf
- Comisión Intersecretarial de Cambio Climático.** (2013). México Quinta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Disponible en: <http://unfccc.int/resource/docs/natc/mexnc5s.pdf>
- Corfee, M., Kamal, C. L., Donovan, M. G., Cochran, I., Robert A. & Teasdale, P. J.** (2009). *Cities, Climate Change and Multilevel Governance*, París: OCDE.
- Cunill, G. N.** (2014), La Intersectorialidad en las políticas sociales: un acercamiento analítico conceptual. *Gestión y política pública*, vol. 23, núm. 1: Centro Latinoamericano de Administración para el Desarrollo.
- Delgado, P. M.** (2004), El papel de las organizaciones de la sociedad civil ante el cambio climático global. En J. Martínez y A. B. Fernández (Comps.), *Cambio climático: una visión desde México*, México: Instituto Nacional de Ecología.
- Delmas, A. M. & Young, O. R.** (2009), *Governance for the Environment. New Perspectives*, New York: Cambridge University Press.
- Dryzek, J. S.** (1997). *The Politics of Earth*, New York: Oxford University Press.
- Estrategia Nacional de Cambio Climático [ENCC].** (2013). SEMARNAT. Disponible en: http://www.semarnat.gob.mx/archivosanteriores/informacionambiental/Documents/06_otras/ENCC.pdf
- Evans, J.P.** (2012), *Environmental Governance*, New York: Routledge.
- Folke, C., L., Pritchard, F., Berkes, J. G. & Svedin, U.** (2007). The Problem of Fit Between Ecosystems and Institutions: Ten Years Later. *Ecology and Society* 12(1), Artículo 30.
- Galaz, V. Olsson, P., Hahn, T., Folke, C. & Svedin, U.** (2008). The problem of Fit among Biophysical Systems, Environmental and Resource Regimens, and Broader Governance Systems: Insights and Emerging Challenges. In Young, Oran R., et al (2008).
- García, A. M.** (2011). Cambio climático, calentamiento global y pueblos indígenas en México, México: Maderas y Pueblos del Sureste A. C. Disponible en: http://maderasdelpueblo.org.mx/archivos/estcambclimyterrpfmtoedit_1.pdf
- Instituto Mexicano para la Competitividad [IMCO].** (2012). *Evaluación del Programa Especial de Cambio Climático*, México: IMCO & Det Norske Veritas, Gessellchaft für Internationale Zusammenarbeit. Disponible en: http://imco.org.mx/wp-content/uploads/2013/2/studie_2_pecc_web_ok4.pdf
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático [INECC].** (2014a). Programa Institucional del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático 2014-2018. México: Autor
- INECC.** (2012a). *Bases para una estrategia de desarrollo bajo en emisiones en México*. México: Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. Disponible en: <http://www.inecc.gob.mx/descargas/dgipea/ine-ecc-ec-02-2012.pdf>
- INECC.** (2012b). México. Quinta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, México: Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. Disponible en: <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/download/685.pdf>
- INECC.** (2014b). Avances de los Programas Estatales de Acción ante el Cambio Climático. México: Autor. Disponible en: <http://www2.inecc.gob.mx/sistemas/peacc/>
- Ivanova, A. y Estrella, E.** (2012). El marco jurídico e institucional de México ante el cambio climático. En: J. L. Calva (Coord.), *Cambio climático y políticas de desarrollo sustentable*, México: Consejo Nacional de Universitarios, p. 111-132.
- Knight, J.** (1992), *Institutions and Social Conflict*. New York: Cambridge University Press.

- Le Clercq, J. A.** (2011). Cambio climático: políticas nacionales y bases institucionales. *Diálogo Político*. Buenos Aires: Konrad-Adenauer-Stiftung. 3, 97-115.
- Le Clercq, J. A.** (2014). La gobernanza ambiental y el diseño del régimen climático mexicano. Ponencia presentada en el 2º. Congreso Internacional de Ciencia Política. AMECIP. Eje temático 20. Política Medioambiental, Energética y Recursos Naturales, 11 al 13 de septiembre 2014.
- Le Clercq, J. A.** (2015). La construcción de un régimen institucional ante el cambio climático en México 2006-2012 [Tesis de doctorado]. México: UNAM
- Meadowcroft, J.** (2009). What about the politics? Sustainable Development, transition management, and long term energy transitions. *Policy Science*, 42, 323-340.
- Mearns, R.** & Norton, A. (2010), *Social Dimensions of Climate Change*. The World Bank.
- Micheli, J.** (2002), Política ambiental en México y su dimensión regional. *Región y sociedad* vol. XIV, núm. 23, México: Colegio de Sonora. Disponible en: http://lanic.utexas.edu/project/etext/colson/23/23_5.pdf
- Nordhaus, W.** (2013), *The Climate Casino: risk, uncertainty and economics for a warming world*. U deYale.
- Ortiz E., B.** y Samperio, C. V. (Coord.). (2012). *La percepción social del cambio climático*. México: Universidad Iberoamericana de Puebla y SEMARNAT.
- Ostrom, E.** (2000). *El gobierno de los comunes: la evolución de las instituciones de acción colectiva*, México: Fondo de Cultura Económica y UNAM: Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias.
- Ostrom, E.** (2009). A Polycentric Approach for Coping with Climate Change, *Policy Research Working Paper 5095*.
- Paavola, J.** (2008). Explaining Multi-Level Environmental Governance. UK: University of Leeds - Sustainability Research Institute.
- Paavola, J.,** Gouldson, A. & Kluvánková, T. (2009). Interplay of Actors, Scales, Frameworks and Regimes in the Governance of Biodiversity, *Environmental policy and Governance*, 19 (3), 148-158
- Peeling, M.** (2011). *Adaptation to Climate Change*, New York: Routledge.
- Pérez, P. J.** (2011). La responsabilidad social empresarial frente al cambio climático, *Las dimensiones globales del cambio climático. Un panorama desde México. ¿Cambio social o crisis ambiental?* México: Instituto Mora-UNAM.
- Petkova, E.,** Larson, A. y Pacheco, P. (2011). *Gobernanza forestal y REDD+: Desafíos para las políticas y los mercados*, Indonesia: CIFOR.
- Quadri, G.** (2002). Potencial de participación del sector privado mexicano en el mecanismo de desarrollo limpio. En: J. Martínez y A. Fernández (Comp.). *Cambio climático: una visión desde México*, México: SEMARNAT-INE.
- Quintana, S. F.** (2014). Los bosques en la estrategia global de lucha contra el cambio climático, México: Friedrich Ebert Stiftung. Disponible en: <http://library.fes.de/pdf-files/bueros/mexiko/10801-20140618.pdf>
- Rosete, V. F.,** Pérez, D. J., Navarro, S. E., Salinas, C. E. y Remond, N., R. (2014). El avance de la deforestación en México 1976-2007. *Madera y Bosques*, 20 (1), 21-35.
- Sánchez, G.,** Lucatello, S. y Ceccon R. B. (2009). Programa de diálogo y construcción de acuerdos: cambio climático y seguridad nacional. En: M. Hernández, J. del Tronco y G. Sánchez (Coord.), *Un Congreso sin mayorías. Mejores prácticas en negociación y construcción de Acuerdos*. México: Flasco y Centro de Colaboración Cívica, p. 269-310.
- Secretaría de Gobernación [SEGOB].** (2014). Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, México: Secretaría de Gobernación.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT].** (2014). Programa Especial de Cambio Climático 2014-2018, México: DOF 28-04-2012. Disponible en: http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5342492&fecha=28/04/2014
- SEMARNAT.** (2006). *La gestión ambiental en México*. Disponible en: http://centro.pot.org.mx/documentos/semarnat/Gestion_Ambiental.pdf
- SEMARNAT.** (2009). Programa Especial de Cambio Climático 2009-2012. México: DOF 28-08-2009 Disponible en: http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5107404&fecha=28/08/2009
- SEMARNAT.** (2013). Estrategia Nacional de Cambio Climático. Visión 10-20-40, México: DOF 03-06-2013. Disponible en: http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5301093&fecha=03/06/2013
- Stern, N.** (2006). Mudanzas Climáticas. Disponible en: http://mudancasclimaticas.cptec.inpe.br/~rmclima/pdfs/destaques/sternreview_report_complete.pdf
- Townshend, T.** Fankhauser, S., Aybar, R., Collins, M., Landesman, T., Nachmany, M. & Pavese, C. (2013). *The Globe Climate Legislation Study. A Review of Climate Change Legislation in 33 Countries*, Londres: Globe International/The London School of Economic and Political Science.
- Tudela, F.** (2004). México y la participación de países en desarrollo en el régimen climático. En: J. Martínez, y A. Fernández (Comp.) *Cambio climático: una visión desde México*, México: Instituto Nacional de Ecología.
- Young, O.,** King, L., and Schroeder, H. (2008), *Institutions and Environmental Change*. USA: Massachusetts Institute of Technology.
- Young, O. R.** (2013). *On Environmental Governance*, London: Paradigm Publishers.



Capítulo 14

OPCIONES DE FINANCIAMIENTO PARA LA MITIGACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN MÉXICO

Autores líderes:

José Clemente Rueda Abad¹ y Armando Sánchez Vargas¹⁰.

Autores Colaboradores:

Ana Liz Herrera Merino¹⁰, Zuelclady María Fernanda Araujo Gutiérrez³²,
Luis Ricardo Fernández Carril¹, Simone Lucatello⁴² y Luis Fernando Macías García⁴³.

¹UNAM PINCC Programa de Investigación en Cambio Climático,
Universidad Nacional Autónoma de México, ¹⁰UNAM IIEc Instituto de Investigaciones Económicas,

³²FAO Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura,

⁴²Instituto Mora Programa de Investigación en Cooperación Internacional Desarrollo y Políticas Públicas,

⁴³Universidad de Guanajuato, Campus León División de Ciencias Sociales y Humanidades.

Palabras clave: Financiamiento, mitigación, arquitectura financiera,
instrumentos financieros, transparencia.

Resumen

El estudio del estado actual y futuro de la estrategia para el financiamiento de la mitigación de gases de efecto invernadero en México, constituye un área de oportunidad para los expertos en el ámbito financiero, ya que una búsqueda minuciosa de literatura al respecto, a nivel nacional e internacional, sugiere que existe una ausencia de documentos que exploren a profundidad este tema. Se identificó que tanto el capital público como el privado participan activamente en el financiamiento de iniciativas de mitigación; sin embargo, es importante resaltar que el capital privado será el principal origen del financiamiento. Los hallazgos sugieren que México enfrenta grandes desafíos en materia de financiamiento, tales como: la coordinación institucional; la transparencia del origen y destino de los recursos y los mecanismos de trazabilidad; monitoreo; reporte y verificación de la canalización de los dineros.



Introducción

Los costos estimados del cambio climático en México se concentran básicamente en dos estudios. En el primero de ellos se concluye que, utilizando una tasa de descuento de 4 %, los costos totales por cambio climático acumulados hasta el 2100 representarían para el país alrededor de 6.22 % del Producto Interno Bruto (PIB) actual (SHCP-SEMARNAT, 2009). Por otra parte, usando estimaciones preliminares del Modelo Estocástico de Evaluación Integrada del Centro de Ciencias de la Atmósfera (M-CCA/UNAM) (Estrada et ál., 2010), los impactos acumulados hasta el 2100 por el cambio climático podrían representar entre veinte y cuarenta veces el PIB actual de México. “Este monto equivaldría a perder más de 3 % del PIB todos los años desde el 2001 hasta el 2100” (Estrada y Martínez, 2011, p.12). Lo anterior, ha abierto un debate sobre las estimaciones potenciales de dichos costos (Estrada, 2011).

Entre las primeras acciones a las que México se comprometió voluntariamente es a una reducción de 30 % de gases de efecto invernadero (GEI) hacia el 2020. De acuerdo con este compromiso, se deberán disminuir 261 Mt CO₂-eq. Esto se traduce como un requerimiento financiero de 138,000 millones de dólares para capturar el potencial de abatimiento mencionado anteriormente. La inversión solicitada puede venir de tres fuentes: consumidores finales a través de normas de eficiencia energética y vehicular, correspondientes al 25 % del gasto con 31,000 millones de dólares; el gobierno con un gasto de 43,000 millones de dólares, equivalente al 31 % del gasto requerido; por último, el capital privado será el principal origen del financiamiento, correspondiente al 43 % del gasto, con 60,000 millones de dólares que implementara de forma independiente, o que puede incluir esquemas de asociaciones público-privadas para el desarrollo de mercados verdes (SEMARNAT e INECC, 2012b, p.92). Tanto el capital público como el privado participan activamente en el financiamiento de iniciativas, como se podrá observar a lo largo de este capítulo con el análisis de la arquitectura financiera nacional e internacional.

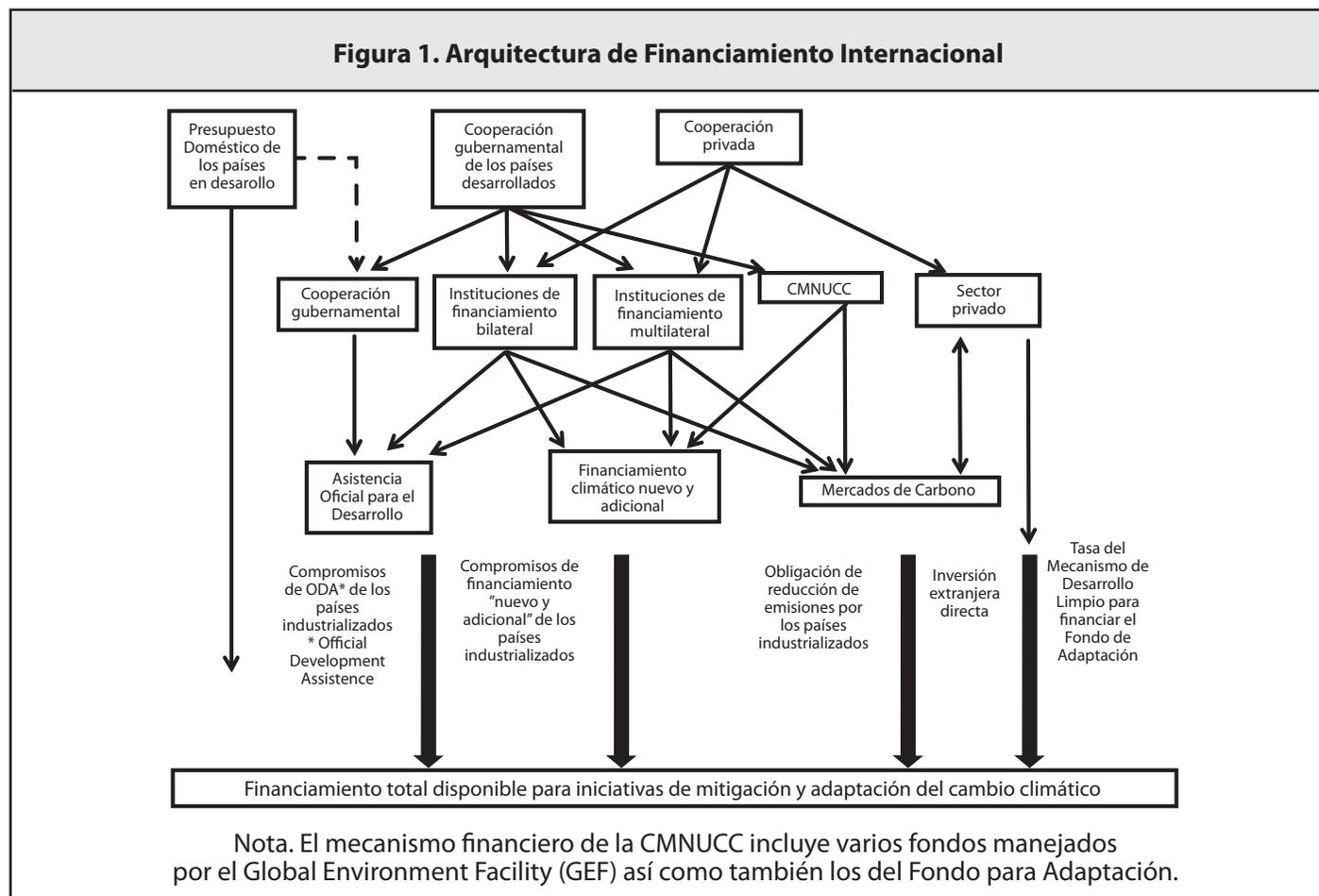
El estudio del estado actual y futuro de la estrategia para el financiamiento de la mitigación de GEI en México constituye un área de oportunidad para los expertos en el área financiera, ya que una búsqueda minuciosa de literatura al respecto, a nivel nacional e internacional, sugiere que existe una ausencia de documentos que exploren a profundidad este tema. De hecho, en el universo de investigaciones recientes en materia de mitigación existen pocos trabajos que discutan y analicen teóricamente, o con la utilización de casos paradigmáticos, las opciones de financiamiento para el caso de México. En este contexto, en el ámbito público-político federal, tanto el Programa Especial de Cambio Climático 2009 - 2012 como el Programa Especial de Cambio Climático 2014 - 2018 señalan, en su visión de largo plazo, que para que el país pueda cumplir con sus metas de reducción de emisiones se requiere del acceso a recursos financieros internacionales que coadyuven a cristalizar la política de mitigación del gobierno federal. En este mismo sentido, la Ley General de Cambio Climático (LGCC), que entró en vigor en octubre de 2012, hace también referencia a los tipos de esquemas de financiamiento nacionales e internacionales enfocados a la disminución de GEI.

1. La arquitectura financiera climática internacional y la mitigación

El financiamiento para la mitigación del cambio climático se encuentra regulado por el artículo 11 del Protocolo de Kioto (PK) de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) y en él se señalan sus características. En primer lugar, se trata de mecanismos de financiamiento justificados desde la cooperación internacional para el desarrollo. En segundo lugar, deben ser nuevos, adicionales y previsibles. Al mismo tiempo deben estar garantizados por los mecanismos institucionales vigentes. Los canales de acceso al financiamiento reconocidos por el mismo artículo 11 del PK son variados y en los últimos años los fondos existentes para el cambio climático se han multiplicado y eso provoca que se complique su análisis en el ámbito internacional. Sin embargo, la arquitectura del financiamiento climático actual se basa en las entidades capaces de financiar las actividades de los países para llevar a cabo acciones de mitigación de GEI y estrategias de adaptación social.

