

# Cómo entender el manejo forestal, la captura de carbono y el pago de servicios ambientales

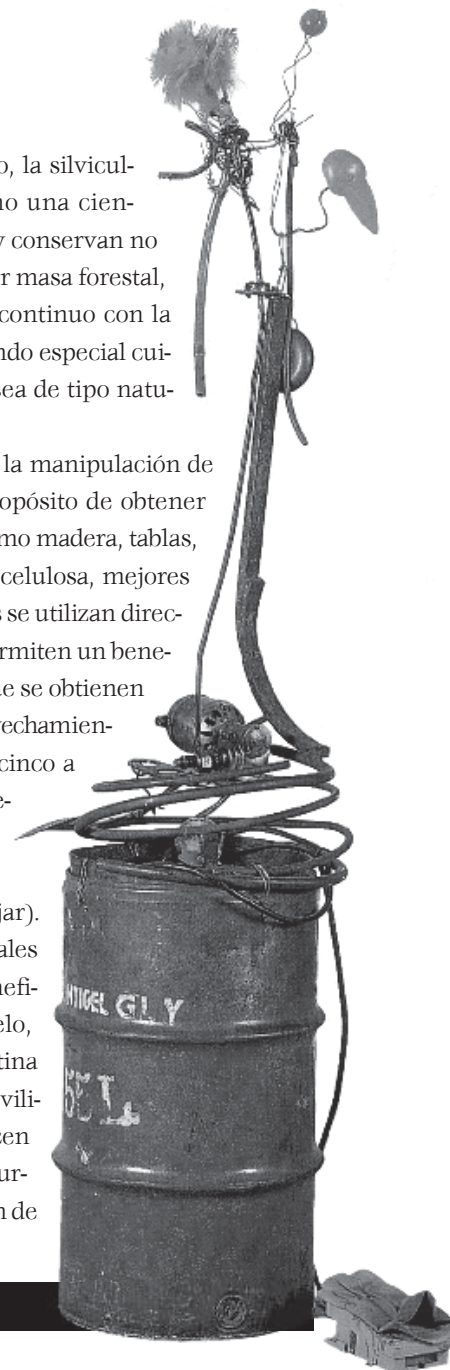
Uno de los problemas ambientales más severos al que nos enfrentamos en el presente siglo es el cambio climático, el cual se debe al incremento en las emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero, como dióxido de carbono, clorofluorocarbonados, óxidos de nitrógeno y metano, que se derivan de actividades tales como el uso de combustibles fósiles para la producción de energía y transporte, los procesos derivados del cambio en el uso de suelo, deforestación, incendios forestales y producción de cemento, entre las principales.

La preocupación mundial por mitigar el efecto de dichos gases ha dado lugar a una política internacional dirigida a entender los procesos de generación y absorción de ellos. Esto ha permitido reconocer la importancia de los ecosistemas terrestres y, en particular, el papel que tiene la vegetación para captar el dióxido de carbono atmosférico por medio de la fotosíntesis, para incorporarlo a las estructuras vegetales y, de esta forma, reducir la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera, mitigando, en el largo plazo, el cambio climático. De ahí se desprende la importancia de entender el manejo forestal, el concepto de captura de carbono y el asumir la responsabilidad de nuestras emisiones mediante el pago de servicios ambientales.

La palabra silvicultura significa "cultivo del bosque" y es el arte de producir y manejar un bosque por medio de la aplicación de la biología y las interacciones ecológicas de la especie o especies en cuestión de manera continua, con el fin de obtener de la corta de árboles utilidades sosteni-

das y otros beneficios. Por ello, la silvicultura es hoy considerada como una ciencia mediante la cual se crean y conservan no sólo los bosques, sino cualquier masa forestal, aprovechándola de un modo continuo con la mayor utilidad posible y teniendo especial cuidado en su regeneración, ya sea de tipo natural o artificial.

