

OPCIONES DE MITIGACIÓN DE CARBONO EN LOS ESCENARIOS POST KIOTO. LA CONTRIBUCIÓN DESDE EL SECTOR FORESTAL DE MÉXICO

RENÉ D. MARTÍNEZ BRAVO*
RODRIGO OROZCO MARTÍNEZ**
OMAR MASERA CERUTTI*

IMPORTANCIA DE LOS SISTEMAS FORESTALES EN LA MITIGACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO GLOBAL

Los ecosistemas forestales tienen un papel importante en la mitigación del cambio climático porque son un componente fundamental del ciclo del carbono. Desde la creación del Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) por la World Meteorological Organization y la United Nations Environment Programm, se plasmó y reconoció la importancia de la vegetación en los flujos del carbono terrestre y en la regulación del clima, así como las estrategias de captura de carbono relacionadas al uso, cambio de uso de suelo y silvicultura (IPCC, 2003).

La participación forestal para mitigar el cambio climático se incorporó como una opción de Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) de la Convención Marco de Naciones Unidas para el Cambio Climático (UNFCCC, por sus siglas en inglés), aprobada en la Conferencia de las Partes CP9 (IPCC, 2003), por medio de la forestación y la reforestación, en proyectos para plantar y crecer árboles, convenidos entre países firmantes del Protocolo de Kioto (IPCC, 2007). Adicionalmente, las plantaciones forestales proveen de beneficios sociales como son la creación de empleos y el desarrollo de la economía.

Las participaciones de los bosques en el ciclo terrestre del carbono se da a través de dos rutas: la primera refiere a la capacidad para capturar el bióxido de carbono presente en la atmósfera durante el crecimiento de los árboles. A nivel global se ha calculado que los bosques pueden absorber 3 Pg

* Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad de la UNAM.

** Posgrado en Ciencias Biológicas de la UNAM.

carbono antropogénico cada año. La segunda ruta señala la capacidad forestal para almacenar el carbono fijado. Actualmente 4×10^3 Mha cubiertas por vegetación son almacenes netos de carbono (Canadell y Raupach, 2008; FAO, 2016), lo que equivale al 30% de la superficie del planeta (cuadro 1). Al sumar la superficie de los bosques tropicales, templados, boreales y las sabanas, el almacén de carbono se estima en 425 Gt (IPCC, 2003).

CUADRO 1
SUPERFICIE FORESTAL EN EL MUNDO DE ACUERDO
A LOS RESULTADOS DE LA FAO

<i>Área de bosques del mundo</i>			
<i>Tipo</i>	<i>Superficie (MHA)</i>	<i>Dirección del cambio</i>	<i>Cambio anual (%)</i>
<i>Año 2015</i>			
Área forestal (234 países y territorios)	3,999	↓	-0.13
Área de tierras boscosas	1,204	↓	-0.10
Área de otras tierras con cubierta forestal	284	↑	0.52
Reforestación anual promedio	27	↑	1.57
Bosque natural	3,695	↓	-0.24
Bosque plantado	291	↑	1.84
<i>Periodo 2010-2015</i>			
Cambio neto anual	-3.3		
Cambio neto anual bosque natural	-6.5		
Cambio neto anual bosque plantado	3.3		

FUENTE: elaboración propia con datos de FAO (2016).

Para reconocer la dimensión del carbono atmosférico que es removido por los bosques, cabe notar que éstos pueden absorber anualmente el 30% de las emisiones ocasionadas por la quema de combustibles fósiles. Respecto al carbono almacenado en los bosques, se menciona que los reservo-

rios mundiales son más del doble del carbono presente en la atmósfera (Canadell y Raupach, 2008).

En contraste, varias investigaciones han demostrado que la deforestación y la degradación liberan el carbono contenido en los almacenes terrestres y reducen la cobertura vegetal, misma que deja de capturar carbono. Al referirnos en específico a un tipo de vegetación que padece tales alteraciones, por ejemplo, los bosques tropicales del mundo son una fuente neta de carbono. Se ha estimado que anualmente liberan 425.2 ± 92.0 TgC; tal cantidad de carbono procede de la diferencia de las emisiones 861.7 ± 80.2 TgC año⁻¹ y de las absorciones en la vegetación que se estima en 436.5 ± 31.0 TgC año⁻¹ (Baccini *et al.*, 2017).

A nivel mundial, la evaluación de los bosques indica que la cobertura continúa reduciéndose. Durante el periodo de 1990 a 2015 se perdió el 3% de la superficie al pasar de 4 128 Mha a 3 999 Mha (Keenan *et al.*, 2015). La pérdida de superficie provoca alteraciones como cambios de uso de suelo, en los servicios ecosistémicos, la biodiversidad y liberación del carbono contenido en los almacenes forestales, tanto de la vegetación como del suelo (IPCC, 2003). Los efectos ocasionados inciden a escalas locales y regionales, repercutiendo en varias actividades humanas de manera directa o parcial.