En este contexto, la primera fuente de financiamiento es aquella que proviene de los recursos presupuestarios de cada país. La segunda fuente se refiere a los esquemas de financiamiento incorporados en la agenda de la Asistencia Oficial para el Desarrollo, que si ya cuentan con el componente cambio climático no deberían ser modificados. Básicamente, se sigue la lógica de que

el financiamiento para esta área debe ser nuevo y adicional; los recursos pueden provenir de fuentes de financiamiento bilateral, multilateral, de la CMNUCC y de la banca privada. Lo anterior significa que se acepta la cooperación gubernamental, regional o multilateral, pero también del sector privado y por ello la existencia de los mercados de carbono es un elemento importante en esta arquitectura (Atteridge et ál., 2009).



Fuente: Atteridge et ál., 2009, 4 Retomado en UNEP, 2011, 2 y UNEP, 2012, 11 (esquema modificado del original)

Siguiendo la estructura derivada del PK, algunos de los instrumentos de carácter multilateral son: el Strategic Priority on Adaptation (SPA); el GEF; Trust Fund -Climate change focal area (GEF-4); el GEF Trust Fund- Climate change focal area (GEF-5) y el GEF Trust Fund Climate Change focal area (GEF-6) que son instrumentados por el Global Environment Facility. El Banco Mundial conduce el Clean Technology Fund, el Forest Carbon Partnership, el Facility Strategic Climate Fund, el Forest Investment Program y el Scaling Up Renewable Energy Program in Low Income Countries. Por parte de la Comisión Europea están el Global Climate Change Alliance y el Global Energy Efficiency and Renewable Energy Fund. El Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo conduce el UN-REDD Programme. En los fondos de carácter regional, basados en un esquema de donación múltiple, el Banco Africano de Desarrollo opera el Congo Basin Forest Fund. En los fondos de carácter bilateral se encuentran: Australia's International Forest Carbon Initiative; Germany's International Climate Initiative; el Japan's Fast Start Finance -Private Sources y el Japan's Fast Start Finance -public sources, Norway's International Climate and Forest Initiative. Finalmente, el gobierno del Reino Unido implementa el UK's International Climate Fund (Rueda, 2014).

El esquema de financiamiento internacional hasta el año 2010 no contaba con un fondo propio de la CMNUCC para hacer frente al tema objeto de su interés. Desde su inicio dicho esquema fue puesto en la cartera de asuntos del GEF, esta situación



fue resuelta con la creación del Fondo Verde para el Clima (Green Climate Fund), propuesto por México durante la Conferencia de las Partes de la CMNUCC número 14 (COP14) celebrada en Polonia. Durante la COP15 llevada a cabo en Copenhague se dio a conocer su existencia, pero dado que los acuerdos de esa sesión de la COP no fueron tomados como oficiales, dicho mecanismo se aprobó en 2010 en la COP16. Un año más tarde durante la COP17, realizada en Durban, se señaló que el Fondo comenzaría a operar a partir del año 2020 (Rueda y Jiménez, 2013).

La negociación del Fondo Verde para el Clima se realizó teniendo en consideración que la CMNUCC había señalado que el 46 % de los recursos financieros destinados a la mitigación deben dirigirse a los países en desarrollo. Los flujos de inversión y de financiamiento para la mitigación dependen de la magnitud de la reducción de emisiones. El escenario de referencia utilizado en el informe de la CMNUCC proyecta que las emisiones globales aumentarán de 38.87 gigatoneladas de CO₂ equivalente (GtCO₂-eq) en el año 2000 a 61.52 GtCO₂-eq en el año 2030; aproximadamente 1.5 % anual. Gran parte del incremento de dichas emisiones se generarán en países en vías de desarrollo. Bajo el escenario de mitigación, las emisiones globales alcanzaron su nivel más alto en 2015 con 41.81 GtCO₂-eq y luego descienden a 29.11 GtCO₂-eq en 2030; 25 % inferior a las emisiones de 2000 (CMNUCC, 2007). Se estima que la variación neta de los flujos de inversión y de financiamiento anuales, en 2030, para mitigación del cambio climático crecerá aproximadamente en 210,000 millones de dólares globalmente, de los cuales alrededor de 75,000 millones de dólares tendrán lugar en países en desarrollo (Rueda, 2014).

La conclusión fue que las necesidades de financiamiento demandadas para la creación del Fondo Verde para el Clima son asequibles y en segundo lugar que el sistema financiero y los países no tendrían que hacer esfuerzos adicionales porque con los instrumentos actuales, basados en esquemas de mercado, se podrían acceder a los mencionados flujos financieros (United Nations, 2010). Es necesario reconocer que la existencia de este nuevo fondo de carácter multilateral (que entrará en operaciones hasta el año 2020) no cancela la existencia de la multiplicidad de fondos que existen actualmente para cambio climático y eso complejiza la georreferenciación sobre los proyectos que han sido aprobados para su financiamiento. Cabe destacar que el debate financiero sobre el régimen pos-kioto ha sido analizado por diversos autores pero no existe literatura generada por mexicanos al respecto (Aldy, 2008; Aldy, 2008a; Bodansky, 2004; Gersbach, 2007; Giddens, 2009; Hulme, 2009; Newell, 2010; Stavins, 2007, y Stern, 2009).

2. La postura de la política mexicana de financiamiento para la mitigación

2.1. Las comunicaciones nacionales

En la Primera Comunicación Nacional de México ante la CMNUCC el tema de financiamiento internacional se centra en dar a conocer algunos proyectos que han sido financiados y que de manera indirecta han tenido un impacto en el ámbito de cambio climático (SEMARNAP, 1997). En la segunda comunicación se destacó que México tendría oportunidades en materia de transferencia de tecnologías y financiamiento de acciones de mitigación en el corto y mediano plazo, principalmente en el área de energía y posiblemente en el área forestal (SEMARNAT/INE, 2001).

En el Capítulo VII de la Tercera Comunicación Nacional se reconoce que la obtención de recursos internacionales para implementar acciones de mitigación se realizó y financió a través de los Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL), en tanto que otras estrategias nacionales que no pudieron ser colocadas en ese rubro, por ser parte de la política doméstica, fueron respaldadas con recursos presupuestarios nacionales (SEMARNAT, 2006).

En la Cuarta Comunicación Nacional de México, el tema del financiamiento para la mitigación se centró en dar a conocer la Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética (publicada el 8 de noviembre de 2008 en el Diario Oficial de la Federación-DOF). Adicionalmente, se destaca el papel del Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica (FIDE), un organismo público-privado que tiene como finalidad ofrecer asesoría, asistencia técnica y financiamiento para proyectos específicos para el ahorro y uso eficiente de la electricidad en los sectores industrial, comercial, servicios y doméstico (SEMARNAT/INE, 2009).

En el capítulo VII de la Quinta Comunicación Nacional se reconoce que para poder dar cumplimiento con las metas del Programa Especial de Cambio Climático (PECC) 2009 - 2012, de la LGCC, de los Programas Estatales de Acción Climática (PEACC) y los Programas de Acción Climática Municipal (PACMUN) se requiere de capacitación y financiamiento, sobre todo en temas de inventarios de emisiones de GEI, observación sistemática, escenarios de emisiones, climáticos y económicos, investigación en mitigación, vulnerabilidad y adaptación, sensibilización e identificación de barreras tecnológicas. De esta manera, se concluyó que no se contaba con el financiamiento necesario para poder implementar en su totalidad el PECC 2009 - 2012 (SEMARNAT/INECC, 2012).

2.2. Las Estrategias Nacionales de Cambio Climático y los Programas Especiales de Cambio Climático

Sobre el tema del financiamiento de la mitigación en la Estrategia Nacional de Cambio Climático 2007 (ENCC) sólo se señalan tres directrices. En primer lugar, el diseño de esquemas de financiamiento y crédito para facilitar el proceso de conversión para los sistemas de iluminación. En segundo lugar, se señala la necesidad de explorar opciones de financiamiento en las viviendas y su consumo de energía. Finalmente, se recomienda la búsqueda de mecanismos para uso de gases en la granjas porcinas y su implementación a través de esquemas MDL (CICC, 2007).

En la ENCC, 10-20-40, se reconoce la existencia de la Plataforma de Durban para la Acción Ampliada, que es el resultado de la COP17 y que tiene el objetivo de lograr un protocolo, otro instrumento o un resultado acordado con fuerza legal para 2015, que se implementará a más tardar a partir de 2020. A la par de estos procesos, para los países en desarrollo se impulsan las Acciones de Mitigación Nacionalmente Apropriadas (NAMA, por sus siglas en inglés) con la posibilidad de ser respaldadas y facilitadas mediante tecnología y financiamiento internacional. Estas medidas tienen la finalidad de contribuir al cumplimiento de las metas voluntarias de reducción de emisiones definidas por los países en desarrollo (SEMARNAT, 2013). Sin embargo, no hay mayor información al respecto.

En la parte de la mitigación, durante la administración de Felipe Calderón se estableció que para el 2012 podría alcanzarse una reducción total de emisiones anuales, de aproximadamente 51 Mt CO₂-eq respecto al escenario tendencial (línea base a 2012 que ascendería a 786 Mt CO₂-eq.). Lo anterior como resultado de acciones desarrolladas en los sectores relacionados con la generación y uso de energía, agricultura y desechos. A mediano y largo plazos, el gobierno mexicano aspiraba a reducir sus emisiones GEI en 30 % hacia 2020 y en 50 % a 2050, lo anterior en relación a una línea base con los niveles de emisiones de 2000. Para lograr la meta en el mediano plazo, en el PECC se identificó la necesidad de disminuir emisiones en los siguientes sectores claves: generación, producción y consumo de electricidad, petróleo y gas; consumo de combustibles fósiles en el sector industrial y transporte. Sin embargo, también se reconoció que estas metas eran sólo de carácter indicativo porque no se contaba con los recursos financieros para instrumentar estas políticas de mitigación (CICC, 2009).

En el PECC 2014-2018 se señala que México es un país en desarrollo que busca transitar hacia una economía competitiva, sustentable y de bajas emisiones de carbono. Además, se reconocen las metas de reducción de emisiones comprometidas en la administración anterior (30 % con respecto a la línea base en 2020, así como un 50 % al 2050 en relación con las emisiones del año 2000) para poder cumplir con dichas tareas, se llevará a cabo una programación en el Presupuesto Anual de la Federación. Sin embargo, muchas de las metas y objetivos trazados en dicho Programa han sido señalados con asteriscos, lo cual implica que la reducción de emisiones en las áreas mencionadas anteriormente, sólo podrán realizarse si se obtienen apoyos financieros y tecnológicos, nacionales o internacionales, tanto públicos como privados. Es decir, en algunos sectores de la mitigación los apoyos serán nuevamente de carácter indicativo (Gobierno de la República, 2014).

2.3. La Ley General de Cambio Climático

La Ley General de Cambio Climático (LGCC), publicada en el DOF el 6 de junio de 2012, define el marco institucional de las acciones de adaptación y mitigación en México. Establece, entre otros aspectos, la división de las responsabilidades de los diferentes órdenes del gobierno (Federal, Estatal y Municipal); la creación de la Comisión Intersecretarial de Cambio Climático, el Consejo



de Cambio Climático y el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. Los instrumentos de planeación son: la Estrategia Nacional de Cambio Climático, el Programa Especial de Cambio Climático y los Programas de las entidades federativas y de los municipios. La política nacional de cambio climático estará sujeta a evaluación a través de la Coordinación de Evaluación de las Políticas de Mitigación y Adaptación al Cambio Climático.

Por medio de la LGCC se crea el Fondo para el Cambio Climático con el objetivo de captar y canalizar recursos financieros públicos, privados, nacionales e internacionales, para apoyar la implementación de medidas para enfrentar el cambio climático. Las acciones relacionadas con la adaptación serán prioritarias en la aplicación de los recursos del fondo.

Sobre el asunto del financiamiento para la mitigación se señala:

- Artículo 33 Fracción XV: promover la canalización de recursos nacionales e internacionales para el financiamiento de proyectos y programas de mitigación de gases y compuestos de efecto invernadero en los sectores público, social y privado.
- Artículo 36: la Secretaría promoverá de manera coordinada con la Secretaría de Hacienda y Crédito Público y la Secretaría de Energía, en el ámbito de sus competencias, el establecimiento de programas para incentivar fiscal y financieramente a los interesados en participar de manera voluntaria en la realización de proyectos de reducción de emisiones.
- Capítulo VII Fondo Para El Cambio Climático Artículo 82 Fracción III: desarrollo y ejecución de acciones de mitigación de emisiones conforme a las prioridades de la Estrategia Nacional, el Programa y los programas de las Entidades Federativas en materia de cambio climático; particularmente en proyectos relacionados con eficiencia energética; desarrollo de energías renovables y bioenergéticos de segunda generación; y eliminación o aprovechamiento de emisiones fugitivas de metano y gas asociado a la explotación de los yacimientos minerales de carbón, así como de desarrollo de sistemas de transporte sustentable (DOF, 2012).

Sin embargo, las necesidades técnicas, de capacitación y financieras están delimitadas en gran medida por las metas ideales de México sobre la mitigación de emisiones de GEI y de adaptación en el mediano (2030) y largo plazo (2050). Dichas metas están establecidas en el PECC, en la LGCC, a nivel subnacional, por las actividades planteadas en el PEACC y el PACMUN.

2.4. Mercados de carbono en México

México como país perteneciente al Anexo II del Protocolo de Kioto (vencido en 2012 y actualmente en transición hacia un acuerdo vinculante global), participa desde 2005 en los esquemas de reducción de emisiones por medio de los MDL, recientemente con iniciativas de impuesto al carbono y se está discutiendo la creación de un mercado de comercio de emisiones para el sector energético¹.

A pesar del número incipiente de artículos publicados durante nueve años, la literatura analizada en este estudio señala que la producción científica sobre mercados de carbono se divide a grosso modo en los siguientes rubros: a) publicaciones que ofrecen una visión general de los principios que inspiran el comercio de carbono y sus fundamentos teóricos (30 %); b) artículos y capítulos que tratan el tema del entorno regulatorio de los esquemas de reducción de emisiones (20 %) y un grupo de investigaciones sobre el funcionamiento del mercado de carbono y su relación con el Protocolo de Kioto (15 %). Una parte importante de los trabajos analizan los impactos de los MDL a nivel de sustentabilidad del país y su gobernanza (35 %). Estudios recientes discuten el tema del impuesto al carbono en México que fue adoptado desde enero de 2014 (5 %).

¹ Con el Protocolo de Kioto (primer período de cumplimiento 2008-2012 y segundo período 2012-2020), los países en desarrollo (países no incluidos en el Anexo I) no están obligados a reducir sus emisiones de GEI, mientras que los países industrializados tienen que cumplir objetivos específicos. Estos pueden ser logrados aminorando las emisiones de GEI en su propio país, implementando proyectos para disminuir las emisiones en otros países o a través del comercio. Esto significa que los países que han satisfecho sus obligaciones con el PK pueden vender sus excesos de créditos de carbono a países que encuentran más caro cumplir sus objetivos.

Más allá de la literatura académica revisada existe un cuerpo de información conformado por varios documentos de organismos internacionales entre los que se encuentran: State and trends of carbon markets 2010, 2011, 2012 y State and trends of carbon pricing 2013 y 2014 publicados por el Banco Mundial; la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), Evaluaciones de desempeño ambiental México 2013 y del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) con The Emission Gap Report 2013 y 2014 en los que se mencionan los temas de carbono relacionados con México pero sin profundizar demasiado en el estado de mercado de carbono del país.

La evidencia muestra que no hay presencia significativa de artículos de corte jurídico nacional e internacional sobre el tema, así como también la escasa literatura sobre aspectos de evolución y tendencias de estos mercados en México y a nivel regional e internacional. La revisión de la literatura nacional de 2005 a 2014, a través del buscador Consorcio Nacional de Recursos de Información Científica y Tecnológica (CONRICyT) del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), arroja un total de 376 artículos científicos en español y 34 en inglés publicados sobre el tema de mercados de carbono y México dando un total de 410 trabajos en un lapso de 9 años (CONRICyT, 2014). Estos aparecen principalmente en revistas de economía, ciencias políticas y sociales. Se distingue un grupo de autores que vienen frecuentemente citados por trabajar estos temas: Ibararán; Lucatello; López Vallejo; González Ávila; Caballero; Ortiz; Centro Mario Molina, entre otros.

3. El diseño institucional y las opciones para el financiamiento

3.1. Los instrumentos financieros nacionales

La cuestión del financiamiento del cambio climático en México se mueve en el marco epistémico de la cooperación internacional para el desarrollo (Lucatello, 2012) que se promueve desde la CMNUCC, pero que en la práctica es difícil de rastrear no sólo los montos que se aplican (aunque los recursos se encuentren ya en el ejercicio anual de la cuenta pública), sino que también es muy complicado saber cómo se ha administrado el financiamiento internacional. En ese sentido, no existe un análisis sobre el diseño de instrumentos para acceder a fuentes de recursos internacionales o nacionales de carácter innovador (CEMDA, 2013).

El tema de la transparencia en el manejo de los fondos para cambio climático es un área de reciente interés porque ahí puede estar una limitante institucional para que los países como México puedan acceder a los recursos internacionales para la mitigación de sus emisiones. Este es un tema nuevo, sobre el que llaman la atención los reportes realizados por el Centro Mexicano de Derecho Ambiental (CEMDA), pero que ya ha sido objeto de atención internacional (Elges, 2014; Martin, 2014; Martin, 2014a; Martin, 2014b; Transparency International, 2011).