El manejo forestal implica la manipulación de las masas forestales con el propósito de obtener una serie de productos tales como madera, tablas, pilotes, morillos, leña, resina, celulosa, mejores semillas, entre otros, los cuales se utilizan directamente o se transforman y permiten un beneficio mediano (los productos que se obtienen son a largo plazo, ya que el aprovechamiento de los árboles va desde los cinco a los sesenta años, por ello es necesario tomar en cuenta el ciclo de vida de la especie o especies que se pretenda manejar). Aunado a esto, las masas forestales también nos ofrecen otros beneficios, como protección del suelo, regulación microclimática, cortina de vientos, mitigación de la movilidad en sustratos arenosos, hacen la función de pulmón en áreas urbanas, permiten la conservación de



José Antonio Benjamín Ordóñez Díaz



la biodiversidad y la captación y almacenamiento de agua, además de la fijación o captación de carbono.

En nuestro país existen diferentes métodos de manejo forestal, que se adecuan a condiciones diferenciales como edad, composición, estructura, ubicación y pendiente —entre las principales variables—, y están enfocados a cubrir ciertos objetivos que demandan dichas variables, en conjunto con las demandas de los propietarios, por lo que son un claro ejemplo de la integración de intereses (ver cuadro en esta página).

### El carbono y su captura

La fijación de carbono por bacterias y animales, es otra manera de disminuir la cantidad de bióxido (o dióxido) de carbono disponible, aunque cuantitativamente menos importante que la fijación de carbono que realizan las plantas y el intercambio gaseoso de los océanos.

## Métodos de manejo forestal usados en México

**Método mexicano de ordenación de bosques irregulares (MMOBI).** Permite el aprovechamiento en un bosque irregular con poblaciones y rodales incoetáneos, es decir, una composición de árboles de diferentes edades y en algunos casos también de especies. Algunos de sus objetivos son mantener la productividad del bosque sin alteraciones, esto es, al final del ciclo de corta se recupera la existencia real inicial; regular la densidad, distribución y composición; crear las condiciones favorables para la regeneración natural, y mantener la condición de irregularidad y sanidad en los rodales bajo manejo.

**Método de desarrollo silvícola (MDS).** Logra el establecimiento de un bosque regular, el cual debe estar formado por un conjunto de poblaciones o rodales coetáneos, es decir, de árboles con edades uniformes, preferentemente de un mismo género. Sus objetivos son captar al máximo el potencial productivo del suelo (conocido también como calidad de sitio), con el uso de técnicas silvícolas apropiadas a las condiciones del bosque, y lograr un rendimiento sostenido en cada intervención programada, esto es, obtener igual volumen y distribución de productos al conseguir un bosque regular.

**Sistema de cortas sucesivas de protección (Sicosup).** Este sistema silvícola consiste básicamente en la aplicación regulada de las siguientes tres cortas periódicas de regeneración en el área que se designe para regenerar la masa forestal: semillación, secundaria y liberación. Los intervalos entre cada una de ellas pueden ser de cuatro a diez años, ya sea en rodales completos o en franjas continuas o alternas, donde se pretende establecer la regeneración en forma paulatina bajo la protección de un cierto número de árboles semilleros. En el resto del bosque se aplican cortas intermedias que pueden ser aclareo, corta de rescate o corta de saneamiento.

**Sistema silvícola de selección (Sisise).** Con la aplicación de este método se pretende conservar la irregularidad del bosque donde ya existe —o se trata de conseguir— una estructura regular incoetánea balanceada. Sus objetivos son lograr la normalidad de un bosque irregular, que consiste en una estructura compensada en términos de los diámetros y, con la composición volumétrica anterior y sus incrementos, propiciar en forma constante y sostenida el rendimiento más favorable.