A pesar de la condición actual del carbono en la vegetación, y de acuerdo a las tendencias de la FAO (2016), se ha estimado que combinando estrategias de conservación forestal con proyectos de reforestación, los bosques podrían recuperar su papel de fijar el bióxido de carbono durante el crecimiento de la vegetación, y ser un sumidero neto durante los próximos cien años. Esta dinámica permitiría reducir de 20 a 50% las emisiones netas a la atmósfera (IPCC, 1995). En el contexto de evitar la pérdida de superficie forestal, se ha estimado un potencial de captura de carbono de 1.5 PgC año⁻¹ (Canadell y Raupach, 2008).

La captura de carbono es sólo una opción que forma parte de múltiples actividades relacionadas con el balance del carbono terrestre y que de manera conjunta pueden generar sinergias para convertir a la superficie terrestre en un sumidero neto de carbono (Masera *et al.*, 1997). Las otras actividades relacionadas al balance de carbono terrestre son: la agricultura, la bioenergía, la urbanización y la conservación como las más importantes. Sin embargo, su éxito depende de la alineación de esfuerzos socioculturales, marcos favorables, políticas públicas y apertura e impulso de mercados ambientales.

En la última década ha surgido un replanteamiento que permite valorar los beneficios ecológicos que la superficie forestal otorga por medio de bienes y servicios ambientales para la especie humana, los cuales van más

allá de la captura de carbono. El conjunto de beneficios se incluyen en el manejo forestal sustentable para que los bosques provean de insumos para el desarrollo y bienestar de las comunidades, de los países y territorios. Por otro lado, los bosques bajo algún tipo de protección, son reconocidos como fuente invaluable de biodiversidad, de material genético y de servicios ecosistémicos (Faggin y Behagel, 2017).

ESTRATEGIAS DE MITIGACIÓN DE CARBONO EN ZONAS FORESTALES

Los bosques son considerados como una fuente neta de carbono (Baccini *et al.*, 2017). Partiendo de la capacidad de los ecosistemas terrestres para capturar carbono, en los bosques la intervención humana puede incrementar la fijación y mitigación del bióxido de carbono (Masera, 1995) por medio de:

- I) Incrementar el área forestal por medio de la reforestación; con esta medida se espera revertir la conversión de áreas de bosque a no bosque; el desarrollo de plantaciones comerciales para madera, pulpa para papel, hule, etc., así como de plantaciones energéticas (producción de leña para la generación de energía térmica y electricidad de media potencia) y de sistemas agroforestales. Tal como se muestran las tendencias en el cuadro 1, las direcciones de cambio de las opciones que favorecen la recuperación de áreas forestales son positivas, favoreciendo con ello la ampliación de los almacenes forestales de carbono.
- II) Aumentar la densidad de carbono en bosques existentes, tanto a pequeña escala como a nivel de paisaje. Al incrementar la densidad de carbono a nivel de parcela, de paisaje, alargar los ciclos de cosecha y reducir los disturbios, los bosques también incrementan biomasa y se enriquecen en términos biológicos (Canadell y Raupach, 2008).
- III) Ampliar el uso de productos derivados de materia prima forestal para reemplazar aquellos productos elaborados a partir de la quema de petróleo. Al consumir de forma continua en el tiempo los productos forestales, se evita la fabricación de productos que requieren el uso de hidrocarburos fósiles, se mitigan emisiones de GEI implícitas en el proceso, y por la parte forestal se fija más carbono atmosférico.
- IV) Reducir las emisiones de carbono provenientes de la deforestación y de la degradación (REDD). Esta alternativa de emisiones evitadas es la principal meta del mecanismo REDD+, la cual centra su objetivo de mantener los almacenes de carbono forestal con pocos cambios y

que el balance del carbono terrestre no tenga variaciones considerables mientras se realiza un manejo forestal sustentable en los países en vías de desarrollo (COP 13, 2007). En esta actividad también integra la conservación de los almacenes de carbono preservando las áreas naturales protegidas, el manejo integrado de cuencas, el fomento del manejo sostenible de bosques naturales y el uso renovable de la leña. También se reduce la ocurrencia de incendios.

- V) Fomentar el uso de biomasa como bioenergético a partir de un manejo sustentable para neutralizar sus propias emisiones y de este modo reemplazar el uso de combustibles fósiles. Esta opción consiste en sustituir los energéticos industriales por aquellos a base de bioenergía, como son leña, astilla, carbón vegetal, densificados de madera (*pellets*) a partir de residuos forestales y biogás, es decir, ahorrar energía para producir productos industriales y mitigar emisiones de bióxido de carbono (REMBIO, 2011; Banco Mundial, 2009).

Con la implementación de las cinco opciones anteriores, el sector forestal puede recuperar su capacidad de ser un sumidero neto de carbono (Canadell y Raupach, 2008; Masera *et al.*, 1997). En el cuadro 2 se presentan las densidades de carbono en la biomasa reportadas para cada una de las opciones forestales de los bosques mexicanos.