Los instrumentos financieros a los que se puede acudir son los mismos con los que ya cuenta actualmente. De acuerdo con el Instituto Mexicano para la Competitividad, los esquemas de financiamiento pueden conseguirse a través de:

- **Líneas de Crédito.** Otorgamiento de fondos a la banca privada para que financien un cierto tipo de actividad a una menor tasa de interés. Solucionan la falta de liquidez para proyectos de mediano a largo plazo, así como también las altas tasas de interés que proyectos con una mayor percepción de riesgo puedan tener. Existen dos modalidades para hacerlo: a través de la deuda principal o la subordinada. La ventaja de otorgar una línea de crédito a la deuda subordinada es que pierde prioridad frente a otras deudas. Esto le quita presión financiera al proyecto sin que se pierda la razón acciones-deuda ni se aumente el riesgo para los acreedores de la deuda principal.
- **Garantías.** Mecanismos que incentivan la participación de instituciones de inversión privada que se mostraban renuentes por el alto riesgo percibido. El objetivo es que el compromiso se comparta entre las instituciones privadas y el gobierno. Para su adecuado financiamiento, las garantías deben ser impuestas en un entorno financiero con tasas de interés razonables y con el interés de la iniciativa privada.
- **Facilidades de préstamo para proyectos.** Financian las etapas en las que la iniciativa privada se muestra indispuerta o incapaz de participar. El objetivo es otorgar créditos blandos para proyectos que no han logrado solidez financiera. A diferencia de una línea de crédito, el gobierno es el responsable directo de financiar el proyecto.



- **Fondos de capital de riesgo.** Impulsan el desarrollo de la tecnología desde la etapa de investigación y desarrollo hasta la de demostración. Idealmente debería ser un mecanismo de la iniciativa privada, sin embargo, las distorsiones del sistema financiero en México han impedido su desarrollo. El gobierno puede administrar uno para solucionar este rezago y, al mismo tiempo generar empresas consolidadas en las que la banca privada esté dispuesta a invertir.
- **Premios.** Generan investigación en un área en específico mediante el otorgamiento de reconocimientos y asistencia financiera al ganador de un concurso.
- **Concesiones de desarrollo de proyectos.** Otorgan recursos para la preparación de proyectos, particularmente, en el caso de pequeños desarrolladores. El objetivo es compartir la carga financiera que la estructuración del proyecto genera. El mecanismo puede ser un préstamo a fondo perdido o un préstamo contingente que se pague en caso de éxito.
- **Concesiones para asistencia técnica.** Otorgan dinero para la construcción de capacidades. Es un área fundamental pues la naturaleza de las tecnologías sustentables reduce la existencia de personal capacitado para las distintas áreas que componen el proyecto. Lo anterior es una importante razón por la que los bancos se muestran indispuestos a financiar estos proyectos; generalmente no cuentan con el expertise para una correcta evaluación financiera. El mecanismo puede ser un préstamo a fondo perdido o un préstamo contingente que se pague en caso de éxito.

Por otra parte, para que las finanzas públicas nacionales puedan hacer frente al asunto de cambio climático (no sólo para implementar estrategias de mitigación) se busca incorporar lo que desde el Gobierno Federal se ha denominado como reforma fiscal verde, la cual analiza un conjunto de opciones, entre las que destacan la revisión de los subsidios, los impuestos, los permisos comercializables (Cap and-trade) y políticas de regulación o de comando y control. La lógica de esta revisión se mueve bajo el paradigma de que se trata del desarrollo de opciones de políticas fiscales de doble dividendo con impactos positivos sobre el medio ambiente y que, simultáneamente, tienen consecuencias favorables en la eficiencia económica y el bienestar de la población (PNUD, 2012).

3.2. La arquitectura financiera nacional

La arquitectura financiera nacional para cambio climático se centra en el reconocimiento de fuentes domésticas y de ubicación de opciones internacionales. En el ámbito local se tienen:

- **Banco Nacional de Obras y Servicio Públicos (BANOBRAS):** Otorga garantías de crédito y apoyos financieros para proyectos que cumplan con la Estrategia Nacional para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía.
- **CONACyT / Secretaría de Economía Fondo de investigación para la innovación tecnológica:** El concurso se abre anualmente.
- **Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica (FIDE):** Otorga financiamiento a proyectos para la instalación de equipos y sistemas de cogeneración hasta de 500 Kw.
- **Financiera Rural:** Busca el fortalecimiento de instituciones financieras en el entorno rural mediante el Programa para Reducción de Costos al Crédito y el Programa de Constitución de Garantías Líquidas.
- **Fondos Metropolitanos:** Están destinados a financiar proyectos de infraestructura en las áreas metropolitanas del país.
- **Fondo Nacional de Garantías de los Sectores, Agropecuario, Forestal, Pesquero y Rural:** Incentiva la participación de los intermediarios financieros con apoyos a proyectos de inversión relacionados con la producción de fuentes renovables de energía y de biocombustibles.
- **Fondo para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía:** Promueve la eficiencia y sustentabilidad energética.
- **Gobierno de Baja California/Banco Interamericano de Desarrollo (BID):** Tiene como objetivo reducir el costo de la energía y construir nuevas capacidades, consultoría, asistencia técnica y esquemas financieros para el desarrollo de la tecnología en el resto del país.
- **Nacional Financiera:** Cuenta con créditos destinados a respaldar proyectos de ahorro de energía, de energía renovable y de innovación tecnológica. Además, tiene un programa de apoyo a proyectos sustentables; brinda ayuda financiera a largo

plazo a empresas que promuevan proyectos orientados al uso y conservación sustentable de los recursos naturales, a fin de reducir la contaminación de la atmósfera, aire y agua e impulsar el ahorro y uso eficiente de energía.

- **Pemex-esquema IPP:** Existen esquemas como el de productor de energía independiente (IPP) que permiten una mayor participación de la inversión extranjera; el financiamiento se estructura mediante pagos de capacidad y energía, conforme al contrato de compra de energía.
- **Programa de residuos sólidos municipales:** Es un programa dirigido por la COSEF; otorga créditos para que los municipios tengan un sistema de manejo de residuos sólidos.
- **Programa Hábitat:** Programa de la Secretaría de Desarrollo Social que financia proyectos para la mitigación del cambio climático en un entorno rural.
- **Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA):** Cuenta con un fondo de 60.5 millones de dólares y un plan de instalación de tecnologías renovables en el ámbito rural. El esquema consiste en una participación de 50 % por parte del programa y 50 % por el Municipio.
- **Secretaría de Energía (SENER):** tiene un programa para la electrificación rural con fuentes renovables de energía y el objetivo es llegar a 50,000 viviendas (PNUMA, 2011).

En lo que respecta al ambiente de carácter internacional se reconoce que se pueden aplicar proyectos para obtener financiamiento a través de:

- **Apollo Holdings:** fondo de inversión privado que otorga créditos desde dos millones de pesos a empresas para el mejoramiento ambiental de sus procesos.
- **Banco de Desarrollo de América Latina:** Financia proyectos de energías renovables con costo de 3,000 hasta 30,000 dólares.
- **Clean Technology Fund/BID:** Cuenta con un programa de eficiencia energética en México para el sector privado. Este consiste en promover el fondeo de la banca comercial y acciones para mitigar los riesgos percibidos.
- **Climate Development Knowledge Network:** Otorga asistencia a países desarrollados para generar proyectos compatibles con la reducción de emisiones. La ayuda se da a través de asistencia técnica, construcción de capacidades, investigación y transferencia de información.
- **Climate Finance Innovation Facility:** Fondea a las instituciones financieras para que otorguen créditos a las energías renovables.
- **Climate Technology Initiative:** Busca la creación de una red de conocimiento global para la transferencia de tecnología, además brinda asesoría técnica.
- **Deutsche Investitions-und Entwicklungsgesellschaft:** Financia proyectos de energías renovables con inversión privada. Este banco tiene experiencia financiando proyectos en América Latina; además contribuye con la construcción de capacidades y ayuda técnica.
- **European Investment Bank:** Financia proyectos de energía renovable en América Latina. Cuando el monto del préstamo es mayor a 25 millones de euros, la ayuda se negocia directamente por el promotor del proyecto o indirectamente por el gobierno del país interesado
- **Facilidad de Financiamiento de Energía Renovable CTF:** Es un proyecto conjunto del Banco Mundial y del Banco Interamericano de Desarrollo para financiar proyectos de energía renovable para México. Se contempla que otorgue 70 millones de dólares para el desarrollo y ejecución de proyectos.
- **Fintegra:** Otorga productos, servicios financieros, consultoría y asistencia técnica para proyectos de alta rentabilidad social impulsados por el sector público.
- **Fondo de Inversión a las Pequeñas Empresas, Sector Ambiental:** Programa del BID que otorga la inversión para la creación y desarrollo de empresas de energía renovable en México. Se incluyen aquellas que producen el equipo para el aprovechamiento de la energía renovable.
- **Fondo Hatayama:** La Agencia para la Cooperación Internacional de Japón apoya acciones que promueven la producción de electricidad con fuentes de energía alternas en el sector agrícola.
- **Fondo Multilateral de Inversiones del BID:** Se enfoca en el fortalecimiento de instituciones de microcrédito y el



otorgamiento de capital para pequeñas y medianas empresas; así como la construcción de capacidades en el sector rural. El desarrollo de energías renovables es una de sus prioridades.

- **Global Environmental Facility:** Financia proyectos de manejo de residuos sólidos. La obtención de un financiamiento menor a un millón de dólares es negociada directamente con la organización. Los municipios pueden acceder al préstamo cuando este se encuentre respaldado por el gobierno del país.
- **International Finance Corporation:** Incentiva la inversión privada en energías renovables, cuenta con mecanismos como el otorgamiento de garantías, cobertura de riesgos y estructuración financiera
- **KfW Bank:** Tiene una línea de crédito para el mejoramiento ambiental de la pequeña y mediana empresa. Los recursos están destinados a financiar proyectos que reduzcan la emisión de contaminantes.
- **KfW Development and Climate Finance:** Otorga capital a las instituciones financieras locales para que apoyen proyectos de mitigación contra el cambio climático.
- **Seed Capital Assistance Facility:** Fondo de capital de riesgo que financia empresas de energías renovables que no se encuentren en una etapa plenamente comercial (PNUMA, 2011).

4. Financiamiento a través de la Banca Privada

4.1. Principios de Ecuador

Los Principios de Ecuador (PE) son un conjunto de directrices desarrolladas por el Banco Mundial a través de su filial, la Corporación Financiera Internacional (IFC, por sus siglas en inglés) en 2003, aunque han sido modificados en dos ocasiones: 2006 y 2013. Su objetivo principal es determinar, evaluar y gestionar los riesgos sociales y ambientales en el financiamiento de proyectos en tres áreas principales: a) financiamiento de servicios de asesoría financiera; b) créditos puente y c) proyectos de inversión y préstamos corporativos.

Además de firmar el compromiso de conceder créditos exclusivamente a aquellos proyectos que comprueben su adecuada gestión de impactos sociales y ambientales, su objetivo es otorgar préstamos a proyectos que tengan como propósito: 1) la protección a la biodiversidad; 2) empleo de recursos renovables; 3) gestión de residuos; 4) protección a la salud humana y 5) el desplazamiento poblacional (CIBanco, 2012. p.10).

En el presente, 80 instituciones financieras internacionales se han comprometido voluntariamente a dichos Principios. Para el caso de México se vuelven de especial relevancia la suscripción de Citigroup, BBVA, HSBC y Santander, ya que son cuatro de los bancos internacionales con filiales en México a través de Banamex, BBVA Bancomer, HSBC y Santander Serfín, respectivamente. Además de estos bancos internacionales, CI Banco se convirtió en el primer banco mexicano en sumarse a los Principios en 2012, seguido por Banorte en ese mismo año.

En su reporte 2012, CI Banco informa el otorgamiento de créditos para proyectos verdes por 500 millones de pesos durante los primeros cinco meses de implementación, además del lanzamiento de productos financieros sustentables como los créditos para autos que emitan menos de 180g de CO₂ por kilómetro. De esta manera, 60 % de los autos financiados por dicho banco son de bajas emisiones. Por otro lado, CI Banco presentó el primer crédito que apoya a los consumidores para transitar de su sistema actual a un modelo de consumo de energía responsable con el medioambiente y apoyo para proyectos de eficiencia energética (CI Banco, 2012, p.16). Cabe destacar que pese a los datos anteriores, en el presente, CI Banco se encuentra en la categoría de incumplimiento por mostrar el reporte para el periodo 2013 en la página oficial de los Principios de Ecuador.

Por otro lado, Banorte reporta para el periodo de marzo a diciembre de 2013 no haber autorizado créditos superiores a 10 millones de dólares. En cuanto a los créditos puente, Banorte no presenta datos dado que no está obligado a hacerlo acorde a los PE. En cuanto a los proyectos de inversión y préstamos corporativos con base en la clasificación del IFC (A, B y C), reporta 0 proyectos en la categoría A. Para los préstamos corporativos, la selección de créditos se otorgó a través de un Sistema de Gestión Ambiental y Social (SEMS, por sus siglas en inglés) alojado en el Sistema Alianza de Crédito Selectivo (SACS) en la que destaca 1

préstamo corporativo para un proyecto de energía eólica y 2 préstamos dirigidos a los proyectos de una Cementera y para un Proyecto de extracción petrolera (BANORTE, 2013, p. 5).

Los ejemplos de CI Banco y Banorte demuestran las fallas y críticas continuas que se han hecho a los Principios de Ecuador, principalmente sobre la base de fallas en el reporte de datos y en cuanto a la política de divulgación de información, como destaca BankTrack a través de su labor de monitoreo del desarrollo de los Principios desde su creación en 2003:

Seguimos teniendo grandes preocupaciones sobre muchos aspectos de los Principios, tales como la forma no transparente en que se están aplicando, la ausencia de un mecanismo de quejas para las comunidades afectadas por los proyectos de los PE y la falta total de compromisos significativos en la lucha contra el cambio climático (BankTrack, 2014).

De esta manera, se puede observar, nuevamente, que la transparencia de datos se vuelve un asunto relevante tanto en el financiamiento climático internacional como a través de la Banca Privada.

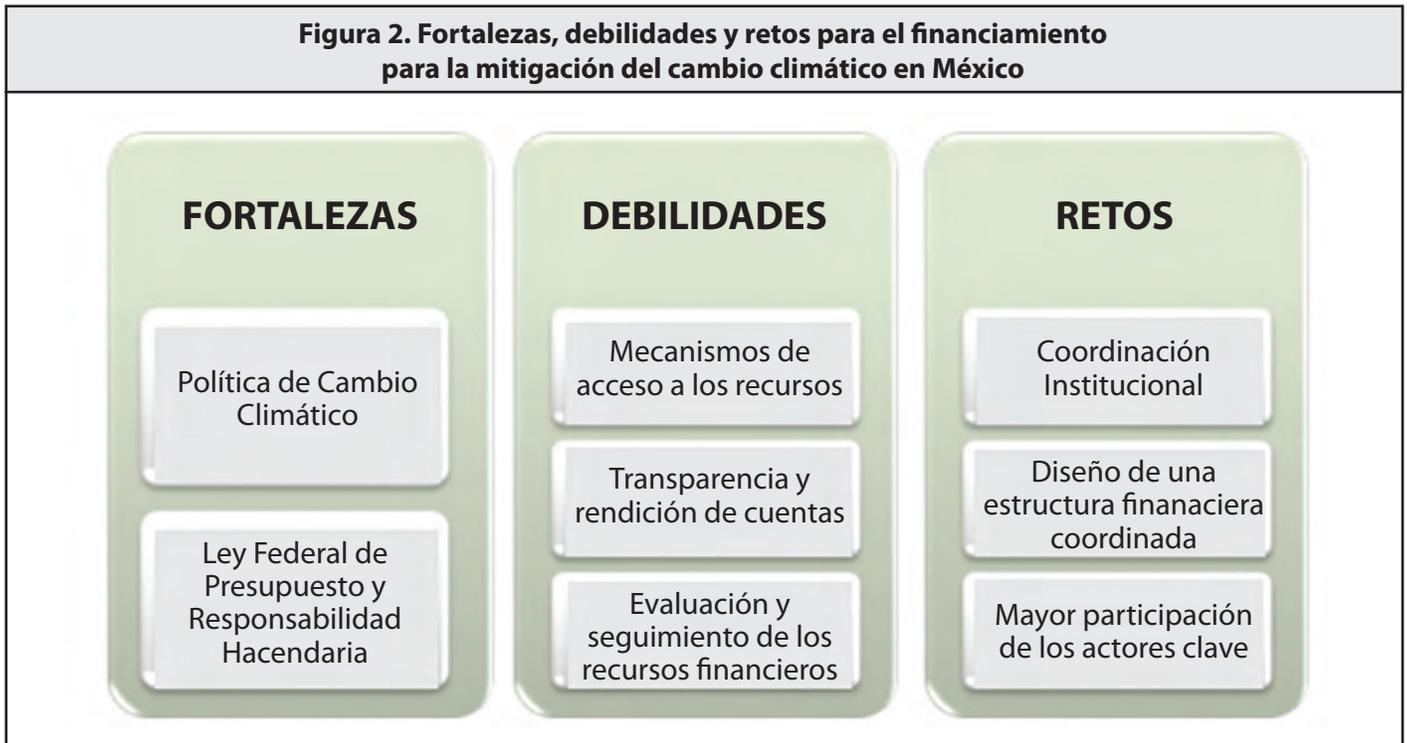
5. Fortalezas, debilidades y retos del financiamiento para mitigar el cambio climático en México

El estudio de las fortalezas, las debilidades y los retos del financiamiento para la mitigación del cambio climático en México es un tema insuficientemente estudiado en la literatura al respecto. Lo anterior indica que el país enfrenta diferentes desafíos por alcanzar en esta materia, principalmente en cuestiones de la coordinación institucional, cuya base principal debería ser la comunicación intersecretarial que facilitaría el acceso y manejo de los recursos nacionales e internacionales. De acuerdo con lo anterior, el Centro Mexicano de Derecho Ambiental sugiere que para el adecuado ejercicio de los recursos climáticos es indispensable contar con una arquitectura financiera eficiente, efectiva y eficaz con capacidades de recibir, manejar y ejercer los recursos para cumplir con las metas nacionales de mitigación establecidas en la LGCC. Esto implica una coordinación apropiada de los actores clave, una capacidad de innovación frente a cambios y un enfoque local que cuente con instituciones capaces de gestionar los recursos financieros para el cambio climático (CEMDA, 2003).