**Sistema silvícola de cortas a matarrasa (Sicomat).** Consiste en la remoción, en una sola corta, de aquellas masas que van llegando a su madurez o final del turno; por lo que la regeneración natural se logrará a partir de semillas dejadas en el suelo y de los árboles en pie adyacentes al área de corta; también se puede hacer la regeneración artificial por medio de siembras o plantaciones. Con la aplicación del sistema de cortas a matarrasa se tiene previsto establecer un bosque regular; su objetivo es lograr la remoción del bosque en forma gradual, induciendo la regeneración natural o haciendo plantaciones para llegar a formar un bosque regular.





Dentro del contexto forestal, una vez que el dióxido de carbono atmosférico es incorporado mediante la fotosíntesis a los procesos metabólicos de la vegetación (*e.g.*, cubierta vegetal, masa forestal, sistema agroforestal, cultivo, plantación, entre los principales), este dióxido de carbono participa en la composición de todas las estructuras necesarias para que una planta pueda desarrollarse, ya que, por ejemplo, el árbol al crecer va incrementando su follaje, sus ramas, flores, frutos, yemas de crecimiento, así como la altura y el grosor de su tronco (que en su conjunto conforman la copa). La copa necesita espacio para recibir energía solar sobre las hojas, lo que da lugar a una competencia entre las copas de los árboles por la energía solar, originando a su vez un dosel cerrado. Los componentes de la copa aportan materia orgánica al suelo (como la capa de hojas que reciben el nombre de mantillo), misma que al degradarse se incorpora paulatinamente y da origen al humus estable, que a su vez aporta nuevamente dióxido de carbono al entorno y da continuidad a otros procesos conocidos con el nombre de ciclos biogeoquímicos.

Simultáneamente, los troncos, al ir incrementando su diámetro y altura, alcanzarán un tamaño adecuado para su aprovechamiento comercial; se extraen productos como tablas,

tablones y polines, que darán origen a subproductos elaborados como muebles y casas. Estos productos finales tienen un tiempo de vida determinado después del cual se degradan, aportando dióxido de carbono al suelo o la atmósfera.

Finalmente, durante el tiempo en que el carbono se encuentra constituyendo alguna estructura del árbol y hasta que es nuevamente remitido (ya sea al suelo o a la atmósfera), se considera que se encuentra almacenado. En el momento de liberación (ya sea por la descomposición de la materia orgánica o la quema de la biomasa) el dióxido de carbono fluye para regresar al ciclo del carbono.

La estimación de la captura de carbono no es un tema simple, ya que presenta muchas variables que hacen este rubro un tanto difícil de estimar; concretamente se refiere a la cantidad de carbono fijado en la biomasa de organismos vivos que se gana año con año (es decir, su crecimiento). Los estudios consideran principalmente ecosistemas forestales y la información previa para la estimación de la captura de carbono es parte de un inventario forestal (el detalle del cálculo se presenta en el cuadro 1) expresado en metros cúbicos por hectárea y el incremento corriente anual expresado en metros cúbicos por hectárea al año (es decir crecimiento o ganancia de biomasa).

Una vez rodalizada la masa forestal y teniendo el inventario, se aplica la siguiente ecuación:	Una vez estimado el carbono almacenado por especie y por rodal, se suman los valores obtenidos de las especies contenidas en el rodal y el resultado es el carbono almacenado por rodal (CAR) que se expresa en tC/ha, a continuación, para saber cuánto carbono se encuentra almacenado en cada rodal, se procede a multiplicar la superficie del rodal por el CAR, y se obtiene tC (o megagramos de carbono, MgC) por rodal.	$PCC = I.C.A. * \delta * CC$
$CAER = E.R. * \delta * CC$	El potencial de captura de carbono, se estima a partir del incremento corriente anual por especie, estimado para cada hectárea de la muestra:	<p>Donde:</p> <p>PCC = potencial de captura de carbono en tC/ha/año</p> <p>I.C.A. = incremento corriente anual en m<sup>3</sup>/ha/año</p> <p><math>\delta</math> = densidad de la madera para cada especie expresada en t/m<sup>3</sup></p> <p>CC = contenido de carbono (valor por defecto IPCC, 2003) 0.45</p>
<p>Donde:</p> <p>CAER = carbono almacenado por especie y por rodal tC/ha</p> <p>E.R. = existencias reales en m<sup>3</sup>/ha</p> <p><math>\delta</math> = densidad de la madera para cada especie expresada en t/m<sup>3</sup></p> <p>CC = contenido de carbono (valor por defecto IPCC, 2003) 0.45</p>		

Cuadro 1. Estimación del contenido y captura de carbono partiendo del inventario de las existencias reales por especie y por rodal.