CUADRO 2

PROMEDIO DEL CONTENIDO DE CARBONO POR TIPO DE VEGETACIÓN DE MÉXICO

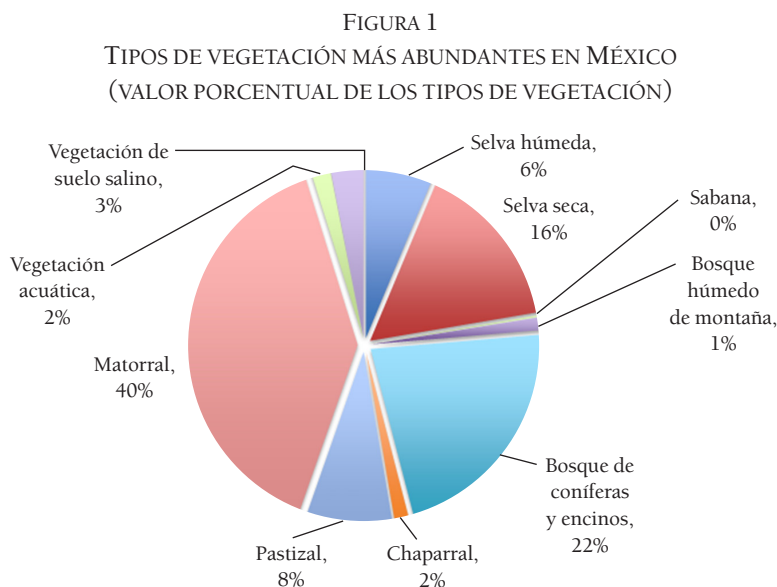
<i>Tipo de vegetación</i>	<i>Carbono en parte aérea (tC/ha)</i>	<i>Carbono en parte subterránea</i>
Bosque de coníferas	33.60	8.00
Bosque de encino	20.70	5.60
Bosque húmedo de montaña	37.70	9.40
Selva seca	17.40	4.30
Selva húmeda	40.40	9.50
Matorral xerófilo	4.30	1.10

FUENTE: elaboración propia con datos de la SEMARNAT-CONAFOR (2014).

POTENCIAL DE MITIGACIÓN FORESTAL PARA MÉXICO

La dinámica actual de uso de suelo en México presenta condiciones naturales muy propicias para las opciones de mitigación de carbono en los

ecosistemas terrestres.¹ De acuerdo con la Comisión Forestal Nacional (CONAFOR), el 45% del territorio nacional (1959 248 km²) aún conserva la superficie forestal (CONAFOR, 2014; INEGI, 2016). En 2011, la superficie forestal era de 693 285 km², distribuidos en bosques de coníferas y encinos que representaban el 16.6%, la selva seca el 11.9% y la selva húmeda el 4.7%. El grupo vegetal que ocupó la mayor superficie del país es el matorral (29.6%), y el restante 37.2% era ocupado por pastizales y otros tipos de vegetación (figura 1). En suma, las formaciones vegetales con proporciones mayores conforman más del 70% de la superficie forestal (INEGI, 2016).



FUENTE: elaboración propia con datos del INEGI (2014).

¹ En la versión de 2007 de la Agenda para el Desarrollo (Calva, 2007), Masera *et al.* describieron en el volumen 14, el efecto de la degradación ambiental y los efectos del cambio climático en el sector forestal mexicano; así también describieron las alternativas de mitigación de carbono que se pueden desarrollar desde los bosques, mismas que mediante un manejo forestal se convierten además en instrumentos de desarrollo social y pueden inducir en la calidad de vida de forma positiva. En ese momento histórico los acuerdos internacionales en materia del clima y el conocimiento científico, planteaban escenarios donde los bosques podían capturar enormes cantidades de carbono a la vez que eran grandes emisores por lo que imperaba detonar proyectos forestales. En el caso de bosques mexicanos, se utilizó información para referir el potencial de mitigación mexicano a partir de publicaciones científicas cuyos datos no estaban validados en campo. Ahora en este manuscrito, las cantidades que refieren a la situación del carbono forestal de México, provienen de los esfuerzos de instituciones nacionales y de publicaciones científicas realizadas a partir de información verificada en campo; el propósito es brindar al lector información de utilidad y contextualizada a nivel país.

Cada uno de los tipos de vegetación descritos en la figura 1 presenta una condición secundaria, es decir, a partir de ellas se puede implementar alguna acción de mitigación de las descritas en la sección 2 y de este modo promover un mejor balance de carbono. Por ejemplo, el potencial de captura de carbono de la parte aérea de la selva húmeda, se establece desde la fase secundaria (19.7 tC/ha), la cual tiene capacidad de fijar carbono si se recupera su condición primaria (40.4 tC/ha), es decir, puede incrementar adicionalmente 20 tC/ha. Debido a que la recuperación natural depende en gran medida de diversos factores, mediante intervenciones antropogénicas, se puede en este ejemplo instrumentar proyectos ambientales para aumentar la eficiencia de fijación del bióxido de carbono y aumentar el almacén forestal de carbono por medio de la reforestación o de las plantaciones dedicadas. En el cuadro 3 se muestran los otros tipos de vegetación en fase secundaria, mismos que pueden aumentar la cantidad de carbono en los diferentes almacenes del bosque al alcanzar la condición similar a la primaria. De manera ilustrativa, la suma de la vegetación secundaria es de 90.4 tC/ha en la biomasa aérea, lo que genera un potencial 63.7 tC/ha que podrían acumularse en los diferentes almacenes forestales.