Una de las fortalezas del país en el tema consiste en su normatividad en cambio climático expresada en la LGCC, la ENCC, los PECC y su relación con el financiamiento para la mitigación en México. Por otro lado, también existen debilidades, ya que en algunos documentos se establece la imperante necesidad de facilitar el mecanismo de obtención del financiamiento y de mejorar los aspectos de transparencia y rendición de cuentas de la movilización, la administración y el desembolso de los fondos, así como llevar a cabo actividades de evaluación y seguimiento de los recursos. Una acción preliminar que el gobierno mexicano ha realizado para enfrentar dichos problemas y transparentar los recursos asignados al combate del cambio climático fue la publicación de una adición a la Ley Federal de Presupuesto y Responsabilidad Hacendaria en el DOF en enero de 2012, la cual establece la obligación de incluir en el Presupuesto de Egresos de la Federación un anexo transversal con las provisiones de gasto que corresponda a la mitigación del cambio climático (Benet, 2012). A pesar de que lo anterior representa un avance significativo en materia de transparencia, es importante que las instituciones aumenten el acceso público a la información y desarrollen una menor fragmentación institucional. Lo antes dicho, con la finalidad de reducir los costos de transacción y favorecer un mayor impacto a través de una visión estratégica como nación, garantizando la transversalidad y sinergias entre ellas y no una competencia. Por otro lado, hay aspectos que podrían contribuir a mejorar la transparencia del financiamiento climático y que tienen que ver con el origen y la distribución de los recursos, lo cual permitiría darles un seguimiento y facilitaría la evaluación de la efectividad de los mismos.



Figura 2. Fortalezas, debilidades y retos para el financiamiento para la mitigación del cambio climático en México



Fuente: Elaboración propia con base en la información recopilada de textos existentes

A pesar de que México cuenta con una estructura institucional de coordinación y las capacidades necesarias para la planeación de medidas contra el cambio climático, el Grupo de Financiamiento en este tema sugiere que es indispensable que el país fortalezca su capacidad para planificar y ejercer de forma óptima los recursos nacionales e internacionales, debido a que mediante la planeación del presupuesto necesario para la política nacional de cambio climático sería posible detectar las acciones cubiertas con los recursos presupuestales y así determinar las necesidades de financiamiento internacional (CEMDA, 2013).

Conclusiones

A través de este análisis se ha observado el funcionamiento de la arquitectura financiera nacional e internacional, además, de los distintos instrumentos existentes para realizar las inversiones necesarias para la mitigación del cambio climático. También, se enuncia que en México no hay una literatura especializada que estudie qué y cómo se está financiando la reducción de emisiones de GEI. No hay referencias de documentos arbitrados internacionalmente de mexicanos y/o de autores de otras partes del mundo que analicen y discutan sobre las opciones que tiene el país para acceder a los recursos que sirvan para financiar la disminución de GEI, tanto a escala general o por sectores y fuentes de emisión. Esto significa que hay un área de oportunidad para que la comunidad académica nacional incurriere en el análisis de este tipo de tópicos y se realicen estudios sobre cómo podría ser financiada la mitigación de GEI en el territorio mexicano.

Por otra parte, se identificó que tanto el capital público como el privado participan activamente en el financiamiento de iniciativas de mitigación; sin embargo, es importante resaltar que este último será el principal origen del financiamiento.

Adicionalmente, los hallazgos sugieren que el país enfrenta diferentes desafíos por alcanzar en materia de financiamiento, principalmente en cuestiones de la coordinación institucional, cuya base principal debería ser la comunicación intersecretarial que facilitaría el acceso y manejo de los recursos nacionales e internacionales. El tema de la transparencia del origen y destino de los recursos tiene relevancia debido a que existen vacíos sobre en qué y cómo se están utilizando los recursos financieros, así como mecanismos de trazabilidad, monitoreo, reporte y verificación de la canalización de estos, de la misma manera que ocurre con el financiamiento para la adaptación.



Referencias

- Aldy, J., E. & Stravins, R., N.** (2008a). Designing the Post-Kioto Climate Regime: Lessons from the Harvard Project on International Climate Agreements. An Interim Progress Report for the 14th Conference of the Parties, Framework Convention on Climate Change, The Harvard Project on International Climate Agreements, Harvard Environmental Economics Program, USA.
- Aldy, J., E. y Stavins, R., N.** (2008). Climate Policy Architectures for the Post-Kioto World. *Environment: Science and Policy for Sustainable Development*, 50 (3), pp.6-17.
- Atteridge, A., et ál.** (2009). Bilateral finance institutions and climate change: a mapping of climate portfolios. SEI Working Paper. Stockholm: Stockholm Environmental Institute. Disponible en <http://www.sei-international.org/publications?pid=1324>.
- Banco Mercantil del Norte [BANORTE]**, (2013). Principios de Ecuador: Reporte Anual 2013. Consultado el 18 de noviembre de 2014 en: http://www.banorte.com.mx/doc/Banorte_EP_Reporte_2013_SP1.pdf.
- BankTrack.** (2014). Equator Principles. Consultado el 18 de noviembre de 2014 en: http://www.banktrack.org/show/pages/equator_principles#tab_pages_documents.
- Benet, R.** (2012). Evaluación de esquemas de financiamiento existentes a nivel internacional y su impacto en los esfuerzos de reducción de vulnerabilidad y adaptación al cambio climático en países en desarrollo en Latinoamérica y particularmente en México. Reporte interno INE-SEMARNAT-PNUD. Pp. 9.
- Bodansky, D.** (2004). International climate efforts beyond 2012: a survey of approaches. USA: Pew Center on Global Climate Change.
- Centro Mexicano de Derecho Ambiental [CEMDA]**, (2013). Diseño del Fondo para Cambio Climático. México: CEMDA. Disponible en: http://www.cemda.org.mx/wp-content/uploads/2011/12/Disen%CC%83o-Fondo-CC_Rev-22-01-14-1.pdf
- CI Banco.** (2012). Informe Anual de Principios de Ecuador 2012. Consultado el 18 de noviembre de 2014 en: http://www.cibanco.com/storage/informe_anual_espanol.pdf.
- Comisión Intersecretarial de Cambio Climático [CICC]**, (2007). Estrategia Nacional de Cambio Climático 2007. México: SEMARNAT.
- CICC.** (2009). Programa Especial de Cambio Climático 2009-2012 DOF 28/08/2009. México: Poder Ejecutivo Federal/CICC.
- Consortio Nacional de Recursos de Información Científica y Tecnológica [CONRICyT]**, (2014). Consortio Nacional de Recursos de Información Científica y Tecnológica. Consultado el 20 de Octubre de 2014 en <http://www.conricyt.mx/>
- Diario Oficial de la Federación [DOF]**, (2012). Decreto por el que se expide la Ley General de Cambio Climático. Diario Oficial de la Federación, Segunda Sección, 6 de junio de 2012, México, D.F.
- Elges, L. & Martin, C.** (2014). *Protecting climate finance an anti-corruption assessment of the Adaptation Fund*. Germany: Transparency International, 81p.
- Estrada, P., F. y Martínez, L., B.** (2011). Economía del Cambio climático en la Ciudad de México. México: Centro Virtual de Cambio Climático de la Ciudad de México, 91p.
- Estrada, F., Tol, R., S J. & Gay, C.** (2011). A critique of The Economics of Climate Change in Mexico. Irlanda: ESRI Working Paper 408. Disponible en <http://www.esri.ie/pubs/WP408.pdf>
- Gersbach, H.** (2007). The Global Refunding System and Climate Change. CER-ETH - Center of Economic Research at ETH Zurich. Disponible en: http://www.cer.ethz.ch/content/dam/ethz/special-interest/mtec/cer-eth/cer-eth-dam/documents/working-papers/wp_07_62.pdf
- Giddens, A.** (2009). *The Politics of Climate Change*. Cambridge: Polity Press.
- Gobierno de la República.** (2014). Programa Especial de Cambio Climático 2014-2018 (PECC), Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018. Diario Oficial de la Federación.
- Hulme, M.** (2009). *Why We Disagree about Climate Change: Understanding Controversy, Inaction and Opportunity*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Lucatello, S.** (2012). Los mercados voluntarios de carbono en Norteamérica y su gobernanza: ¿qué reglas aplican para el comercio internacional de emisiones en la región? *Revista Norteamérica. Revista Académica del CISAN-UNAM*, (07), 107-128.
- Martin, C.** (2014). Protecting climate finance an anti-corruption assessment of the Climate Investment Funds. Transparency International: Germany, 95p.
- Martin, C.** (2014a). Protecting climate finance an anti-corruption assessment of the UN-REDD Programme. Transparency International: Germany, 83p.
- Martin, C., Elges, L. & Norwsworthy, B.** (2014b). Protecting climate finance an anti-corruption assessment of the Global Environment Facility's Least Developed Countries Fund & Special Climate Change Fund. Germany: Transparency International.

Newell, P. & Paterson, M. (2010). *Climate capitalism. Global warming and the transformation of the global economy*. Cambridge: Cambridge University Press.

Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo [PNUD], (2012). Finanzas públicas y cambio climático en México. México: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente [PNUMA], (2011). Programa Especial de Cambio Climático para el periodo 2012-2020 con acciones adicionales y análisis de potencial (SSFA/2010/NFL-5070-2C66-1111-220100). México: PNUMA, Instituto Mexicano de la Competitividad, Agencia Francesa para el Desarrollo.

Rueda, A., J. y Jiménez, V., T. (2013). Climate change financing. *Voices of Mexico*, (95), 109-111, ISSN 1086-9418

Rueda, A., J. (2014). Cambio climático: financiamiento y dependencia en América Latina. El riesgo socioclimático en México. Tesis Doctorado en Ciencias Sociales. Universidad de Guanajuato, campus León. Director de Tesis Juan José Russo Foresto. Co-director Luis Fernando Macías García León, Guanajuato, México.

Secretaría de Hacienda y Crédito Público [SHCP]- SEMARNAT. (2009). La economía del cambio climático en México. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, ISBN 978-607-7908-06-7

Secretaría de Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca [SEMARNAP], (1997). Primera Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. México: SEMARNAP.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT] e Instituto Nacional de Ecología [INE], (2001). Segunda Comunicación Nacional de México ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. México: SEMARNAT/INE.

SEMARNAT e INE. (2009). Cuarta Comunicación Nacional de México ante la Convención Marco de las Naciones Unidas Sobre Cambio Climático. México: SEMARNAT.

SEMARNAT e Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático [INECC], (2012). Quinta Comunicación Nacional de México ante la Convención Marco de las Naciones Unidas Sobre Cambio Climático. México: SEMARNAT.

SEMARNAT e INECC. (2012b). Bases para una estrategia de desarrollo bajo en emisiones. México: SEMARNAT/INECC

SEMARNAT. (2013) Estrategia Nacional de Cambio Climático visión 10-20-40. México: SEMARNAT.

SEMARNAT. (2006). Tercera Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. México: SEMARNAT.

Stern, N. (2009). *The Global Deal: Climate Change and the Creation of a New Era of Progress and Prosperity*. New York: Public Affairs.

Transparency International. (2011). Informe global de la corrupción. Cambio climático. UK: Earthscan.

United Nations [UN], (2010). Report of the Secretary-General's High-level Advisory Group on Climate Change Financing. New York: UN.



**SEMBLANZAS
DE AUTORES
EMISIONES Y MITIGACIÓN
DE GASES DE
EFECTO INVERNADERO**

Autores del Volumen III del Reporte Mexicano de Cambio Climático

Gay y García Carlos

En el marco del Reporte Mexicano de Cambio Climático, Carlos Gay García es uno de los Coordinadores Generales del proyecto y es autor líder, junto con Francisco Estrada Porrúa y Gerardo Sánchez Torres Esqueda del capítulo "Detección y atribución de cambio climático: de escala global a regional" que forma parte del Grupo de Trabajo I Bases científicas. Modelos y modelación. Y en el Grupo de Trabajo II Impactos, Vulnerabilidad y Adaptación, lidera, junto con José Clemente Rueda y Benjamín Ortiz Espejel, el capítulo denominado "Punto de partida".

Fue director del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) del 2001 al 2009. Es coordinador del Programa de Investigación en Cambio Climático de la UNAM, también coordina el Centro Virtual de Cambio Climático de la Ciudad de México y el Grupo de Cambio Climático y Radiación Solar del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM. De agosto de 2010 a octubre de 2012 fue Presidente del Consejo Consultivo de Cambio Climático de la Comisión Intersecretarial de Cambio Climático del Gobierno Federal. En el año 2010 formó parte del Subcomité Académico de México COP16 que fungió como órgano asesor del gobierno mexicano en la realización de la Conferencia de la Partes 16 de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático.

Durante el periodo 1995-1999 fue Director de la Unidad de Cooperación y Acuerdos Internacionales del Instituto Nacional de Ecología. En dicho periodo se desempeñó como consejero científico del gobierno en materia de cambio climático y formó parte del grupo negociador mexicano en la Comisión Ambiental de Norteamérica. Fue coordinador del proyecto "México: una visión hacia el siglo XXI. El Cambio climático en México" que consistió en el primer estudio de gran escala sobre los posibles impactos potenciales del cambio climático en México y que fue financiado por el U.S. Country Studies Program. Además, coordinó la Primera Comunicación Nacional de México ante la Convención Marco de Cambio Climático de la Organización de las Naciones Unidas (ONU).

Ha publicado diversos libros y artículos arbitrados, ha dirigido 14 tesis tanto en licenciatura, como en posgrado. Es Licenciado en Física por la Facultad de Ciencias de la UNAM y Doctor en Astrogeofísica por la Universidad de Colorado en Boulder. Desde 1982 ha sido Profesor de asignatura "B" de la Facultad de Ciencias. Es Investigador en el Centro de Ciencias de la Atmósfera.

Algunas de sus publicaciones recientes: Gay, C., B Martínez-López and A. Nebot 2008, Estimating the global temperature change by means of Fuzzy logic models obtained from IPCC published data. VI Congress of the Association Spanish of Climatology, Tarragona, 2008, October 8-11; Nebot A., B. Martinez-Lopez, D. Castro y C Gay 2008 Fuzzy rules for a global warming decision support model. VI Congress of the Association Spanish of Climatology, Tarragona, 2008, October 8-11, y, Martinez-Lopez B. C. Gay and A. Nebot 2008 Estimating the global temperature change by means of Fuzzy logic models obtained from a simple climate model. Congress of the Association Spanish of Climatology, Tarragona, 2008, October 8-11.

Rueda Abad José Clemente

Doctor en Ciencias Sociales por la Universidad de Guanajuato. Desde mayo de 2010 es Secretario Técnico del Programa de Investigación en Cambio Climático de la UNAM (PINCC). Ha impartido talleres sobre comunicación y divulgación del cambio climático en la Universidad Intercultural de Chiapas, la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, la Universidad Tecnológica de la Selva y la Universidad de Colima.

Ha impartido cursos de actualización docente “Las ciencias sociales y el cambio climático” en la Facultad de Ciencias Políticas y Sociales y en el Colegio de Ciencias y Humanidades ambos de la UNAM. Miembro del Comité académico del Diplomado sobre Desastres y cambio climático del Instituto Mora y profesor de la Maestría en cambio climático de la Universidad Iberoamericana Puebla. Coordinador académico del seminario permanente del PINCC y coordinador académico de los cinco Congresos Nacionales de Investigación en Cambio Climático impulsados desde la UNAM y con alcance geográfico nacional.

Ha publicado diversos capítulos de libros enfocados al ámbito social del cambio climático, entre los más recientes se encuentran: Gay García, Carlos y José Clemente Rueda, 2014, Sustentabilidad ambiental y cambio climático en Ciencia Revista de la Academia Mexicana de Ciencias, octubre-diciembre 2014, México, Academia Mexicana de Ciencias, pp. 28-33, ISSN 1405-6550; Rueda Abad José Clemente y Tamar Zehla Jiménez Velázquez, 2013, Climate change financing en Voices of Mexico issue 95, Winter 2012-2013, pp.109-111, ISSN 1086-9418; Gay García, Carlos y José Clemente Rueda Abad, 2012, Vulnerabilidad social y cambio climático en Perevochtchikova, María (Coord.) Cultura del agua en México. Conceptualización y vulnerabilidad social, México, Porrúa/Red del Agua del UNAM/PINCC, pp.301-308, ISBN 978-607-40-164-99; Gay García, Carlos y José Clemente Rueda Abad, 2012, La respuesta internacional al cambio climático en Calva, José Luis (Coord.) Análisis estratégico para el desarrollo Vol. 14 Cambio climático y políticas de desarrollo sustentable, México, Consejo Nacional de Universitarios & Plaza & Janes, pp. 81-96, ISBN 978-607-711-0651; Russo Foresto, Juan José; Luis Fernando Macías García y José Clemente Rueda Abad, 2012, Cambio climático: financiamiento y dependencia en América Latina. El regreso del territorio como espacio para enfrentar el cambio climático global en Juan Antonio Rodríguez González (Coord.) Memorias Primera Bienal Internacional: Territorios en movimiento, Universidad de Guanajuato, División de Ciencias Sociales y Humanidades, León, Guanajuato, México ISBN: 978-607-441-212-3, s/p.

Cruz Núñez Xochitl

Es Química y Maestra en Ciencias Químicas por la UNAM. Con una experiencia docente de más de quince años en la UNAM fue además investigadora en el Instituto Mexicano del Petróleo en modelación de la calidad del aire donde participó en el primer esfuerzo internacional para caracterizar la contaminación atmosférica de la Ciudad de México.

En la actualidad colabora en el grupo de Cambio Climático y Radiación Solar del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM en las áreas de inventario de emisiones de gases de efecto invernadero y carbono negro, fuentes clave y mitigación del cambio climático. Además realiza investigaciones de la dinámica de las ciudades y el cambio climático.