## Pago por servicios ambientales

Existe un mercado incipiente en el pago por los servicios ambientales y el precio por fijación de carbono es variable y dependerá de las oportunidades del mercado que riga la oferta y la demanda o de las estrategias gubernamentales que se han desarrollado para este fin (ver recuadro). El precio se paga por tonelada de carbono fijado por hectárea, y existen cuotas mínimas de fijación para el mercado establecido por los mecanismos de desarrollo limpio, así como un mercado voluntario donde incide el grueso de los posibles proyectos de carbono y donde muchas empresas emisoras y comunidades poseedoras de áreas con vegetación que pueden ofrecer el servicio ambiental necesitan de un

esquema regulatorio, con monitoreo, evaluación, certificación de la captura o fijación de carbono. Asimismo podrían, en el corto, mediano y largo plazo, tener una importante cartera de proyectos que retribuyan por este servicio ambiental.

## Breves conclusiones

El sector forestal en nuestro país, y a nivel internacional, es la segunda fuente de emisiones de gases de efecto invernadero (principalmente dióxido de carbono), debido a procesos como deforestación, tala ilegal, cambio en el uso de suelo e incendios forestales. Es por ello que el manejo forestal es una de las opciones más importantes para promo-

## Pago por el servicio ambiental de captura de carbono en México

El pago por servicios de captura de carbono para la mitigación del cambio climático se inicia en 2004 con el fin de pagar por la producción de bióxido de carbono equivalente adicional a lo largo de los cinco años del programa. La aprobación del pago para la ejecución del proyecto de servicios ambientales por captura de carbono deberá aplicarse a proyectos de pequeña escala y sujetarse a los siguientes criterios:

- 1) La formulación de proyectos deberá apegarse a los lineamientos, modalidades y procedimientos del Fondo Prototipo de Carbono del Banco Mundial o a los sancionados por la Conferencia de las Partes de la Conven-

ción Marco de Cambio Climático de Naciones Unidas, conforme a los términos de referencia que el Consejo Nacional Forestal dé a conocer en su página de la red.

- 2) Los proyectos deberán demostrar un potencial de captura anual adicional de entre 4 000 y 8 000 toneladas de dióxido de carbono equivalente o hasta 40 000 toneladas de captura distribuida en un periodo de cinco años.

- 3) La superficie de cada proyecto podrá integrar diferentes sistemas de producción forestal o agroforestal, incluyendo áreas de restauración o reforestación, a menos que éstos ya reciban algún pago del Gobierno Federal por la prestación de otro servicio ambiental.

- 4) Los pagos anuales se realizarán de acuerdo con los resultados del estudio de potencial de captura por arriba de la línea base presentados en el proyecto. Se harán cuatro pagos anuales equivalentes a 20% de la captura adicional total estimada en los cinco años, y un pago de finiquito que estará en función de la captura adicional verificada al final del quinto año. Cada pago deberá ser instruido por el comité. Al finalizar el periodo contratado en la carta de adhesión se realizará la verificación de captura de carbono total alcanzada en el periodo de cinco años, a

partir de la cual se realizará un ajuste final de los cuatro pagos realizados cada año, con la finalidad de balancear la correspondencia entre pagos realizados y existencias de carbono adicional con respecto a la línea base.