CUADRO 3
CONTENIDO DE CARBONO EN DIFERENTES TIPOS DE VEGETACIÓN
SECUNDARIA DE MÉXICO

<i>Tipo de vegetación secundaria</i>	<i>Carbono en parte aérea (tC/ha)</i>	<i>Carbono en parte subterránea</i>
Bosque de coníferas	22.10	5.40
Bosque de encino	14.70	4.00
Bosque húmedo de montaña	18.10	4.70
Selva seca	12.60	3.10
Selva húmeda	19.70	4.80
Matorral xerófilo	3.20	0.80
Total	90.40	22.80

FUENTE: elaboración propia con datos de la SEMARNAT-CONAFOR (2014).

La superficie en condición secundaria a nivel nacional, de acuerdo al INEGI (2013), suma 21 millones de hectáreas, mismas que contienen 262 MtC. Si en la misma superficie se desarrollaran proyectos forestales que promovieran una condición de la vegetación similar a la primaria, la cantidad de carbono fijado casi se duplicaría, es decir, el almacén de carbono

aéreo sería aproximadamente de 411.5 MtC. A esta superficie habría que añadir los terrenos con vocación forestal que actualmente se encuentran sin vegetación, mismos que mediante reforestación y restauración ecológica incrementarían el almacén de carbono nacional.

En otro estudio acerca de los flujos de carbono a nivel nacional realizado por Murray-Tortarolo *et al.* (2016), se refuerza el potencial de fijación de bióxido de carbono que los bosques proveen anualmente. Los resultados del estudio muestran un potencial anual de 2 134 TgC por año para el periodo 2000 a 2005. Destaca de forma singular la capacidad de captura de carbono de los bosques tropicales mexicanos (cuadro 4). La ganancia de carbono se debe principalmente al crecimiento natural y al efecto de regeneración natural que ocurre tras los disturbios forestales (Gao *et al.*, 2015).

CUADRO 4
FIJACIÓN DE CARBONO ANUAL (2000 A 2005) POR GRANDES TIPOS
DE VEGETACIÓN DE MÉXICO

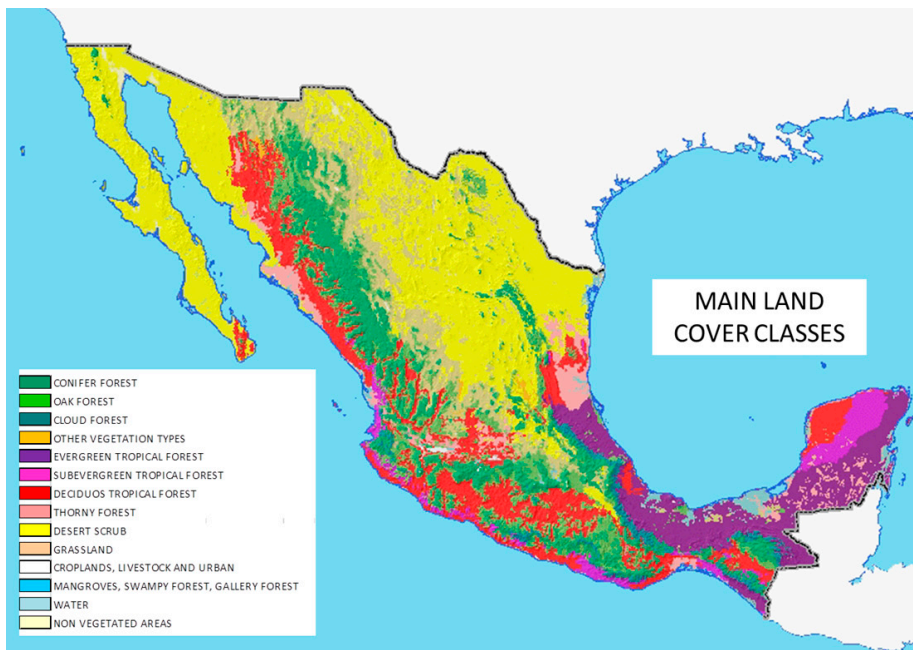
Tipo de cobertura	Promedio	Área	Total
	(kgC m ⁻² año ⁻¹)	(10 ⁹ m ²)	(TgC año ⁻¹)
Bosque perennifolio	2.2 ± 0.23	257	553 ± 264
Bosque caducifolio	1.2 ± 0.16	438	519 ± 356
Bosque de coníferas	1.4 ± 0.31	92	134 ± 34
Pastizales/ matorrales	0.6 ± 0.12	747	420 ± 260
Cultivos	1.2 ± 0.09	423	508 ± 210
Total		1,957	2,134 ± 1,023

FUENTE: Murray-Tortarolo *et al.* (2016).