Fue autora líder para el Quinto Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental de Cambio Climático de las Naciones Unidas para el capítulo 8 Transporte, y el Resumen Técnico del volumen 3, Mitigación. Coordina además el volumen Mitigación del Reporte Mexicano de cambio Climático.

Araujo Gutiérrez Zuelclady María Fernanda

Zuelclady, realizó sus estudios de Licenciatura en Biología en la Facultad de Ciencias de la UNAM, donde se enfocó en los temas de Manejo de Recursos Naturales y Cambio Climático, colaborando en proyectos de investigación, especializándose en: pago por servicios ambientales, captura de carbono, e inventarios de gases de efecto invernadero. Su inquietud en estos temas dan la pauta para integrarlos con otras áreas del conocimiento como la Maestría en Economía y Política Pública en el ITESM, donde realizó una propuesta integral basada en política pública y cambio climático, producto de la cual, desarrolló una investigación en modelos aplicados de equilibrio general e impuestos ambientales.

Actualmente está realizando su investigación doctoral en temas de economía ambiental, desarrollando modelos de equilibrio general para evaluar diferentes políticas públicas enfocadas a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero e identificar cuáles son los costos, beneficios, compensaciones que tiene la población bajo los diferentes escenarios, bajo la cual recibió el premio de IPCC Scholarship, por parte de la Fundación Príncipe Alberto de Mónaco.

Asimismo trabaja para la FAO, como especialista en Inventarios de Gases de Efecto Invernadero; para el Proyecto Fortalecimiento de capacidades REDD+ y cooperación Sur-Sur. Donde se enfoca en el desarrollo de herramientas y sistemas que permitan vincular los Inventarios de GEI, con políticas públicas en el país.

Ha colaborado en diferentes ámbitos como: Organizaciones de la Sociedad Civil, en la Academia, trabajó para Instituto Global de la Sostenibilidad y el Centro de Dialogo y Análisis para América del Norte en temas de cambio climático, enfocados a financiamiento.

Arvizu Fernández José Luis

Es profesor titular de Química Teórica en la Facultad de Química, UNAM. Estudió licenciatura, maestría y doctorado en Físicoquímica en esa misma institución. Ha realizado estancias posdoctorales y sabáticas en Case Western Reserve University, Berkeley, Santiago de Cuba y Harvard, en química, física y ciencia de materiales. Fue Secretario Académico de la Facultad de Química. Ha publicado decenas de artículos de investigación, decenas de artículos de difusión, un programa de televisión, y dos libros. El más reciente, El mundo finito: Desarrollo sustentable en el siglo de oro de la humanidad, fue re-editado en 2014 por el Fondo de Cultura Económica. Dirige el equipo multidisciplinario de predicción, síntesis y elaboración de celdas orgánicas fotovoltaicas financiado por CONACyT/SENER.

Amador Bedolla Carlos

Ingeniero Químico egresado de la Facultad de Química de la UNAM. Investigador desde 1983 de la Gerencia de Energías No Convencionales del IIE. Autor de Metodologías, Procesos y Sistemas para la evaluación y transformación energética de los residuos sólidos, aguas residuales y residuos agropecuarios. Director de 13 tesis de licenciatura. Autor del Inventario Nacional de Emisiones de Metano como Gas de Efecto Invernadero Sector Desechos en 1995, 2000, 2006 y 2010, y del Inventario Estatal de GEI 2005-2005 del Sector Desechos para el Estado de Puebla. Organizador del primer y segundo Coloquios Sobre la Conversión del Metano Generado en los Rellenos Sanitarios, efectuados en los ITESM campus Aguascalientes en 2002 y Monterrey en 2004. Autor de los libros: La Bioenergía en México y Cambio Climático una Visión Desde México con el tema los Principales Países Emisores; El Cultivo del Maíz, Temas Selectos; Biocombustibles Derivados del Maíz, 2010. Representante y Expositor de México en International APEC Symposium on "APEC-ATCWG Biofuels Network Annual Symposium and Biotrade/Technical Training Workshop" May 30th–June 4th, 2011, Chiang Mai, Thailand. Jefe de los siguientes proyectos: Evaluación de la Factibilidad de Generación Eléctrica con el Biogás Generado en los Rellenos de Desechos Sólidos Urbanos; Estudio de Evaluación de las Emisiones de Biogás y Caracterización de la Potencia Energética que se Puede Obtener del Relleno Prados de la Montaña del DDF; Evaluación para la Producción e Metano del Relleno Sanitario de Bordo Poniente para el GDF. Evaluación del Potencial Energético del Relleno Sanitario de Cuautla Morelos 2012.

Balam de la Vega Lucila María

Bióloga egresada de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México. Desde el 2009 al 2013 se desempeñó como investigadora adjunta en el área de Cambio Climático en Pronatura México A.C., participando en cuestiones de investigación, asesoramiento y capacitación en temas relacionados con el cambio climático, manejo de recursos y servicios ambientales, enfocado en la captura de carbono. Colaboró con la Secretaría de Medio Ambiente del Estado de México, en la realización del Inventario Estatal de Gases de Efecto Invernadero, sector Energético.

Desde el 2014 a la fecha es consultor del Proyecto "Fortalecimiento REDD+ y Cooperación Sur-Sur, donde trabajó en conjunto con el Instituto de Ecología y Cambio Climático (INECC) para la actualización del Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en la categoría de USCUS 1990-2012. Ha formado parte de actividades novedosas, de reciente implementación en el país, como lo relativo a la implementación del Registro Forestal en el marco de la Iniciativa de Reducción de Emisiones, colaboró en el fortalecimiento de capacidades técnicas en el aspecto técnico de los Inventarios de GEI. Cuenta con diversas publicaciones como co-autor en revistas, manuales, artículos, Inventarios Estatales y ha tenido la fortuna de contar con excelentes tutores en relación a estos temas como son el Dr. José Antonio Ordóñez, la M. en C. Xochitl Cruz Núñez, el Dr. Carlos Gay, el M. en C. Tomás Hernández, el M. en C. Juan Francisco Torres, entre otros.

Bastián Olvera Bernardo Adolfo

Bernardo fue parte de la primera generación de la Licenciatura en Ciencias de la Tierra de la Universidad Nacional Autónoma de México. Durante sus estudios, fue cofundador de la Sociedad de Alumnos de Ciencias de la Tierra, y del Club de Meteorología de la Facultad de Ciencias. Realizó un intercambio académico en la Universidad de California, Berkeley, y una estancia de verano de investigación en la Escuela Politécnica de Montreal. Su línea de investigación es la modelación climática con lógica difusa para toma de decisiones e integración de las dimensiones físicas y sociales del cambio climático.

Actualmente, Bernardo trabaja en el Programa de Investigación en Cambio Climático de la UNAM, desarrollando su investigación, y colaborando con la planeación y realización de proyectos que direccionan hacia un mismo sentido los esfuerzos de cambio climático que se están realizando a nivel nacional. Asimismo, lidera la Red Universitaria de Cambio Climático, una red juvenil de acción climática que tiene como objetivo principal crear espacios para la innovación, expresión y discusión en torno al Cambio Climático.

Bermúdez Contreras Alfredo Sergio

Estudió Ingeniería Química en la Facultad de Química de la UNAM. Posteriormente se tituló como Maestro en Ciencias en Energía Renovable por la Universidad Murdoch (Australia) y se doctoró investigando sobre desalación de agua de mar con energías renovables en el Centro para la Tecnología de Sistemas de Energía Renovable (CREST) de la Universidad de Loughborough (Inglaterra) donde también trabajó como investigador asociado en el grupo de Redes y Sistemas y colaboró en la Maestría en Ciencias en Tecnología de Sistemas de Energía Renovable. Entre 2012 y 2014 fue becario posdoctoral (CONACYT) en el Posgrado en Ciencias Sociales: Desarrollo Sustentable y Globalización (DESYGLO) de la Universidad Autónoma de Baja California Sur (UABCS) estudiando la viabilidad de sistemas solares fotovoltaicos interconectados a la red. Asimismo, ha participado en proyectos de investigación, consultoría, comités asesores de tesis de posgrado, desarrollo curricular de programas de licenciatura e impartido clases, conferencias de divulgación y pláticas en temas relacionados con las energías renovables, eficiencia energética, emisiones de gases de efecto invernadero y la desalación de agua de mar.

Bernabé Cabanillas Rosa María

Estudio Ingeniería Química, exbecaria de la GTZ y JICA, durante dieciocho años ha trabajado en el Área de Calidad del Aire, como parte de la DGCENICA del INE formo parte de los grupo de trabajo de caracterización de contaminantes atmosféricos, como especialista en monitoreo de Partículas suspendidas y su caracterización química. Fue responsable de la elaboración del Inventario Nacional de Emisiones de fuentes naturales y fuentes de área, para los años 2005 y 2008 como consultor de la CCA y DGCARETC de la SEMARNAT. Fue consultor líder en el proyecto de Ciudades sostenibles del BID para las ciudades de Barranquilla, Colombia; Mar del Plata, Argentina y Montego Bay en Jamaica en el rubro de inventario de GEI.

Es coautor de un libro sobre emisiones Biogénicas y de más de 30 artículos referenciados sobre

caracterización de PM, emisiones a la atmosfera e inventario de emisiones. Ha impartido capacitación sobre técnicas de análisis de información y buenas prácticas en el desarrollo de inventarios de emisiones en diferentes estados del país y del extranjero

Bravo Cabrera José Luis

Licenciatura en Física de la Facultad de Ciencias de la UNAM, Maestría en Geofísica del Instituto de Geofísica de la UNAM, Maestría en Estadística e Investigación de Operaciones en el Instituto de Matemáticas Aplicadas de La UNAM, Doctorado en Ciencias de la Tierra de la UNAM.

Investigador asociado C de Tiempo Completo, profesor de la materia Procesamientos de Datos Geofísicos en el Posgrado de Ciencias de la Tierra. 31 artículos arbitrados y publicados.

Castrejón Godínez María Luisa

En el año 2001 adquirió el título de Técnico Laboratorista Clínico, posteriormente cursó los estudios de Biología en el periodo de 2001-2006 en la Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM), en el año 2008 ingresó al programa de Maestría en Biotecnología de la UAEM y actualmente se encuentra desarrollando el doctorado en la UAEM. Ha participado en materias como Microbiología y Mónica y Protista para alumnos de licenciatura en la Facultad de Ciencias Biológicas de la UAEM, hasta la fecha sigue impartiendo Microbiología. Así mismo, ha fungido como miembro revisor de tesis y jurado en 51 exámenes profesionales de alumnos de la Licenciatura, actualmente participa como jurado en 22 comités tutorales. Ha presentado 34 trabajos en congresos nacionales e internacionales, relacionado al tema ambiental. Asimismo ha fungido como responsable administrativa y colaboradora de proyectos de investigación.

Ha impartido diferentes conferencias en el tema de residuos y cambio climático, además es autora de libros y capítulos de libro en materia ambiental, a inicios del 2015 publicó el artículo Analysis of Solid Waste Management and Greenhouse Gas Emissions in México: A Study Case in the Central Region. Participó en la elaboración del Inventario de Gases de Efecto Invernadero del Estado de Morelos y en la generación del Programa Estatal de Acción Ante el Cambio Climático de Morelos "PEACCMOR" publicado a inicios del 2015. Actualmente labora en el Programa de Gestión Ambiental Universitario de la UAEM como jefa de Educación Ambiental.

Cervantes Núñez Sandro

Nacido en el Distrito Federal, México, en 1976, concluyó la licenciatura en Biología (especialidad en Biología Molecular e Ingeniería Genética), como alumno del programa de alta exigencia académica (PAEA), en la Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM, en 2000. Realizó sus estudios de Maestría en Ciencias Biológicas (especialidad en Ciencias Ambientales) participando en la conformación de un modelo numérico innovador en Latinoamérica, para evaluar escenarios de captura de carbono a nivel regional,

en el Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad (IIES-Morelia), UNAM, en 2006. En su trayectoria y formación como científico multidisciplinario, es uno de los pocos especialistas mexicanos en astrobiología y ciencias planetarias, que realiza investigación en un amplio rango de aún complejos temas para México y el resto de Latinoamérica, tales como, Habitabilidad Planetaria, Búsqueda científica de Vida fuera de la Tierra, Límites biológicos de la Vida y, Colonización y Terraformación planetarias. Actualmente, está por concluir su tesis de doctorado en el Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM, diseñando escenarios de calentamiento atmosférico de Marte para colaborar con propuestas en modificación climático-planetaria (Terraformación) en dicho planeta.

Chanona Burguete Alejandro

Doctor en Ciencias Políticas y Maestro en Estudios Políticos Europeos por la Universidad de Essex, Inglaterra. Profesor Investigador de Tiempo Completo en el Centro de Relaciones Internacionales de la Facultad de Ciencias Políticas y Sociales de la Universidad Nacional Autónoma de México. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores, Chanona Burguete es experto en estudios regionales comparados y seguridad internacional. Durante los últimos años ha encabezado proyectos de investigación sobre seguridad energética y seguridad climática; así como sobre seguridad humana y desarrollo. Es coordinador de los libros *Confrontando modelos de seguridad energética* (UNAM-SITESA, 2013) y *Tendencias de la Política Medioambiental en la Unión Europea y América del Norte: ¿Integración o Cooperación?* (FCPyS-PINCC, UNAM-Ediciones La Biblioteca, 2014).

Ha participado en diversos grupos de investigación a nivel internacional, entre los que destacan los de la Red de Excelencia Garnet Gobernanza Global, Regionalización y Regulación: el Rol de la Unión Europea, financiado por la Comisión Europea. Actualmente es investigador en los Proyectos Seguridad energética y política ambiental en el Hemisferio Occidental de la Universidad de Miami y forma parte del Civil Society Reflection Group for Global Development Perspectives, que agrupa a liderazgos de la sociedad civil y la academia que trabajan en informes sobre los modelos de desarrollo y la sustentabilidad que son presentados en las Cumbres Mundiales de Desarrollo. Asimismo es miembro del Proyecto Transformación Social-Ecológica en América Latina de la Fundación Friedrich Ebert.

Chiapa Díaz María Eugenia

Nací en la Ciudad de La Paz, Baja California Sur donde radique hasta la edad de 18 años para posteriormente trasladarme a Tijuana a estudiar la Licenciatura en Derecho y radicar por más de siete años, lo cual impacto mi carrera profesional pues tuve el primer contacto con el derecho ambiental al integrar expedientes en el Tribunal Federal de Justicia Fiscal y Administrativa donde labore por dos años. Al enfermar mi padre en el año de 2002, regreso a La Paz y me adentro en el Derecho fiscal que me impulsa a incursionar en la industria privada donde tengo contacto con diferentes personalidades defensoras del Medio Ambiente Sudcaliforniano y decido hacer una pausa en mi vida e irme a los Estados Unidos a perfeccionar el idioma inglés para posteriormente ingresar al Posgrado de Calidad "Desarrollo Sustentable y Globalización" en la Universidad Autónoma de Baja California Sur.

Graduada con mención honorífica en el año de 2013 con la Investigación “La Materia Ambiental en el Plan Estatal de Desarrollo de Baja California Sur 2011-2015, a la luz de la Ley Ecológica”. Actualmente me desempeño como Abogada en la Subdelegación Jurídica de la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente especializada en las materias de Cambio de Uso de Suelo e Industrial, mientras que por las tardes trabajo en el Consejo Sudcaliforniano de Ciencia y Tecnología como Asesor Jurídico y donde superviso la aplicación de la ley en la divulgación de ciencia y tecnología en el Estado de Baja California Sur.

Corral Zavala Eréndira

Economista con estudios de maestría en economía ambiental, con más de 15 años de experiencia en los sectores privado, público y académico. Actualmente se desempeña como consultora independiente en los temas de economía ambiental, diseño y evaluación de proyectos, y sustentabilidad; y de forma paralela, como profesora de asignatura en la Facultad de Economía de la UNAM. Del año 2004 al 2010 colaboró en la Comisión de Estudios de Sector Privado para el Desarrollo Sustentable (CESPEDES) del Consejo Coordinador Empresarial (CCE), en donde su principal logro fue el diseño, seguimiento y administración del Programa Desarrollo de Nuevas Oportunidades de Mercado en la Base de la Pirámide, de forma conjunta con el FOMIN del BID. Del 2002 al 2004 se desempeñó como Gerente de Medio Ambiente en la Asociación Nacional de Industria Química (ANIQ, A.C.), liderando proyectos de sustentabilidad, y coordinando el desarrollo del Sistema de Administración de Responsabilidad Integral (SARI), –sistema de gestión que interrelaciona el Programa Voluntario “Responsible Care” con las normas ISO 14000, ISO 9000 y OSHAS 18000–. Ha participado como experta en el tema de sustentabilidad en diversos consejos, comisiones y otras instancias de SEMARNAT tales como: Consejo Consultivo de la CONANP, CONABIO, COMARNAT y CONAGUA. Asimismo, en diversas instancias del sector privado, tales como: Comisiones Nacionales de Ecología de CONCAMIN y COPARMEX –donde se desempeñó como Vicepresidenta.

Cuevas Tello Ana Bertha

Estudió la licenciatura en Estudios Internacionales, la maestría en Ciencias Sociales con especialidad en Relaciones Internacionales y Asia-Pacífico (ambas por la Universidad de Guadalajara) y el doctorado en Relaciones Transpacíficas, por la Universidad de Colima. Más una especialidad en ecología humana y gestión ambiental, un diplomado en salud ambiental y un curso sobre el cambio climático, en 2015, por el Banco Mundial.

Profesora investigadora en el Departamento de Estudios del Pacífico. Imparto clases en el Departamento de Relaciones Internacionales de la Universidad de Guadalajara y en la maestría de Ciencias Sociales de la misma institución. Actualmente mi línea de investigación es: las políticas ambientales del cambio climático en las economías de Asia Pacífico. Tengo 22 artículos publicados en diferentes revistas de arbitraje internacional, siete capítulos de libro. Un libro que próximamente será publicado. Soy perfil deseable PROMEP desde 2008, y este año he sido aceptada como miembro del Sistema Nacional de Investigadores (SIN), nivel 1.