- 5) Las superficies bajo manejo para el aprovechamiento de recursos maderables en bosques, selvas, zonas áridas y semiáridas, podrán ser elegibles únicamente en sus áreas de aprovechamiento en estado de reposo durante al menos los próximos siete años, lo cual deberá demostrarse con el respectivo programa de manejo autorizado por la Semarnat.

- 6) El pago por tonelada se determinará en función del cumplimiento de criterios ambientales y sociales que además de constituirse en parámetros de calificación de solicitudes, ayudarán a determinar un precio base, el cual otorgará una valoración diferenciada que refleje las preferencias del mercado. Por cada punto acumulado con base en los conceptos para valoración diferenciada, se pagarán 1.19 pesos adicionales al precio base de 50 pesos por tonelada de dióxido de carbono equivalente, de tal manera que se pagará un mínimo de 50 y máximo de 100 pesos por tonelada de dióxido de carbono equivalente.



Fuente: *Diario Oficial de la Federación*, 24 de noviembre de 2004, segunda sección, Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales.

ver, por un lado, la mitigación de emisiones de dióxido de carbono y, por otro, el desarrollo forestal sustentable, por medio de la puesta en marcha del pago de servicios ambientales y del posible mercado que se genere a través de los mecanismos de desarrollo limpio. Es importante, por tanto, entender y definir claramente la relación que existe entre el manejo forestal, la captura de carbono y el pago por servicios ambientales.

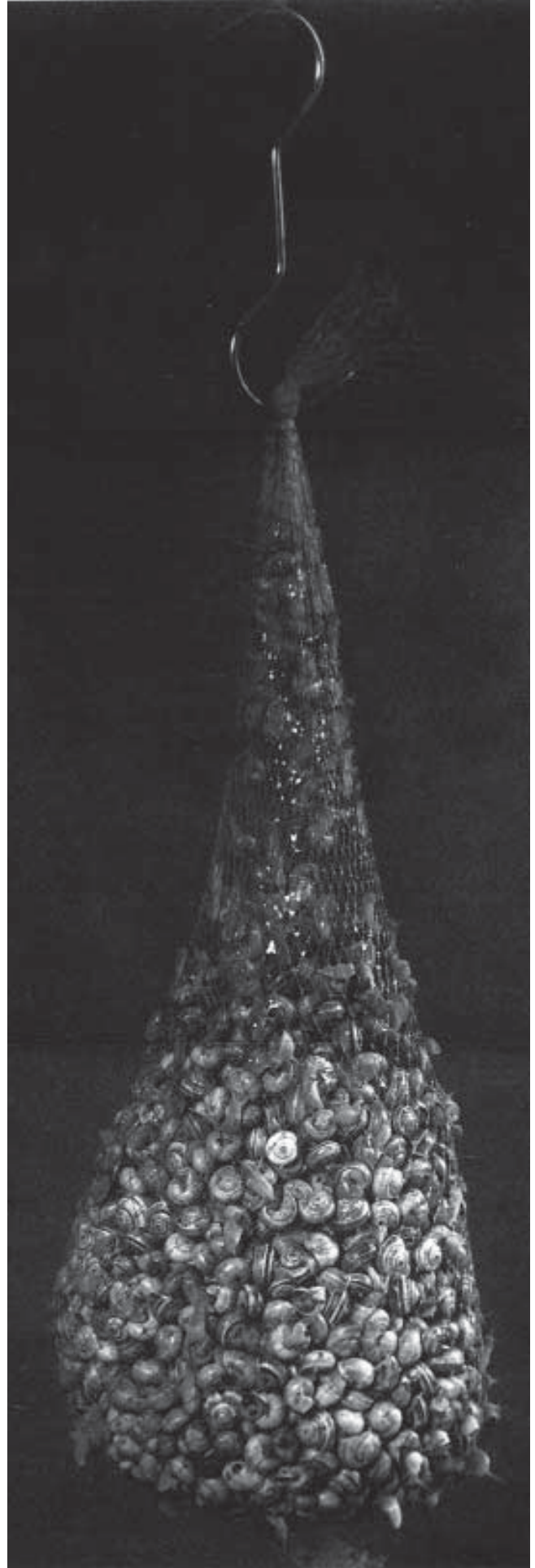
En la Conferencia Mundial de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y Desarrollo, efectuada en Río de Janeiro en 1992, se adoptó una declaración no formal que enfatiza la importancia de incorporar los costos y beneficios ambientales en los mecanismos de mercado con el fin de lograr una mejor aceptación para la conservación y el manejo sostenible de los recursos forestales en el ámbito local, nacional e internacional.