Las zonas desprovistas de vegetación, de acuerdo al Inventario Nacional Forestal y de Suelos es de 1.56% (CONAFOR, 2012). Esta condición abre la oportunidad de implementar proyectos de mitigación de carbono mediante la reforestación para acelerar la recuperación de la cobertura, así de este modo, contribuir positivamente en el balance del carbono y abrir la participación de proyectos de mitigación bajo el mecanismo REDD+ o MDL de la CMNUCCC. Las zonas geográficas que destacan para la forestación son aquellas donde la vegetación tropical se distribuye, principalmente la parte centro y sur del país (figura 2); esa parte del territorio conjunta, además de las regiones de mayor pobreza y también donde están ocurriendo las

tasas más altas de cambio de uso de suelo (INEGI, 2014). Existen otro tipo de situaciones socioeconómicas insertas en esa parte del territorio que determinan las tendencias del manejo forestal, como es la emigración, la cual debe considerarse parte del problema que afecta el balance del carbono (García Barrios *et al.*, 2009).

FIGURA 2
TIPOS DE VEGETACIÓN A PARTIR DE LA CARTA DE USO
DE SUELO Y VEGETACIÓN SERIE V



FUENTE: INEGI (2013).

Existen otros factores de naturaleza humana que de manera directa o indirecta determinan la liberación o fijación del carbono en los reservorios forestales. Tal es el caso de los incendios y las plagas forestales. Respecto al rubro de incendios, la CONAFOR reportó que en el año 2015 la superficie impactada a nivel nacional fue de 88 538.14 ha. Fueron 3 809 eventos que provocaron la liberación del carbono fijado previamente en la vegetación. Respecto a las plagas y enfermedades forestales, esta comisión señaló que 101 651 ha fueron afectadas en 2014, ocasionando degradación forestal (INEGI, 2013). Este tipo de afectaciones, también disminuyen las reservas de carbono de los bosques. Al final, este tipo de problemáticas deben conformar los escenarios de mitigación de carbono forestal bajo el marco de las

emisiones evitadas de la estrategia REDD+ e incluidas al manejo forestal sustentable.

EXPERIENCIAS DE MITIGACIÓN DE CARBONO POR ACTIVIDADES FORESTALES

Tras la firma y ratificación del Protocolo de Kioto en 2005, el gobierno de México asumió su responsabilidad de mitigación del cambio climático y buscó ayuda internacional para alcanzar metas cuantificables de reducción de emisiones de GEI. A partir de la elaboración de los inventarios nacionales de emisiones, en el país se pudo conocer por sector el nivel de emisiones antropogénicas y, con ello, desarrollar los marcos políticos para establecer estrategias de mitigación y adaptación al cambio climático y, de este modo, apearse a los esquemas de desarrollo limpio que la comunidad internacional a través del IPCC aprobó como forma de colaboración y de responsabilidad ante el clima.

El caso del sector forestal (Uso de Suelo, Cambio de Uso de Suelo y Silvicultura —USCUSS— o Agricultura, Forestería y Otros Usos de Suelo —AFOLU—), desde los primeros inventarios, ha atraído la atención nacional e internacional en materia de GEI, porque se ha mantenido, bajo las directrices IPCC para la elaboración de inventarios, como un importante emisor de carbono, que lo coloca como el segundo en importancia detrás del sector energético (cuadro 5). Cabe señalar que con el uso de fuentes más fiables de información y de tecnología sofisticada, los resultados muestran una tendencia de emisiones desde el sector que apuntan hacia la disminución.

Debido al papel y a la importancia que tiene como sumidero de carbono, en el sector forestal se han propuesto diferentes opciones de mitigación de las que se teorizó acerca del potencial y las alternativas, además de los beneficios que se obtienen tras la implementación de las opciones, mismas que volvemos a mencionar: *a*) incremento de los stock de carbono; *b*) reemplazo de productos a base de hidrocarburos por productos de biomasa; *c*) emisiones evitadas, y *d*) sustitución de energía derivada de hidrocarburos por bioenergía.

En México, durante la pasada década, las opciones de mitigación señaladas para el sector forestal se enfrentaron a una serie de barreras que han limitado su operatividad. Barreras de tipo institucional, de mercado y sociales principalmente; del tipo institucional se puede referir al poco éxito del programa de captura de carbono, biodiversidad y servicios ambientales (CABSA), impulsado por la CONAFOR durante el periodo 2004-2006,

CUADRO 5
EMISIONES ANUALES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO DEL SECTOR USCUSS
DE MÉXICO, CALCULADOS CON LAS DIRECTRICES IPCC PARA LA ELABORACIÓN
DE INVENTARIOS. AÑO BASE 1990

Año	Comunicación nacional					Informe bianual (BUR)
	(Gg CO ₂ e)					
	1 ^a	2 ^a	3 ^a	4 ^a	5 ^a	
1990	111,784					
1994-1998		157,303				
1993-2002			89,854			
1990-2006				80,163		
1990-2010					78,872	
1990-2015						30,625

FUENTE: SEMARNAT (2013) e INECC (2017).

en el cual las barreras que no se pudieron superar fueron: el diseño de los proyectos de forestación y reforestación, específicamente la adicionalidad del proyecto, y la cantidad de carbono mitigado que los proyectos debían demostrar al final de los primeros cinco años de financiamiento (88 000 tCO₂e). Otra barrera institucional fue la falta de alineamiento de las políticas sobre la gestión ambiental, las cuales en varios casos era contraria entre las dependencias del gobierno federal o estatal.