De Diego Correa Lilia

Licenciada en Relaciones Internacionales por la Universidad Nacional Autónoma de México con maestría en Estudios Regionales por el Instituto de Investigaciones Dr. José María Luis Mora. Es analista senior de Energía e Innovación en GreenMomentum en donde se ha especializado en análisis de política pública y marco institucional nacional y estatal del sector de energía renovable en México. Lidera un proyecto de evaluación de criterios de impacto social, financiado por la Agencia Alemana para la Cooperación Internacional (GIZ), para el Fondo para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía (FOTEASE). Coautora del libro Biocombustibles en México, cambio climático, medio ambiente y energía (CEIICH-PINCC, UNAM, México, 2013) así como del reporte Renewable Energy in Mexico's Northern Border Region (The Woodrow Wilson International Center for Scholars / GreenMomentum, 2015).

De la Isla de Bauer María de Lourdes

Es Profesor Investigador Emérito del Postgrado de Hidrociencias, del campus Montecillo; fue Directora del Centro de Fitopatología, Coordinadora de la Especialidad de Agrometeorología del Instituto de Recursos Naturales del Colegio de Postgraduados. Pionera en los estudios de los efectos de la contaminación atmosférica en la vegetación, con énfasis en los aspectos de bioindicación/biomonitoreo y en los daños por gases oxidantes, detectados en los bosques del sur y suroeste del Valle de México. Es autora de numerosas publicaciones nacionales y extranjeras, entre las que destaca el libro "FITOPATOLOGÍA". Coeditora y autora/coautora del libro: URBAN AIR POLLUTION AND FORESTS: Resources at Risk in The Mexico City Air Basin. Springer Verlag. New York, Inc. 2002. Su última aportación, en materia editorial, es el libro publicado en agosto de 2009 por el CP-MUNDIPRENSA, bajo el título: "AGRICULTURA: Deterioro y Preservación Ambiental". Fue Tesorera, Miembro de la Comisión de Admisión y Coordinadora de la Sección Agrociencias, de la Academia Mexicana de Ciencias, A. C.; Coordinadora de la Comisión de Estudios Ambientales, C. P.; Miembro del Sistema Nacional de Investigadores, Miembro del Grupo de Estudio: Cambios Atmosféricos y Bosques, COFAN-FAO; Editor Asociado de Environmental Pollution (Elsevier, Inglaterra); y es Árbitro de Agrociencia, (CP) y de la Revista Ciencia Forestal en México (INIFAP). Presidente de la Sociedad Mexicana de Fitopatología, A. C. y Presidente (Fundadora) de la Sociedad Mexicana de Agricultura Sostenible, A. C.

En 2015 recibió un reconocimiento en ocasión del PRIMER CONGRESO INTERNACIONAL DE FITOPATOLOGÍA: SMF, ALF Y APS-CD en la ciudad de México.

De la Peña Barrón Adolfo

Es Ingeniero Electromecánico con especialidad en automatización por el Instituto Tecnológico de La Paz (ITLP), realizó una residencia profesional en la Comisión Federal de Electricidad Zona La Paz, donde trabajó en un proyecto de eficiencia y cambio de red eléctrica aérea a subterránea en la ciudad de La Paz, Baja California Sur. Es Maestro en Administración (ITLP) con especialidad en fortalecimiento de las organizaciones donde se graduó con honores trabajando en temas de optimización de la producción y

rentabilidad, modelos costo-volumen-utilidad e investigación de operaciones enfocadas en el uso eficiente de la energía, materiales y tarifas eléctricas. Actualmente es becario CONACYT y se encuentra cursando el último año del programa de Doctorado en Ciencias Sociales: Desarrollo Sustentable y Globalización (DESYGLO, Universidad Autónoma de Baja California Sur) con la investigación: metabolismo social, energía y cambio climático en el estado de Baja California Sur.

Participó en el Plan de Acción ante el Cambio Climático para la Ciudad de La Paz en las áreas de energía, transporte, uso y cambio de uso de suelo. Asimismo, ha impartido clases a nivel licenciatura, participado en ponencias y eventos científicos y tecnológicos. En el sector privado ha trabajado en el área de instalaciones eléctricas, refrigeración, procesos y mantenimiento, optimización de la producción, como asesor y consultor. También colabora actualmente en programas de educación en energías renovables, temas de salud y su relación con los flujos energéticos, energía y calidad del aire.

De Luca Zuria Rosa Ana

Licenciada en Relaciones Internacionales por la UNAM con estudios de maestría en Medio Ambiente y Desarrollo por la London School of Economics and Political Science. Trabajó por tres años como asistente de la Dirección del Centro de Estudios Internacionales del Colegio de México y posteriormente se desempeñó como encargada del área de Medio Ambiente de la Fundación Pensar la cual tiene a su cargo el Pacto Climático Global de Ciudades. Doctorante, con beca CONACYT, del programa de Ciencias Políticas y Sociales de la UNAM. Co-autora del libro "Adaptación y mitigación urbana del cambio climático en México" (CEIICH-PINCC, UNAM. México, 2015. ISBN: 978-607-02-7092-5. 278 pp.).

Delgado Ramos Gian Carlo

Economista egresado de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) con estudios de maestría en Economía Ecológica y Gestión Ambiental y de doctorado en Ciencias Ambientales, ambos por la Universidad Autónoma de Barcelona (España). Es investigador "B", de tiempo completo, definitivo, adscrito al programa de investigación "Ciudad, gestión, territorio y ambiente" del Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades de la UNAM. Recibió el Reconocimiento Distinción Universidad Nacional para Jóvenes Académicos 2011 y el Premio de Investigación 2014 de la Academia Mexicana de Ciencias, ambos en el área de investigación en Ciencias Sociales. Fue autor líder en el capítulo 12, grupo 3, del Quinto Informe del Panel Intergubernamental de Cambio Climático. Ha publicado dos docenas de libros de autoría, coautoría y coordinados, medio centenar de capítulos de libro, y más de un centenar de artículos científicos. Co-autor del libro "Adaptación y mitigación urbana del cambio climático en México" (CEIICH-PINCC, UNAM. México, 2015. ISBN: 978-607-02-7092-5. 278 pp.).

Escandón Calderón Jorge Alberto

Es Doctor en Ciencia Política por la Universidad Nacional Autónoma de México. También cuenta con dos maestrías; una en Manejo y Conservación de Recursos Naturales otorgada por el Colegio de la Frontera

Sur-plantel San Cristóbal de las Casas, Chiapas y otra en Ciencias Fisiológicas otorgada por la UNAM. Obtuvo su licenciatura en Biología en la Universidad Nacional Autónoma de México. Ha realizado diplomados en: Ecología Política por la Universidad Autónoma de Barcelona, Diplomado Internacional en Hidrógeno y Energías Renovables; y el Diplomado en Energy and Environment Training Program Technical Leadership Training in Monitoring, Evaluation, Reporting, Verification and Certification of Carbon Sequestration Projects, Lawrence Berkeley National Institute, Berkeley California.

Como experiencia laboral, se ha desempeñado en diversas actividades de consultoría, ha sido Coordinador de la campaña de Energía y Cambio Climático en Greenpeace, ha sido Subdirector de Cambio Climático en la Dirección General de Coordinación e Integración de Políticas de la Secretaría del Medio Ambiente del GDF y Jefe de departamento en la Dirección de Cambio Climático. Subsector Forestal. Instituto Nacional de Ecología.

Fernández Carril Luis Ricardo

Actualmente trabaja en el Programa de Investigación en Cambio Climático de la Universidad Nacional Autónoma de México. Además, es profesor de cátedra en el Tecnológico de Monterrey, Campus Ciudad de México. Ha publicado artículos a nivel nacional e internacional. Obtuvo el título de doctorado en Filosofía de la Ciencia en mayo de 2014 por parte del Tecnológico de Monterrey, CCM. Sus principales líneas de investigación son: la Gobernanza ambiental internacional, las negociaciones climáticas y el análisis de la investigación científica del cambio climático a partir de la filosofía de la ciencia y la epistemología.

Figuroa González Silvia Guadalupe

Doctora en Relaciones Internacionales Transpacíficas por la Universidad de Colima y Maestra en Educación por el Tecnológico de Monterrey. Directora del Departamento de Formación Humanística y Ciudadana en el Tec de Monterrey, Campus Guadalajara y profesora titular de Política Internacional y Geopolítica en la misma Institución. Fue presidente y actualmente miembro de la junta directiva de la ONG Children International. Produce y conduce el programa de radio sobre asuntos internacionales Bitácora, en coproducción con el Sistema Jalisciense de Radio y Televisión. Conferencista en foros empresariales, políticos y sociales. Miembro de Amnistía internacional Capítulo Guadalajara. Vocal de la mesa directiva de la Asociación Mexicana de Estudios Internacionales. Su investigación versa sobre el análisis de la gobernanza climática, la construcción de regímenes en el ámbito y las políticas públicas de crecimiento verde en Asia Pacífico. Miembro de la cátedra de investigación "Cooperación Internacional para el Desarrollo".

Gómez Morales Emmanuel

Ingeniero Químico egresado de la Facultad de Química, con estudios en la Maestría de Ingeniería Ambiental, ambos de la Universidad Nacional Autónoma de México. Tiene 11 años de experiencia en el

sector energético, experto en políticas para la mitigación del cambio climático, promoción de energías renovables y eficiencia energética en los sectores residencial, servicios, e industria.

Durante su trayectoria profesional ha apoyado en la gestión de recursos federales para proyectos de energías renovables, asimismo, ha impulsado proyectos del gobierno en el Mecanismo de Desarrollo Limpio. Ha colaborado para diversas organizaciones, tanto nacionales como internacionales, como el Banco Mundial, el Banco Interamericano de Desarrollo, y el Centro Mario Molina. Adicionalmente, ha participado en diversas publicaciones y ha sido expositor en foros nacionales e internacionales sobre energía, cambio climático, energías renovables y eficiencia energética.

Gómez Solares Ana María

Es Candidata al Grado de Doctor en Ingeniería en Energía, Maestra en Ingeniería Ambiental, en la especialidad de residuos peligrosos, y licenciada en Ingeniería Química, y por la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), además de contar con un Diplomado en Econometría del Instituto Tecnológico Autónomo de México (ITAM). Su experiencia profesional abarca la Secretaría de Energía, como Directora de Bioenergéticos; la Comisión Federal de Electricidad, apoyando en el análisis, determinación y evaluación de externalidades ambientales; el Centro Mario Molina, coordinando y participando en diferentes proyectos relacionados a la energía y el medio ambiente; la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, siendo asesora del C. Secretario y Directora de Normatividad Industrial; y diferentes áreas de Petróleos Mexicanos. Actualmente ocupa el cargo de Directora de Normatividad de Exploración y Extracción Marítima en la Agencia Nacional de Seguridad Industrial y de Protección al Medio Ambiente del Sector Hidrocarburos.

Adicionalmente, ha trabajado como consultora independiente para el Centro Mario Molina, el Bank Information Center y el programa de Naciones Unidas para el Desarrollo, en proyectos relacionados con el medio ambiente, energías renovables, el desarrollo sustentable y el sector energético en las áreas de mitigación del cambio climático, política pública para el desarrollo sustentable, gestión y aprovechamiento local de recursos energéticos, alternativas tecnológicas para el sector hidrocarburos, determinación de impactos ambientales, entre otros.

Hernández Tejeda Tomás

Doctor en Botánica y Maestro en Ciencias en Fitopatología por el Colegio de Postgraduados, Montecillo, México e Ingeniero Agrónomo especialista en Fitotecnia por el Universidad Autónoma Chapingo. Fue investigador del Colegio de Postgraduados de 1979 a 1989 y de 1990 a la fecha es investigador del "Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Conservación y Mejoramiento de los Ecosistemas Forestales" (CENID-COMEF), del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), SAGARPA. Ha publicado, como autor o coautor, varios libros, capítulos de libro y artículos científicos o de divulgación, a nivel nacional e internacional, relacionados con el impacto de la contaminación atmosférica en la vegetación de México y sobre cambio climático. Ha editado 9 libros y es árbitro de varias revistas

científicas. Ha sido sinodal en 19 exámenes de licenciatura y 4 de maestría en ciencias. Ha obtenido varias distinciones académicas y de investigación. Es miembro de la Comisión Forestal de América del Norte dentro del Grupo de Trabajo: "Cambios Atmosféricos y Bosques" desde 1990; Representante de México en la "Global Research Alliance on Agricultural Greenhouse Gases"; Representante de México en el "Programa Intergubernamental de Cooperación en Cambio Climático de los Países Mesoamericanos"; Vice coordinador del tema: "Impacts of air pollution and climate change on forest ecosystems" de la IUFRO (International Union of Forest Research Organizations); Integrante de la UNFCCC (Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático); Colaborador voluntario del IPCC (Intergovernmental Panel Climate Change) y Copartícipe del Premio Nobel de la Paz 2007.

Herrera Merino Ana Liz

Licenciada en Economía por la Facultad de Economía de la UNAM. Los temas principales bajo los cuales se desenvuelve son cambio climático, pobreza, bienestar, mercado laboral y economía ambiental. Ha tomado cursos de especialización en University of California, Berkeley (Estados Unidos) y ha participado como ponente en el Coloquio Mexicano de Economía Matemática y Econometría con el tema "El cambio climático y la pobreza en el Distrito Federal". Ha participado en el Grupo de Trabajo para la elaboración del "Anteproyecto de Norma Mexicana para la Certificación de Proyectos Forestales de Carbono" de la SEMARNAT. Ha colaborado con la Organización de la Sociedad Civil "Servicios Ambientales de Oaxaca A.C. (SAO) así como en el proyecto "Sistema de Modelación Integral del Sector Energético (SIMISE)" de la SENER-UNAM.

Cuenta con artículos en coautoría en revistas arbitradas, así como en capítulos de libros en editoriales como PORRÚA. Actualmente colabora en actividades de investigación en el Instituto de Investigaciones Económicas de la UNAM en el área de economía aplicada con énfasis en los impactos económicos y sociales del Cambio Climático y microeconometría.

Hill Cruz Mariana

Mariana es una estudiante de ciencias con un enfoque en cambio climático, oceanografía y ecología marina. En abril de 2015 Mariana realizó un estudio de las variaciones espaciales en el ensamble de peces de la bahía Princess Royal Harbour, en el suroeste de Australia. Más tarde ese mismo año participó en la Conferencia de investigaciones de pregrado de Australasia (ACUR) llevada a cabo en la Universidad del Oeste de Australia donde presentó los resultados de dicho estudio. En febrero de 2015 participó en el Eco Maratón de Shell llevado a cabo en Manila, Filipinas como parte de un equipo de ingenieros de la Universidad del Oeste de Australia.

En agosto de 2008 Mariana tuvo la oportunidad de conocer el ártico en una expedición con el grupo Students on Ice Expeditions. Este viaje fue crucial para definir la trayectoria que posteriormente tomaría su vida profesional. Mariana está interesada en trabajar por el desarrollo de una sociedad global en armonía con la naturaleza. Cree que mediante la ciencia, el ser humano es capaz de llegar a un equilibrio

en el que no requiera dañar al medio ambiente ni a otros seres vivos para satisfacer sus requerimientos de vida. Mariana espera graduarse de la Licenciatura en Ciencias con especialidad en Ciencias Marinas de la Universidad del Oeste de Australia en diciembre del 2015.

Ivanova Boncheva Antonina

Profesora-investigadora, Departamento de Economía y coordinadora del Centro de Estudios APEC, Universidad Autónoma de Baja California Sur, Miembro del SNI, Nivel II. Representó a México en el Buró del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC), vice-presidenta del Grupo de Trabajo 3 "Mitigación del Cambio Climático", para el período 2008-2015.

Doctora en Economía (UNAM) con Posdoctorado en Estudios de La Paz (Universidad de Bradford, Inglaterra). Licenciada en Relaciones Económicas Internacionales y Maestra en Periodismo Económico (Universidad de Economía Internacional, Bulgaria & Instituto en Integración Europea, Bélgica). Realiza investigación sobre cooperación internacional con enfoque en la región Asia-Pacífico, políticas de cambio climático y desarrollo sustentable. Autora o editora de 23 libros y más de 200 artículos en revistas como: Journal of Social Science, Global Economy, Energy Efficiency Journal and Asia-Pacific Business. Autora-líder en el Cuarto Informe Evaluativo del IPCC (Premio Nobel de La Paz 2007). Editora del Informe Especial sobre Energías Renovables, SREN- IPCC (2011) y del Quinto Informe Evaluativo del Grupo de Trabajo 3 del IPCC (2014).

Jazcilevich Diamant Aron

Estudió su licenciatura en Ingeniería en Computación en la Facultad de Ingeniería de la UNAM. Recibió su Maestría en Comunicaciones y Control en la Universidad del Estado de Nueva York en EEUU. Su interés por la relación entre las matemáticas y fluidos lo llevaron a realizar una maestría y doctorado en Matemáticas Aplicadas en esta universidad.

Al llegar a México se reincorporó a la UNAM en la División de Estudios del Posgrado de la Facultad de Ingeniería, donde se dedicó desarrollo de modelos de transporte de contaminantes atmosféricos para la Ciudad de México. Su interés en esta área lo impulsó a proseguir su investigación en el Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM, donde trabaja hasta la fecha. Las emisiones vehiculares, y sus efectos en la atmósfera urbana y salud, forman parte central de sus investigaciones. Ha desarrollado técnicas para la evaluación de nuevas tecnologías vehiculares tomando en cuenta salud pública y eficiencia energética. También ha desarrollado instrumentos para obtener la distribución inmediata de las emisiones primarias vehiculares, así como el uso de modelos de tráfico basados en agentes para evaluar gasto energético y emisiones en función de la movilidad. Actualmente desarrolla modelos relacionando tráfico vehicular con exposición humana.