Además, los acuerdos hacen hincapié en que para disminuir los incrementos en los niveles de emisión de gases con efecto invernadero se puede descontar en los balances nacionales la captura que se genera por medio de proyectos forestales financiados en cualquier lugar. Con estos acuerdos se abrió la posibilidad de incluir costos y beneficios ecológicos en los sistemas de manejo de los recursos naturales (en especial los recursos forestales, dado que representan los más importantes servicios ecológicos, como son la captura de carbono y la conservación de biodiversidad, suelo y agua).

Esto a su vez abre la oportunidad de incluir los servicios ecológicos en los mecanismos de mercado. Para el sector forestal implicaría un aporte sustancial en la relación de costo-beneficio en las áreas de producción de materia prima. Es decir, se puede establecer un acuerdo entre una institución que tiene la obligación de reducir sus niveles netos de emisión de carbono y un productor o grupos de productores forestales para manejar sus recursos forestales con uno de los fines: la fijación de carbono o la captación de agua.

Dependiendo de los niveles de captura de carbono y el destino final del producto, se puede calcular, bajo diferentes escenarios de manejo, la cantidad total del carbono fijado en un tiempo definido.

Cabe señalar que los análisis económicos para evaluar los sistemas productivos sólo incluyen los precios de los productos cosechables —como árboles en el caso de sistemas forestales— y en general no incluyen el valor que representa el remanente después de la cosecha ni los valores ecológicos de los sistemas.



Afortunadamente, en México se ha puesto en marcha un acuerdo publicado en el *Diario Oficial de la Federación* el miércoles 24 de noviembre de 2004, en el que se establecen las reglas de operación para el otorgamiento de pagos del Programa para desarrollar el mercado de servicios ambientales por captura de carbono y los derivados de la biodiversidad, y para fomentar el establecimiento y mejoramiento de ecosistemas forestales y sistemas agroforestales. La finalidad es realizar una evaluación eficiente y objetiva de las solicitudes para la elaboración de estudios y la ejecución de proyectos de captura de carbono y reducción de emisiones. Por ello establece términos de referencia para la elaboración de proyectos de captura de carbono y reducción de emisiones —con nueve puntos a considerar—, así como los términos de referencia para la ejecución de tales proyectos —que contemplan once puntos para su evaluación.



Podemos concluir que el pago por el servicio ambiental de captura de carbono es el pago por un proceso fisiológico que ocurre en la vegetación, el cual se cuantifica por medio del crecimiento (incremento) de los árboles (principalmente) y el manejo forestal *per se*; este último implica la aplicación del conocimiento del ciclo biológico de la vegetación con el fin de tratar de aumentar la masa forestal en menor tiempo y extraer de ella productos, sin olvidar la diversidad del germoplasma.

Nuestro país ha dejado de lado el desarrollo forestal integral, siendo que tiene una gran aptitud forestal. Ahora tenemos tasas de deforestación que sobrepasan 800 000 hectáreas al año. La tala clandestina no es manejo forestal y da lugar al deterioro ambiental y la pérdida de los servicios ambientales, con un costo que no podemos pagar. 🌍