Respecto a las barreras de índole económica, las opciones forestales de mitigación del carbono se enfrentaron a una falta de mercado nacional en el cual pudieran comerciar las emisiones y absorciones; en el terreno internacional los proyectos forestales bajo la etiqueta de MDL fueron muy pocos los que lograron obtener bonos de carbono en el mercado voluntario que es alternativo al regulado por la CMNUCCC. En México se han desarrollado cuatro proyectos forestales que buscaron ser aprobados en el mercado voluntario de bonos de carbono: Proyecto Scolel-Té, Proyecto Sierra Gorda, SAO Oaxaca y Reserva de la Biosfera Los Tuxtlas. Las barreras que se pueden señalar en el mercado de la mitigación del clima son: los altos costos iniciales del proyecto y el tiempo de espera para que los árboles capturen carbono en cantidades comerciales (Díaz *et al.*, 2011).

Las barreras sociales de la mitigación de carbono por proyectos forestales están estrechamente relacionadas con las barreras económicas. Los antecedentes de esta situación destacan la ausencia de proyectos ejecutados por pequeños propietarios de bosques, los cuales han elegido proyectos de

aprovechamiento forestal maderable sobre los proyectos de conservación y fijación de carbono. De acuerdo a Wells *et al.* (2017), las barreras en proyectos pequeños de mitigación son complejos en su diseño comparados con los proyectos de aprovechamiento y costosos desde su diseño, y continúan durante el monitoreo y la verificación, lo que reduce las ganancias para los dueños y deja de ser rentable.

El conjunto de barreras brinda el panorama donde cada una de las opciones de mitigación de carbono enfrentó obstáculos para el manejo integrado, los recursos forestales y del territorio boscoso. En un esfuerzo que incorpora una visión integral de las opciones de mitigación de carbono en varios sectores actualmente emisores, todas las alternativas que se pueden desarrollar en el bosque fueron incluidas en el estudio MEDEC (Banco Mundial, 2009).

En el escenario MEDEC se muestra una división en términos de las acciones que evitan emisiones y otras que promueven la fijación de ellas. Las opciones que evitan emisiones incluyen el manejo forestal y la producción de energía a partir de biomasa, logrando un intervalo de reducción de emisiones de 7.8 a 35.1 MtCO₂e anuales. Las opciones que fijan carbono refieren al crecimiento de los árboles, en el cual el intervalo de reducción de emisiones se acota de 13.8 a 22.4 MtCO₂e por año. Es la generación de energía con biomasa la opción teórica de reducción de emisiones más alta y forma parte del conjunto para evitar emisiones.

En la actualidad es la generación de energía a partir de biomasa la opción forestal de mitigación que más se ha impulsado en México a partir del estudio MEDEC. Esta opción de sustitución de fuente de materia prima de energía, propone utilizar los residuos del aprovechamiento forestal sustentable. El estudio señala que sólo el 30% de la producción forestal se vende como madera en rollo y el resto de la biomasa puede ser dispuesta con fines energéticos. En este escenario se plantea aumentar la eficiencia energética al acompañar la iniciativa con la construcción de doscientas centrales eléctricas de pequeña capacidad (25MW) cercanas a los bosques. Otras dos opciones energéticas son la co-combustión eléctrica y la producción de carbón vegetal, las cuales se suman al potencial de mitigación de CO₂ (Banco Mundial, 2009).

Expectativas de mitigación de emisiones de carbono por bioenergía

De acuerdo con las cifras nacionales, la producción nacional maderable se estimó en 5.6 millones de m³ en rollo (INEGI, 2016), a lo que deben aunar más de 30 millones de m³ que se utilizan como combustible, ya sea en forma de leña o carbón vegetal. Existe así un alto uso de biomasa sólida para la

producción de energía. La biomasa forestal para la producción de bioenergía puede provenir de: *a*) la madera proveniente del manejo forestal sustentable; *b*) la biomasa proveniente de residuos forestales primarios y de las industrias forestales, y *c*) la madera de las plantaciones energéticas. De manera similar, la biomasa para biocombustibles se puede clasificar en sólidos de primera generación (leña, carbón vegetal, bagazo y pellets) y de segunda generación: Biochar, torrefactos y pellets (REMBIO, 2011). A partir de la fermentación de la biomasa de la madera, se pueden obtener también biocombustibles líquidos como alcoholes de segunda generación, sólo que esta línea aún enfrenta grandes retos tecnológicos.