Koolemans Beynen Johanna

Trabaja como consultor independiente en temas de cambio climático. Hasta Junio, 2014, fue Coordinadora de la capacitación en línea en el Instituto Global para la Sostenibilidad (IGS) en el Tecnológico de Monterrey, donde estaba a cargo de la promoción y administración del curso “Elementos Técnicos para la Elaboración del Programa de Acción ante el Cambio Climático,” y de la desarrollo de nuevos cursos. Es maestra en Relaciones Internacionales de la School of Advanced International Studies de la Universidad de John’s Hopkins (Washington D.C.) y completó la carga curricular de la maestría en Economía del Colegio de México. Cursó la Licenciatura en el School of Foreign Service de Georgetown University.

Ella fue consultor para Eutelsat, que en ese entonces fue una empresa de las empresas estatales de telecomunicaciones, donde diseñó y escribió un estudio sobre la demanda por transpondedores por canales de televisión, y en DRI McGraw Hill, donde investigó la intensidad del uso de energía de la industria europea, como parte de un proyecto de ver el posible impuesto de un impuesto sobre el uso de energía. También trabajó en una empresa de consultoría, BMA Associates, donde especializó en asuntos energéticos.

Le Clercq Ortega Juan Antonio

Doctor en Ciencias Políticas y Sociales por la Facultad de Ciencias Políticas y Sociales, UNAM. Cuenta con Licenciatura y Maestría en Ciencia Política también por la UNAM. Realizó una especialidad en Gestión Energética y Medio Ambiental por FLACSO, México. Es profesor de Tiempo Completo y Director Académico en el Departamento de Relaciones Internacionales.

Coordina el Centro de Estudios sobre Impunidad y Justicia (CESIJ) en la UDLAP. Ha sido profesor en la Universidad Iberoamericana (UIA), El Instituto de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM), el Centro de Estudios y Docencia Económicas (CIDE) y el Instituto Tecnológico Autónomo de México (ITAM).

Es coautor de La Reforma Humanista. Derechos Humanos y Cambio Constitucional en México (Miguel Angel Porrúa: 2011), el Índice Global de Impunidad (UDLAP: 2015) y el Índice de Impunidad México (UDLAP 2016). Se desempeñó como Director Académico en la Fundación Rafael Preciado Hernández y como Director General en la Fundación Humanismo Político, A.C. En el servicio público se desempeñó como Coordinador General de Asesores en la Secretaría de Relaciones Exteriores (2004-2006). Sus líneas de investigación incluyen: cambio institucional, gobernanza ambiental, políticas de cambio climático, teoría política e instrumentos de medición de impunidad y justicia.

López Morales Liliana

Licenciada en Pedagogía por la Universidad Pedagógica Nacional. Desarrollo su tesis en el Programa de Investigación en Cambio Climático de la UNAM con el tema: “El cambio climático en México: construcción

y reforzamiento de capacidades educativas en el nivel medio superior del estado de Chiapas. (Implementación del taller para crear la guía del diplomado estatal de cambio climático)”

Y es parte del proyecto de la Red Universitaria de Cambio Climático que tiene como fin crear un espacio de interacción en donde los jóvenes obtengan más información sobre el tema de cambio climático y logren analizarlo, discutirlo y proponer acciones en relación al tema. Ha colaborado en la elaboración de los “Criterios de gobernanza climática para el estado de México” en el marco de la actualización del Programa Estatal de Cambio Climático del Estado de México, en la evaluación externa del Programa Educar con Responsabilidad Ambiental de la Secretaría de Educación del Gobierno de Chiapas y ha colaborado en el capítulo del libro. Formó parte del programa de mediadores en el Museo Interactivo de Economía.

López Ridaura Santiago

Santiago Lopez Ridaura es doctor en ecología de la producción y manejo de recursos naturales por la Universidad de Wageningen, Países Bajos. Estudió Agronomía en la Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco (UAM-X) y una maestría en Agricultura Sustentable en el Wye College de la Universidad de Londres. Su área de especialización es el análisis integrado de sistemas agrícolas y la evaluación de escenarios de evolución de los agro-ecosistemas a diferentes escalas de análisis.

Es investigador del Institute National de la Recherche Agronomique (INRA) en Francia y actualmente trabaja para el programa de intensificación sustentable del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) en México. Es autor de tres libros sobre la evaluación de sustentabilidad y numerosos artículos científicos y capítulos de libros relacionados al uso de indicadores, el análisis multi-criterio, la evaluación participativa y el uso de modelos para el análisis de sistemas agrícolas.

Lucatello Simone

Doctor en Análisis y Gobernanza del Desarrollo Sustentable por la Universidad internacional de Venecia (VIU), Italia. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores de México, nivel I. Actualmente coordina el Programa de Investigación en cooperación internacional, Desarrollo y políticas públicas del Instituto Mora. Sus intereses de investigación abarcan temas de cambio climático, sustentabilidad, cooperación internacional para el medio ambiente, ayuda humanitaria y desastres. Ha coordinado recientemente el estudio del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) sobre gestión de riesgo y cambio climático y es uno de los autores del IV informe global del PNUMA sobre reducción de emisiones (GAP emission report 2014).

Macías García Luis Fernando

Doctor en sociología por la Université Catholique de Louvain, Master on arts (sociology) por la misma Universidad y Licenciado en Sociología por la universidad Autónoma Metropolitana, tiene estudios de Psicoanálisis y Filosofía desde 1975. Director de la División de Ciencias Sociales y Humanidades, en la Universidad de Guanajuato, Campus León Ha sido profesor e investigador en la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa y Azcapotzalco. Coordinó el posgrado de la Facultad de Ciencias Políticas y Administración Pública de la Universidad Autónoma del estado de México. Ha impartido seminarios y cursos en el Instituto J. M. Luis Mora, en la Universidad Libre de Bruselas y en la Universidad Católica de Lovaina (Bélgica). En la Universidad e Tarragona España (Rovira i Virgili); también en la Fundación Reveriana de Caracas (Venezuela). Ha sido director de tres tesis doctorales y es Autor y coautor de artículos, libros y capítulos de libros sobre problemas emergentes del sujeto contemporáneo. Es Profesor Titular B en la Universidad de Guanajuato.

Mallén Rivera Carlos

Actualmente es Investigador Titular "C" en el CENID-COMEF, del INIFAP. Profesor del taller: Métodos avanzados de manejo forestal, Facultad de Ciencias y tutor: Recursos Naturales y Desarrollo Sustentable del Postgrado de Economía; ambos en la UNAM. Cuenta con los títulos de: Técnico Laboratorista en Agrobiología por el IPN; Ingeniero Forestal de la División de Ciencia Forestales de la UACH y Maestro en Ciencias del COLPOS. Primer estudiante de la Especialidad Forestal en Graduarse con Honores.

Brigadista: Investigación Forestal, Huayacocotla, Veracruz. Asistencia en 14 cursos y talleres nacionales e internacionales. Estancias en: Pinar del Río, Cuba y San José, Costa Rica; director y asesor: 42 tesis de licenciatura y maestría; ha publicado 72 resúmenes y 92 trabajos completos en congresos; participación en 50 foros académicos; 20 trabajos para producción en docencia; 5 libros y capítulos de libros; 6 manuales y folletos técnicos; ha participado y coordinado 41 proyectos: investigación, institucionales, apoyo a la docencia y capacitación profesional; con 64 artículos en Revistas científicas, divulgativas y de difusión gremial; dictado 19 conferencias y 5 programas de orientación vocacional, educación y cultura forestal; 4 coordinaciones de grupos académicos y 11 comisiones dictaminadoras; colabora en 4 comités editoriales. Desde 1998 es Secretario Técnico de la Revista Ciencia Forestal en México. Pertenece al Directorio de Expertos de la CONABIO y es Académico Colaborador de la Academia Nacional de Ciencias Forestales. Director de Promoción y Divulgación; Director de Soporte Forestal de la Dirección General del INIFAP y Presidente de la Sociedad Mexicana de Recursos Forestales A.C.

Martínez de la Torre José Antonio

Es profesor-investigador, Departamento de Economía y miembro del Centro de Estudios APEC en la Universidad Autónoma de Baja California Sur. Doctor en Uso, Manejo y Preservación de Recursos Naturales por el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR). Tiene la Maestría en Desarrollo

Económico en la Universidad de Vanderbilt, y la Licenciatura en Economía en la Escuela Nacional de Economía (UNAM) y las especialidades en Planificación del Desarrollo Socio-económico en ILPES-CEPAL y de Pedagogía en UAM-UABCS. Ha desempeñado diversos cargos en los que destacan Subjefe del Departamento de Estudios Económicos de la Dirección General de Egresos de la Subsecretaría de Egresos de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público en México D.F., Asesor del Subdirector del Instituto Mexicano de Comercio Exterior, Asesor del Coordinador de Estudios Económicos y Administrativos de la Subsecretaría de Hacienda y Crédito Público. Jefe del Departamento de Economía durante 1993-1997 y encargado del Centro de Vinculación UABCS. Ha publicado numerosos artículos en revistas especializadas nacionales e internacionales, así como en diferentes libros sobre APEC, economía del medio ambiente y de los recursos naturales, bioeconomía, desarrollo regional y local y desarrollo e historia económica de Baja California Sur. Becario Fulbright-García Robles para estancia de investigación en la Universidad de Rhode Island, miembro del SNI durante 2009-2011.

Mayorga Cervantes Juan Raymundo

Trabaja en la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación, de la Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura (ESIA), Unidad Tecamachalco del Instituto Politécnico Nacional (IPN).

Es Ing. Arquitecto, egresado del IPN 1983; Mtro. en Arq.-Tecnología, UNAM 1991; CEMCO ICC "Eduardo Torroja", España 1992; Dr. en Arq., UNAM 2005; Prof. Investigador de T. C. en el Nivel Superior, Maestría y Doctorado y Jefe de la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación de la ESIA Unidad Tecamachalco del IPN; pertenece a la Red de Medio Ambiente del IPN, a la Red Mexicana de Arquitectura Bioclimática; a la Asociación Nacional de Energía Solar, al Consejo Consultivo Nacional para el Desarrollo Sustentable de SEMARNAT, al Instituto Mexicano de los Edificios Verdes, a la Red de Medio Ambiente y Sustentabilidad del CONACYT, en los Grupos Técnicos Regionales LEED-México, en Sustentabilidad para México A.C.; en la Red Iberoamericana CYTED XIV.E de CONACYT. Es especialista en los temas de diseño arquitectónico bioclimático, confort térmico, sustentabilidad y cambio climático, ha publicado 2 libros, 3 capítulos de libros; ha sido ponente en España, Cuba, Canadá, Chile, Puerto Rico y a nivel nacional. Ha desarrollado 14 proyectos de investigación, para el IPN; el INAP; el CONACYT y el MIMVEC de Cuba.

Muñoz Ledo Carranza José Antonio Ramón

Realizó sus estudios de Licenciatura y Maestría en Ingeniería Metalúrgica en la Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractivas (ESIQUIE) del Instituto Politécnico Nacional (IPN), el Doctorado con especialidad en Físicoquímica lo obtuvo en la Facultad de Química de la Universidad Autónoma de México (UNAM). Desde el 8 de octubre de 1982 se incorporó al Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE), en donde labora en la actualidad para la Gerencia de Materiales y Procesos Químicos participando en proyectos de investigación relacionados con el tratamiento Lavado Ácido de Calderas, Ensayos No Destructivos, Corrosión y Cálculo de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero, y estimación de certificados de carbono a partir del programa de Mecanismo de Desarrollo Limpio, participo en: los cálculos

de Inventarios de Gases Efecto Invernadero (GEI), los 2 estudios país sobre Cambio Climático y los Comunicados Nacionales correspondientes, el Latin America regional workshop on greenhouse gas emission inventories and mitigation options, realizado en isla margarita Venezuela. Asimismo, ha sido catedrático desde 1988 en la Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos, ha participado como autor y/o coautor de libros, una metodología para la aplicación de los MDL (Mecanismo de Desarrollo Limpio/Protocolo de Kioto) a Nivel Iberoamericano, tiene varios artículos referenciados y ha participado en ponencias en EE. UU., Sudamérica y Europa. Tiene 11 derechos de autor, nueve tesis dirigidas y ha participado en más de 50 comités revisores de tesis.

Muñoz Meléndez Gabriela

Es Licenciada en Ingeniería Química por la Universidad Veracruzana (1991); Maestra en Ciencias Nucleares por la Universidad Nacional Autónoma de México (1996); y PHD (D.F.) por el Imperial College London (2000). Es miembro del SIN Nivel I. Actualmente es Coord. Dentro del Departamento de Estudios Urbanos y del Medio Ambiente del Colegio de la Frontera Norte, Sede Tijuana. Realizó una estancia de investigación en Estados Unidos durante el 2011. Ha sido Profesor – Investigador Nivel “B” desde el 2008, además de haberse desempeñado como Research Associate dentro del período 2000-2008. Entre sus distinciones más recientes se encuentran: ser miembro titular de la comisión evaluadora departamental, COLEF, 2015; Comité de Redacción, COLEF, 2015; Participante del curso International Carbon Action Partnership sobre el Mercado de Emisiones, ENCAE. Entre sus publicaciones destacadas se encuentra el libro: Hacia la sustentabilidad ambiental de la producción de energía en México, COLEF/CIBNOR, 2011; y “LA REFORMA ENERGÉTICA ANTE LA CAÍDA DE LOS PRECIOS DE PETRÓLEO: ¿UNA OPORTUNIDAD PARA LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN MÉXICO?”, Gabriela Muñoz Meléndez, Sociedad y Ambiente,, Vol.6, 2015, pp.72-88

Ordóñez Díaz José Antonio Benjamín

Biólogo egresado de la Facultad de Ciencias y Doctor en Ciencias por el Instituto de Ecología del programa doctoral en Ciencias Biomédicas, ambos de la UNAM. Actualmente es director general e investigador de Servicios Ambientales y Cambio Climático SACC, A.C. Pertenece al SNI. Profesor en la Facultad de Ciencias, UNAM y en el Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey (ITSEM).

Pionero en los estudios de captura de carbono y cambio climático, con 20 años de experiencia en inventarios nacionales y locales de emisiones de gases de efecto invernadero; su producción académica: 2 libros, 15 artículos arbitrados, 25 capítulos de libro, 12 artículos de divulgación y coordinación de 128 publicaciones en el periódico Cambio de Michoacán. Tiene un vehemente compromiso con la naturaleza, su prójimo y la formación de recursos humanos especializados. Lleva el conocimiento a la práctica. Ha impartido más de 50 cursos, diplomados y talleres a nivel local, nacional e internacional; participación en más de 70 congresos nacionales e internacionales; revisor de 29 tesis, co-director de 4 tesis y director de 13 tesis (46 tesis), de las cuales una tesis de licenciatura, dos de maestría y una de doctorado recibieron mención honorífica. Ha coordinado por más de 10 años programas de servicio social; en el 2013 recibieron

la medalla Dr Baz Prada en Servicio Social. Participa como árbitro en cuatro revistas indexadas y es expositor para The Climate Reality Project México and Latin America (organización mundial de Al Gore de quién recibió directamente la capacitación en el 2009).

Ortiz Hernández María Laura

Bióloga, con Maestría en Ciencias (énfasis en Química de Suelos) y Doctorado en Biotecnología. Profesora-Investigadora Titular B, definitiva, adscrita al Laboratorio de Investigaciones Ambientales del Centro de Investigación en Biotecnología de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM). Coordinadora General del Programa de Gestión Ambiental Universitario de la UAEM. Responsable de diversos proyectos de investigación financiados por entidades nacionales e internacionales. Sus principales líneas de investigación son: tratamiento biotecnológico de residuos (especialmente plaguicidas) y remediación de sitios contaminados, además de la gestión ambiental, la toxicología y la biotecnología ambiental. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores, miembro del Sistema Estatal de Investigadores y reconocimiento como Profesora con Perfil deseable del PROMEP con vigencia hasta el año 2021. Imparte Docencia en la carrera de Biólogo en el área de la Contaminación Ambiental, tutorías en la Maestría en Biotecnología y en el Doctorado en Ciencias Naturales, especialmente en el área de la Biotecnología Ambiental. Imparte capacitación y asesoría en áreas como gestión integral de residuos, tratamiento biotecnológico de residuos, cambio climático y bioremediación de suelos contaminados con xenobióticos. Es autora de diversas publicaciones como: 36 artículos en revistas indizadas internacionales; 14 libros y 24 capítulos de libros. Todos ellos relacionados con aspectos ambientales. Ha dirigido un total de 38 tesis de licenciatura, 15 de maestría y siete de doctorado. Coordinó el Programa de Acciones ante el Cambio Climático en el Estado de Morelos y el inventario de Gases de Efecto Invernadero del Estado de Morelos.

Peña Ledón Claudia Tatiana

Licenciada en Comunicación Social por la Universidad de Colima. Es actualmente becaria en el Programa de Investigación en Cambio Climático de la UNAM, en donde desarrolla su tesis de maestría. En este programa, además colabora en la sistematización de información para proyectos como el de actualización del Programa Estatal de Cambio Climático del Estado de México, el cual incluye su aporte en el capítulo acerca de los criterios para la gobernanza climática en esta entidad; asimismo, ha estado vinculada a la evaluación externa del Programa "Educar con Responsabilidad Ambiental" implementado por la Secretaría de Educación del Gobierno de Chiapas. En la Universidad Autónoma de la Ciudad de México, donde cursó su posgrado, ha participado en publicaciones acerca de la Educación Ambiental, en el contexto de la misma institución, así como en la incorporación de este campo de conocimiento a la currícula de la Educación Superior en México.

Quintana Solórzano Fausto

Doctor en Ciencias Políticas y Sociales por la Facultad de Ciencias Políticas y Sociales, UNAM. Cuenta con Licenciatura y Maestría en Relaciones Internacionales también por la UNAM. Presentó el IX Curso Internacional de Gestión Estratégica del Desarrollo Local y Regional, por el ILPES de la CEPAL. Es becario del Programa de Becas Posdoctorales de la UNAM, adscrito al Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias. Profesor de Asignatura adscrito al Centro de relaciones Internacionales de la Facultad de Ciencias Políticas y Sociales. Ha sido profesor en la Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla (UPAEP) y de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM). Distinción de Candidato a Investigador Nacional del SNI del CONACYT.