**José Antonio Benjamín Ordóñez Díaz**  
Programa Doctoral en Ciencias Biomédicas  
del Instituto de Ecología,  
Universidad Nacional Autónoma de México.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Burstein, J., G. Chapela, J. Aguilar y E. de León. 2002. *Informe sobre la propuesta de pago por servicios ambientales en México*.  
Carrillo, A. 2001. *Disponibilidad de pago por servicio ambiental que suministra el Cerro de Cacahuatique en la microcuenca del Río Guayabo, en la Provincia de Morazán*, El Salvador.  
Christensen Jr., N. y J. Frankling. 1997. "Ecosystem function and ecosystem management", en R. D. Simpson y N. Christensen Jr. (eds.). *Ecosystem function and human activities: reconciling economías and ecology*. International Thomson Publishing, Nueva York.  
Comisión Forestal de Michoacán (Cofom). 1998. *Modelo de promoción para la organización de unidades*

*socio-productoras de materias primas forestales*. Gobierno del Estado de Michoacán, Comisión Forestal, Dirección de Planeación y Desarrollo Forestal. Morelia, México. Pp. 1-43.

Constanza, R., R. Darge, R. Degroot, S. Farber, M. Grasso, B. Hannon, K. Limburg, S. Naeem, R.V. O'Neil, J. Paruelo, R.G. Raskin, P. Sutton y M. Vandenbelt. 1997. "The value of the world's ecosystem services and natural capital", en *Nature*, núm. 387, pp. 253-260.

Daily, G. C., et al. 1996. "Ecosystems services: Benefits supplied to human societies by natural ecosystems", en *Issues in Ecology*, núm. 2, pp. 1-16.

*Diario Oficial de la Federación*, miércoles 24 de noviembre de 2004, segunda sección, Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2003. *Good practice guidance for land use, land-use change and forestry*.

Fragoso, P. 2003. *Estimación del contenido y captura de carbono en biomasa aérea de las especies maderables del predio Cerro Grande, municipio de*

*Tancítaro, Michoacán*. Facultad de Agrobiología "Presidente Juárez". UMSNH. México.

Montoya, G., et al. 1995. *Desarrollo forestal sustentable: captura de carbono en las zonas Tzeltal y Tojolabal del Estado de Chiapas*. Instituto Nacional de Ecología, *Cuadernos de Trabajo*, núm. 4.

Scott, M. J., et al. 1998. *Valuation of ecological resources and functions*. *Environmental Management*, núm. 22 (1), pp. 49-68.

#### IMÁGENES

P. 36: Lola Álvarez Bravo, *Computadora I*, ca. 1954.  
P. 37: Jean Tinguely, *Homenaje a Nueva York*, 1960.  
P. 38: David Hammons, *Toiletries*, 1990; Arman, *Venus de las brochas de afeitador*, 1969. P. 39: Arman, *La vie a pleines dents*, 1960. P. 40: Duane Hanson, *Carrito de compras*, 1970. P. 41: Hannah Collins, *Sin título*, 1990. P. 42: Lola Álvarez Bravo, *El sueño de los pobres*, 1935.

**Palabras clave:** manejo forestal, captura de carbono, México, servicios ambientales

**Key words:** Forest management, carbon sequestration, Mexico, environmental services.

**Resumen:** Este ensayo describe los diferentes métodos de manejo forestal usados en México y define los conceptos de contenido y captura de carbono. Dichos temas han cobrado especial relevancia tras el reconocimiento mundial del cambio climático y la valoración de los servicios ambientales que nos proveen los ecosistemas forestales.

**Abstract:** This essay discusses the different forest management methods used in Mexico, defining the concept of carbon content and sequestration, topics that have acquired special relevance with the global recognition of climatic change and the appreciation of the environmental services that forest ecosystems provide.

José Antonio Benjamín Ordóñez Díaz es biólogo, candidato a doctor en Ciencias Biomédicas por la UNAM. Es director adjunto del programa de cambio climático en Pronatura (México), consultor internacional, experto en el tema de cambio climático, captura de carbono, servicios ambientales y manejo de recursos naturales.

Recibido el 8 de febrero de 2005, aceptado el 22 de febrero de 2007.