En la actualidad, los biocombustibles sólidos en México participan con el 10% del consumo energético final. Sin embargo, y de acuerdo a García y Masera (2016), la participación de la bioenergía puede llegar a representar en el futuro el 38% de la energía primaria producida en 2012. Por ejemplo las emisiones de los diferentes sectores que conforman el sistema energético fueron para 2013 de 521 808 GgCO₂e (INECC-SEMARNAT, 2015). Entonces el escenario con el 38% de sustitución de los hidrocarburos de petróleo por bioenergía señala que hipotéticamente se dejarían de emitir 198 287.0 GgCO₂e, incluso el aporte del carbono en el suelo forestal puede llevar esta actividad a emisiones netas negativas (o sea, captura neta de carbono) en ciertas circunstancias.

CONCLUSIONES

México se comprometió internacionalmente a reducir —en el mediano plazo— las emisiones de gases de efecto invernadero para evitar mayores alteraciones al clima y al cambio climático global durante la vigencia del Protocolo de Kioto. Actualmente aceptó los acuerdos de París en materia de mitigación. Por lo tanto, requiere de estrategias de desarrollo con bajas emisiones, junto con la conservación de los recursos naturales y el desarrollo social; esta postura significa buscar sinergias entre el gobierno federal, estatal y la sociedad en su conjunto.

Sin duda, el conjunto de acciones de mitigación requiere de la participación colectiva que incluya desde los agentes económicos hasta la población en general; ya que la solución de los problemas ambientales demanda, no solamente transformaciones técnicas, sino también cambios en los patrones culturales y sociales, relativos a las formas de producción y de consumo, así como a las mismas iniciativas de participación social. Además, es importante señalar que correctamente diseñados e implementados, la sociedad se beneficia con la implementación de este tipo de proyectos, porque promue-

ven la participación y fortalecimiento social, y la generación de información.

El manejo forestal tiene un papel clave en la mitigación del calentamiento global, porque está estrechamente ligado a la reducción de los gases de efecto invernadero asociados a las actividades humanas. Las opciones de mitigación de carbono mediante el desarrollo de proyectos forestales genera enormes reducciones de emisiones, y bien diseñados producen externalidades positivas como los beneficios ambientales de conservación de la riqueza y biodiversidad natural. Para alcanzar el objetivo de mitigación, los proyectos dependen del apoyo y financiamiento público y del desarrollo del mercado para el comercio de las emisiones y de los productos forestales.

El alineamiento político para el diseño de estrategias de mitigación y adaptación al cambio climático desde el sector forestal, debe promover sinergias entre el aprovechamiento, conservación y/o restauración de recursos naturales (manejo sustentable de bosques, creación de áreas naturales protegidas, programas de reforestación, impulso de plantaciones y sustitución de energía, entre otras), comprendidas dentro de una visión de manejo integrado de recursos como lo propone el esquema REDD+.

El diseño de programas e instrumentos de política deben de forma integral solucionar los problemas sociales y económicos, junto con los ambientales para mitigar simultáneamente los efectos del cambio climático y favorecer el tránsito hacia el desarrollo sustentable de todas las escalas. Esta propuesta se desprende al reconocer que una buena parte de los bosques y selvas de México son de propiedad comunal o ejidal, y constituyen el patrimonio principal de aproximadamente 12 millones de mexicanos, muchos de ellos en condiciones de extrema pobreza y marginación.

De alcanzar estas acciones, México podría lograr que sus ecosistemas forestales pasaran de ser una fuente neta a un reservorio neto de carbono, y así convertir en meta primordial la reducción significativa de las emisiones futuras de gases de efecto invernadero. Sin embargo, para que este potencial realmente se realice, es muy importante que las diferentes acciones cuenten con el correspondiente soporte y programas políticos liderados por el gobierno federal y estatal, así como de apoyos financieros nacionales e internacionales.

En el diseño e implementación de los proyectos de mitigación es necesario aprender de las experiencias, para no perder de vista los objetivos ambientales. Debe prevalecer en todo el proceso de los proyectos, una cuota de carbono positiva que lo justifique como una opción de mitigación. Falta de normas o estándares flexibles para la aprobación de proyectos de mitigación forestales.

Además, los proyectos deben ser desarrollados bajo un manejo integrado del territorio y desde las bases del desarrollo sustentable. La alineación de marcos políticos favorecerá la superación de las barreras hasta ahora detectadas y el fomento del manejo integrado del territorio donde se desarrollan los proyectos.

En síntesis

- El sector forestal mexicano tiene un rol importante, tanto en almacenamiento como en potencial de mitigación de los gases de efecto invernadero.
- Las opciones forestales de mitigación bien implementadas pueden fortalecer el proceso de desarrollo rural sustentable del país.
- Las opciones de mitigación forestal deben ampliarse para incorporar al sector agrícola como un componente importante, mismo que puede participar por medio de la labranza de conservación, irrigación más labranza de conservación y agroforestería, entre otras.
- La incorporación de las opciones bioenergéticas generan expectativas positivas para la mitigación del carbono; sin embargo, es necesario detonar el resto de actividades de mitigación forestal.
- Las opciones de captura de carbono en proyectos forestales deben ser un complemento a las estrategias de reducción de emisiones en el sector de energía.