Es autor de varias publicaciones sobre medio ambiente, crisis ecológica y cambio climático, entre las que destacan El cambio climático desde una perspectiva de izquierda y Los bosques en la estrategia global de lucha contra el cambio climático, y, en calidad de coautor, Nuevos enfoques de desarrollo para México. Escenarios para 2020, documentos publicados por la Fundación Friedrich Ebert. Líneas de especialidad: desarrollo y seguridad humana, sustentabilidad, cambio climático, sistemas y resiliencia socio-ecológica, capital social, política internacional forestal y manejo forestal comunitario.

Reyna Ramírez Cristian Alejandro

Estudió la licenciatura en Planeación Territorial en la Universidad Autónoma Metropolitana de Xochimilco, en la cual también realizó sus estudios de maestría obteniendo el grado de Maestro en Ciencia Agropecuarias, actualmente estudia su doctorado en Ciencias Biológicas y de la Salud en vínculo con la universidad de Wageningen en Holanda.

Su enfoque se centra en las cuestiones agrícolas con una visión ecológica que busca preservar la conservación de recursos naturales y la autonomía alimentara, en un contexto global. Con base en las perspectivas de sistemas completos y el multi-análisis, integra los componentes del cambio climático, la conservación de recursos naturales, la producción agropecuaria, el rediseño de sistemas, buscando la interacción de estos para favorecer a la autonomía alimentaria dentro de las comunidades indígenas de Mesoamérica.

Ha participado en publicaciones con la FAO y la UAM-X, así como en congresos diversas disciplinas (suelo, cambio climático, agricultura orgánica). También ha colaborado con el Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México en el desarrollo de modelos hidrológicos tiempo real y ha colaborado con el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo en investigaciones agrícolas en Guatemala.

Rivera Vázquez Ricardo

El Dr. Ricardo Rivera Vázquez obtuvo su grado en el Colegio de Postgraduados en 2006 en el Programa de Hidrociencias con el tema de investigación sobre contaminación de los ríos Texcoco, Chapingo y San Bernardino. La Maestría en Ciencias la desarrolló en la Universidad Autónoma Chapingo en la División de Ciencias Forestales con el tema de investigación sobre el uso de imágenes de satélite para detectar problemas de contaminación en el Valle del Mezquital; mientras que la Licenciatura la cursó en la misma Universidad Autónoma Chapingo pero en el Departamento de Fitotecnia, saliendo como Ingeniero Agrónomo especialista en Fitotecnia.

Su labor profesional ha sido amplia y variada. Actualmente labora en el INIFAP, como Investigador Titular en los programas de Mitigación del Impacto Ambiental y de Arbustivas Nativas; donde su labor se ha enfocado al estudio de las evidencias del cambio climático en los bosques de México, y en la cuantificación de la captura y emisión del carbono en estos ecosistemas. En la CONAFOR trabajó en el Programa de Servicios Ambientales y en la Gerencia de Proyectos Forestales de Carbono, en el INEGI en el programa PROCEDE y en el Colegio de Postgraduados, en proyectos de evaluación de programas de CONAFOR Y CNA. En el sector privado y social, trabajo en la Asociación Cultural Na Bolom en el área de Proyectos y como profesionista como Técnico Forestal acreditado por la CONAFOR para proyectos de reforestación, conservación de suelos y restauración forestal.

Rodríguez Solís Alexis Joavany

Originario del estado de Chiapas, egresado del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez en donde realizó sus estudios de Licenciatura en Ingeniería Bioquímica, obteniendo el grado en el año 2005. Cursó los estudios de Maestría y Doctorado en Ciencias Bioquímicas en el Instituto de Biotecnología-UNAM, obteniendo los grados correspondientes en los años 2007 y 2012 respectivamente. Actualmente se desempeña como Profesor Investigador de Tiempo Completo en el Centro de Investigación en Biotecnología-UAEM y como profesor de asignatura a nivel Licenciatura y Posgrado.

A la fecha, ha participado en la publicación de un libro, cinco artículos internacionales, un artículo nacional, y siete capítulos en libros, participó en la generación del Programa Estatal de Acción Ante el Cambio Climático de Morelos "PEACCMOR" publicado a inicios del 2015. Recientemente participó en la elaboración del Plan de Estudios de la Especialidad en Gestión Integral de Residuos del CEIB, aprobado por el H. Consejo Universitario de la UAEM en el mes de septiembre de 2015. Pertenece al Sistema Nacional de Investigadores (SNI-CONACyT) con nivel de Candidato.

Rojas García Omar

Es Doctor en Geografía por parte del Instituto de Geografía de la UNAM. Ha participado en proyectos relacionados a la Reducción de la Huella Hídrica de los Biocombustibles; Ha participado en proyectos de

Sustentabilidad con la Universidad Alto de Finlandia en Helsinki. Fue director de la carrera de Ingeniería en Desarrollo Sustentable en el ITESM CCM durante el periodo de 2011 a 2014. Ha sido coordinador de proyectos de Impactos Ambiental, Riesgo Ambiental y Ordenamiento Territorial en la UNAM en el periodo de 2003 a 2008. Participó como responsable de Planes de Manejo para zonas arqueológicas por parte de la Dirección de Operación de Sitios (DOS) en el Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH) en el periodo de 2000 a 2001. Actualmente trabaja como profesor de tiempo completo para el departamento de mecatrónica del TEC.

Sánchez Platas Liliana Eneida

Egresada del Doctorado en Arquitectura por la UNAM con mención honorífica 2007; Estancia posdoctoral en la Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura del IPN (en curso); Profesora-Investigadora de la Universidad Tecnológica de la Mixteca desde 1998; Miembro del Sistema Nacional de Investigadores Nivel 1, desde 2009; Reconocimiento Perfil PROMEP desde 2004; Líneas de Generación y Aplicación del Conocimiento: Teoría de la Arquitectura y Arquitectura Sustentable; Publicación de artículos, participaciones en congresos y concursos nacionales e internacionales; Jefa de la Carrera de Ingeniería en Diseño de la UTM 2002-2007; Directora del Instituto de Diseño de la UTM 2011-2014.

Sánchez Salinas Enrique

Biólogo, con Maestría en Ciencias (Facultad de Ciencias-UNAM). Actualmente Profesor-Investigador Titular A, definitivo, adscrito al Laboratorio de Investigaciones Ambientales del Centro de Investigación en Biotecnología de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM), Miembro del Sistema Nacional de Investigadores y del Sistema Estatal de Investigadores, cuenta con el reconocimiento como Profesor con Perfil deseable del PRODEP. Sus principales líneas de investigación son: gestión ambiental, cambio climático, tratamiento biotecnológico de residuos peligrosos y no peligrosos, biorremediación de suelos contaminados y ecotoxicología. Responsable de diversos proyectos de investigación financiados por CONACyT y otros organismos, todos relacionados con temas de contaminación ambiental y cambio climático. Es Profesor titular de asignatura de la Facultad de Ciencias Biológicas, UAEM, donde imparte docencia en las carreras de Biología y Ciencias Ambientales; forma parte de Comités tutorales de la Maestría en Biotecnología y la Maestría en Biología Integrativa de la Biodiversidad y la Conservación. Cuenta con 24 artículos en revistas indizadas nacionales e internacionales; 16 libros y 20 capítulos de libros; todos ellos relacionados con temas ambientales. Participó en la elaboración del Inventario de Gases de Efecto Invernadero del Estado de Morelos y en la generación del Programa Estatal de Acción Ante el Cambio Climático de Morelos (PEACCMOR). Ha dirigido un total de 28 tesis de licenciatura y 1 de maestría. Coordinador de la Especialidad en Gestión Integral de Residuos y colaborador del Programa de Gestión Ambiental Universitario de la UAEM.

Sánchez Vargas Armando

Desempeña como Investigador Titular "C" de Tiempo Completo definitivo en el Instituto de Investigaciones Económicas, UNAM. Cuenta con estudios de Doctorado en Economía por la UNAM y dos maestrías en Economía con especialidad en Estadística y Econometría, una en Virginia Polytechnic Institute (Estados Unidos) y en la UNAM. En 2011 recibió el Reconocimiento Distinción Universidad Nacional para Jóvenes Académicos en el área de Investigación en Ciencias Económico-Administrativas por parte de la UNAM. Las principales líneas de investigación en la que se desenvuelve son Cambio Climático, pobreza y producción industrial. Además, ha colaborado en actividades con organizaciones de la sociedad civil, Servicios Ambientales de Oaxaca A.C. (SAO). Tiene cursos de especialización de la Universidad de Cambridge, Inglaterra, de la Universidad de California-Berkeley, de la Universidad de Brown y del Instituto Levy, Estados Unidos. Ha publicado múltiples artículos de investigación en revistas arbitradas nacionales e internacionales y que aparecen en editoriales tales como: Elsevier, Blackwell y Springer. Adicionalmente, ha publicado en libros colectivos editados por la UNAM, la Universidad Iberoamericana, Banco de México y Universidad de Alcalá.

Actualmente es miembro del Sistema Nacional de Investigadores con el nivel de SNI II y participa como coordinador en el proyecto "Sistema de Modelación Integral del Sector Energético (SIMISE)" de la SENER-UNAM.

Serrano Castro Rodrigo

Profesor Investigador de la UABCS, tiempo completo. Originario de La Paz, Baja California Sur. Licenciado y Doctor en Derecho por la UNAM. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores (SNI, Nivel I). Autor del Compendio de Derecho Marítimo y el Derecho Constitucional Marítimo Español (un Estudio de Derecho Comparado), editados por la UABCS. Evaluador acreditado por parte de CONACYT. Conferencista en diversas Instituciones de Educación Superior en el País y en el Extranjero. Autor de diversos artículos especializados en materia de Derecho Ambiental, Derecho Internacional, Derecho Marítimo y Pesquero.

Solorio Sandoval Israel Felipe

Israel Solorio es profesor de tiempo completo en la Facultad de Ciencias Políticas y Sociales de la Universidad Nacional Autónoma de México. Es doctor en Relaciones Internacionales e Integración Europea por la Universidad Autónoma de Barcelona. Realizó su estancia postdoctoral en el Environmental Policy Research Center (FFU) de la Freie Universität Berlin. Actualmente es coordinador de la red de investigación en política energética y climática financiada por la Asociación Académica para Estudios Europeos Contemporáneos (UACES). Ha participado en diversos proyectos sobre la integración de políticas ambientales en la política energética. Sus investigaciones tratan sobre el análisis de políticas públicas, con especial énfasis en la política energética y climática.

Straffon Díaz Alejandra

Egresada de la licenciatura de física de la Facultad de Ciencias de la UNAM, actualmente estudiante de doctorado en el Posgrado de Ciencias de la Tierra de la UNAM. Sus líneas de investigación son la variabilidad climática, la política ante el cambio climático y las alternativas de desarrollo social frente al deterioro ambiental.

Vargas Zavala Aída Viridiana

Es Ingeniera Química por la Facultad de Química de la UNAM, Maestra en Ingeniería Ambiental y Doctora en Ingeniería en Energía, por la Facultad de Ingeniería de la UNAM. Cuenta con 12 años de experiencia en el desarrollo de proyectos ambientales para el sector público. Ha participado en estudios de mitigación de emisiones del cambio climático en la Industria azucarera, el sector energía, y el sector transporte; en dictámenes ambientales, manifestaciones y estudios de impacto ambiental; estudios de eficiencia energética con cogeneración, de uso eficiente del agua residual y de proceso para PEMEX, así como en programas de tratamientos fisicoquímicos y biológicos de efluentes industriales. Ha colaborado en diferentes grupos y centros de investigación de la UNAM como el Instituto de Energías Renovables, el Grupo de Ingeniería Ambiental y en el de Ingeniería Legal; así como en el Centro Mario Molina.

Ha sido profesora suplente y ayudante de profesor de la Licenciatura en Ingeniería en Energías Renovables; ha apoyado en cursos de Ingeniería Ambiental y Protección Ambiental de licenciatura en Ingeniería Química, así como en cursos de maestría en Ingeniería Ambiental. Ha asistido a congresos y cursos nacionales e internacionales destacando los temas de Análisis de Ciclo de Vida, Cambio Climático, Sustentabilidad, Energía y Ambiente y Tratamiento de Aguas Residuales, y Economía y Política Ambiental. Cuenta con siete publicaciones nacionales e internacionales.

Vázquez Cisneros Iraís

Estudiante Mexicana del Doctorado en Ciencia y Tecnología Ambientales del Institut de Ciència i Tecnologia Ambientals (ICTA) de la Universidad Autónoma de Barcelona. Graduada del programa de maestría Joint European Master in Environmental Studies por la Universidad de Aalborg, Dinamarca. Durante su proyecto de tesis coopero en el programa de investigación Sustainability Policy and Management del Earth Insitut, Columbia University en el 2015.

Así mismo obtuvo el título de especialista en Economía Ecológica y Ambiental por la facultad de posgrados de Economía de la Universidad Nacional Autónoma de México en el 2013.

Vázquez Zentella Verónica

Pedagoga egresada de la UNAM con estudios de maestría en Pedagogía por esa misma casa de estudios y especialización en la enseñanza del español. Becaria CONACYT para realizar estudios de doctorado en Pedagogía en la UNAM con el tema "Educación Agroalimentaria apoyada en la realización de huertos escolares". Se ha desarrollado como docente en todos los niveles educativos, impartiendo también cursos y talleres a docentes universitarios. Autora y co-autora de artículos sobre educación intercultural. Co-autora del caso de enseñanza electrónico "El caso de Juan, el niño triqui" el cual forma parte del Plan de Estudios 2012 de las Escuelas Normales para las Licenciaturas en Educación Preescolar, Primaria y Secundaria. Asimismo, es autora del libro de texto "Mi mundo en otra lengua" del Plan de Estudios de Bachillerato que ha establecido la SEP para la Preparatoria Abierta. Co-autora del libro "Adaptación y mitigación urbana del cambio climático en México" (CEIICH-PINCC, UNAM. México, 2015. ISBN: 978-607-02-7092-5. 278 pp.).

Velázquez Montero Angélica

Es Ingeniera química y maestra en Ingeniería Ambiental de la UNAM. Esta altamente capacitada en calidad y estadística avanzada así como sistemas ISO y regulación ambiental, económica y social de los que ha impartido cursos en diferentes dependencias.

Trabajó en el Instituto Mexicano del Petróleo y la Secretaría de Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal y se ha desempeñado para diferentes entidades entre las que se encuentran el Banco Mundial, el Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental (CENICA) dependiente del Instituto Nacional de Ecología en temas de calidad de datos en mediciones atmosféricas y en transporte, área en la que se ha especializado. Además, ha realizado diversos estudios de transporte, movilidad y desarrollo urbano para dependencias de medio ambiente estatales.

Es fundadora y directora general de Consultoría en Ingeniería de Proyectos, S de RL.

Revisores del Volumen III del Reporte Mexicano de Cambio Climático

- **María Josefina Figueroa Meza.**
Copenhagen Business School,
Sealand Region, Dinamarca.

- **Omar Masera Cerutti.**
Universidad Nacional Autónoma de México
Centro de Investigaciones en Ecosistemas, Morelia, Mich. México.

- **Esteve Corbera Elizalde.**
Universitat Autònoma de Barcelona, España.

- **Gabriel Blanco.**
Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Argentina
Facultad de Ingeniería.

- **María Josefina Figueroa Meza.**
Copenhagen Business School
Sealand Region, Dinamarca.

- **Arón Jazcilevich Diamant.**
Universidad Nacional Autónoma de México
Centro de Ciencias de la Atmósfera.

- **Alejandra Traffon Díaz.**
UCCS Unión de Científicos Comprometidos con la Sociedad.
José Luis Arvizu Fernández.
Instituto de Investigaciones Eléctricas.

- **María de la Concepción García Aguirre**
Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Ciencias.

- **René D. Martínez Bravo.**
Universidad Nacional Autónoma de México
Centro de Investigaciones en Ecosistemas.

- **Carlos Gay y García.**
Universidad Nacional Autónoma de México
PINCC Programa de Investigación en Cambio Climático y
CCA Centro de Ciencias de la Atmósfera.

- **Catherine Paquette Vassalli.**
IRD Instituto Francés de Investigación para el Desarrollo.

- **Edit Antal Fodroczy.**
Universidad Nacional Autónoma de México
Centro de Investigaciones sobre América del Norte .

- **Gerardo Arroyo O'Grady.**
Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo México.

- **Gian Carlo Delgado Ramos.**
Universidad Nacional Autónoma de México
CEIIH Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades.

- **Alicia Girón González.**
Universidad Nacional Autónoma de México
SUEA Seminario Universitario de Estudios Asiáticos.

- **José Ernesto Rangel Delgado.**
Universidad de Colima.

- **Zacarías Torres Hernández.**
Instituto Politécnico Nacional
ESCA Santo Tomás.

- **Juan Raymundo Mayorga Cervantes.**
Instituto Politécnico Nacional
ESCA Tecamachalco.

- **Analilia Coria Páez.**
Instituto Politécnico Nacional
ESCA Tepepan.

- **Edi Efraín Bámaca López.**
Universidad Rafael Landívar de Guatemala.

- **Froylan Esquinca Cano.**
Secretaría de Medio Ambiente e Historia Natural de Chiapas.

Universidad Nacional Autónoma de México
Programa de Investigación en Cambio Climático

Impreso en México, D.F. el 15 de diciembre de 2015

Tiraje: 1,000 libros

Coordinadores del Proyecto:

Carlos Gay y García / José Clemente Rueda Abad

Grupo III

Emisiones y Mitigación de Gases
Efecto Invernadero

Coordinación del grupo III: Xochitl Cruz Núñez



REPORTE MEXICANO DE CAMBIO CLIMÁTICO

Grupo III Emisiones y Mitigación de Gases Efecto Invernadero

Editores:

Carlos Gay y García / Angelina Cos Gutiérrez / C. Tatiana Peña Ledón