BIBLIOGRAFÍA

- Baccini, A., W. Walker, L. Carvalho, M. Farina, D. Sulla-Menashe, R. A. Houghton (2017), "Tropical forests are a net carbon source based on aboveground measurements of gain and loss", *Science*, 358, pp. 230-234.
- Banco Mundial (2009), *México, Estudio sobre la disminución de emisiones de carbono (MEDEC)*, Colombia, Mayol Ediciones.
- Calva, J.L. (ed.) (2007), *Agenda para el Desarrollo*, volumen 14, México, Miguel Ángel Porrúa.
- Canadell, J., M. Raupach (2008), "Managing forest for climate change mitigation", *Science*, 5882, pp. 1456-1457.
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) (2012), "Inventario Nacional Forestal y de Suelos", *Manual y procedimientos para el remuestreo de campo*, 136, CONAFOR, Jalisco, Mexico.
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) (2014), "Programa Nacional Forestal", CONAFOR, México.

- Conference of the Parties (COP13) (2007), *The Thirteenth Conference of the Parties*, Bali, Indonesia, UNFCCC.
- Díaz, D., K. Hamilton, E. Johnson (2011), *State of the forest carbon markets 2011, from the canopy to currency*, Forests Trends, Washington, D.C.
- Faggin, J. M., J. H. Behagel (2017), “Translating Sustainable Forest Management from the global to the domestic sphere, The case of Brazil”, *Forest Policy and Economics*, 85, pp. 22-31.
- FAO (2016), “Evaluación de los recursos forestales mundiales 2015”, *¿Cómo están cambiando los bosques del mundo?*, segunda edición, Roma, FAO.
- García-Barrios, L., Y.M. Galván-Miyoshi, I.A.Valdivieso-Pérez, O. Masera, G. Bocco, J. Vandermeer (2009), “Neotropical forest conservation, agricultural intensification and rural outmigration, the Mexican experience”, *Bioscience* 59, 10, pp. 863-873.
- García, C.B., O. Masera (2016), “Estado del arte de la bioenergía en México”, *Red Temática de Bioenergía del Conacyt*, México.
- Gao, Y.A. Ghilardi, J. Paneque-Galvez, M. Skutsch and J.F. Mas. (2015), “Validation of MODIS Vegetation Continuous Fields for monitoring deforestation and forest degradation, two cases in Mexico”, *Geocarto International*, pp. 1-13.
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) (2017), “Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero, 2015”, (*Taller de presentación de resultados preliminares del INEGyCEI*), México.
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) y Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) (2015), *Primer informe bienal de actualización ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*, México, INECC/SEMARNAT.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2013), Carta de uso de suelo y vegetación Serie V, escala 1:250 000, México, INEGI.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2016), *Cuéntame*, disponible en <<http://cuentame.inegi.org.mx/territorio/vegetacion/default.aspx?tema=T>>.
- Intergovernmental Panel on Climatic Change (IPCC) (1995), “Climate Change 1995”, *The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Intergovernmental Panel on Climatic Change (IPCC) (2003), *Land use, land-use change and forestry*, Cambridge, UK, Cambridge University Press.
- Intergovernmental Panel on Climatic Change (IPCC) (2007), *Climate Change 2007, Synthesis Report, IPCC Fourth Assessment Report (AR4)*, Ginebra, Suiza, IPCC.

- Keenan, R., G. Reams, F. Achard, J. Freitas, A. Grainer, E. Linquist (2015), “Dynamics of global forest area, Results from the FAO Global Forest Resources Assessment 2015”, *Forst Ecology and Management*, 352, pp. 9-20.
- Masera, O., M.J. Ordóñez, and R. Dirzo (1997), “Carbon emissions from Mexican Forests, Current Situation and Long-term Scenarios”, *Climatic Change* 35, pp. 265-295.
- Murray-Tortarolo, G., P. Friedlingstein, S. Sitch, V.J. Jaramillo, F. Murguía-Flores, A. Anav, Y. Liu, A. Arneeth, A. Arvanitis, A. Harper, A. Jain, E. Kato, C. Koven, B. Poulter, B.D. Stocker, A. Wilshire, S. Zaehle, N. Zen, (2016), “The carbon cycle in Mexico, past, present and future of C stocks and fluxes”, *Biogeosciences*, 13, pp. 223-238.
- Secretaría de Medioambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) (2013), *Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 1990-2010*, México.
- Secretaría de Medioambiente y Recursos Naturales–Comisión Nacional Forestal (SEMARNAT-CONAFOR) (2014), *Propuesta del nivel de referencia de las emisiones forestales de México*, México, CONAFOR.
- Red Mexicana de Bioenergía, A.C. (REMBIO) (2011), “La bioenergía en México situación actual y perspectivas”, *Cuaderno Temático 4*, México, REMBIO.
- Wells, G., J. Fisher, I. Porras, S. Staddon, C. Ryan (2017), “Rethinking monitoring in smallholder carbon payments for ecosystem services schemes, Devolve monitoring, understand accuracy and identify co-benefits”, *Ecological Economics*, 139, pp. 115-127.

