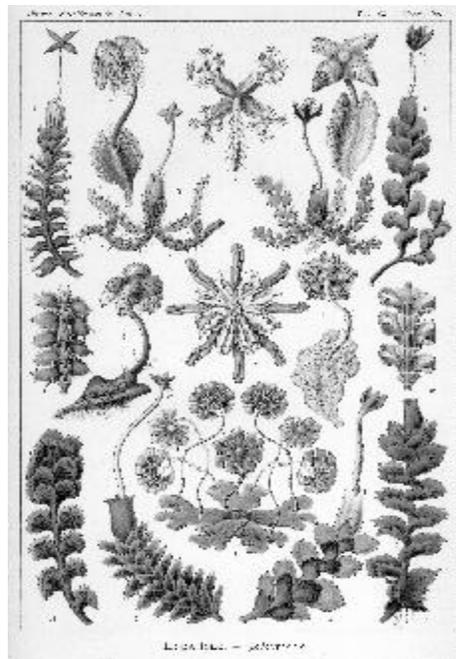


El potencial de México para la producción de servicios ambientales: captura de carbono y desempeño hidráulico

JUAN MANUEL TORRES ROJO
ALEJANDRO GUEVARA SANGINÉS



INTRODUCCIÓN

Los servicios ambientales se pueden definir como el conjunto de condiciones y proceso naturales (incluyendo especies y genes) que la sociedad puede utilizar y que ofrecen las áreas naturales por su simple existencia. Dentro de este conglomerado de servicios se pueden señalar la biodiversidad, el mante-

nimiento de germoplasma con uso potencial para el beneficio humano, el mantenimiento de valores estéticos y filosóficos, la estabilidad climática, la contribución a ciclos básicos (agua, carbono y otros nutrientes) y la conservación de suelos, entre otros. Para el caso particular de los recursos forestales, la

producción de tales servicios está determinada por las características de las áreas naturales y su entorno socioeconómico.

Debido a una enorme cantidad de factores, la producción de servicios ambientales se ve día a día amenazada por el uso de prácticas no sustentables de manejo de recursos forestales. Existen muchas razones por las cuales no se generan señales a favor de la conservación de los recursos naturales y con ello una producción sostenida de servicios ambientales. Las dos de mayor peso son: i) no tienen un mercado definido y ii) se conoce muy poco acerca de su cuantía o su relación con las características y procesos desarrollados en las áreas naturales. La falta de un mercado provoca que no exista un precio que refleje cuánto cuesta producirlos, razón por la cual la sociedad actúa como si no costara nada destruirlos o como si existieran en cantidades ilimitadas. Por otro lado, el desconocimiento de las relaciones de producción entre cantidad de servicios producidos y características de las áreas naturales limita el número de alternativas de manejo que aseguren la sustentabilidad de estas áreas. Ambos problemas conducen a una sobreutilización de los bienes y servicios derivados de las áreas naturales que sí tienen mercado, dando por resultado un eventual agotamiento de estas regiones y la consecuente reducción en la producción de servicios ambientales.

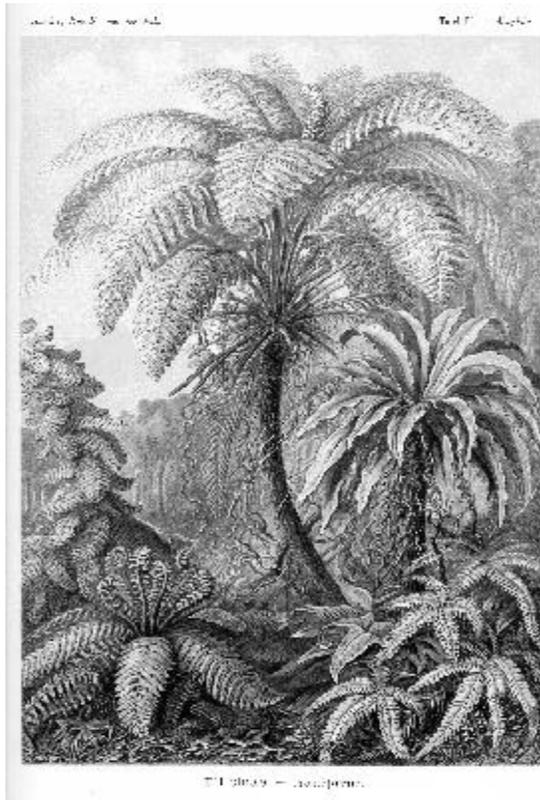
A continuación se presenta una breve caracterización de la situación actual de dos diferentes servicios ambientales en México, a saber: captura de carbono y captura de agua o desempeño hidráulico. Para cada caso se analizan dos elementos: estimación del potencial de los servicios y una caracterización de la estructura actual del mercado. Cabe señalar que la mayor parte de esta información se obtuvo de trabajos de investigación muy aislados así como de opiniones de diversos especialistas.

CAPTURA DE CARBONO

La mayor parte de los procesos productivos y actividades domésticas requieren del uso de energía derivada de combustibles fósiles. Esta combustión emite óxidos de carbono (principalmente CO₂) y otros gases que contribuyen al calentamiento atmosférico global. Loa *et al.* (1996) señalan que este proceso ha aumentado 3.5 veces en los últimos 50 años y que la cantidad de estos gases en la atmósfera se ve incrementada como consecuencia del cambio de uso del suelo.

Se estima que México emite alrededor de 3.70 toneladas de CO₂ por habitante, cifra que se encuentra 4.02 toneladas por debajo del promedio mundial (Carabias y Tudela 2000). Alrededor de dos tercios de este volumen corresponden a los diversos procesos de combustión en los sectores energético, industrial, de transporte y de servicios. El resto, cerca de un tercio, se origina en los procesos de deforestación, cambio de uso de suelo y quema de leña. Masera y otros (1997), estiman que alrededor de 20 millones de personas usan la leña en este país como principal energético, de aquí que todavía la quema de leña para uso doméstico siga siendo un elemento importante en la producción de CO₂. Masera (1995) considera que el sector forestal aporta casi el 40% de las emisiones totales de CO₂ y que el sector de generación de energía tiene la contribución más importante. De aquí que mientras en México no se desarrollen fuentes alternas de energía (energía eléctrica) no se mejorará el balance de carbono.

A partir de la convención sobre medio ambiente de las Naciones Unidas en Río de Janeiro en 1992 se reconoció que la solución al problema ambiental está más allá de los esfuerzos y capacidades de un sólo país, sobre todo por la producción de un enorme número de externalidades. Bajo este contexto, muchos países desarrollados se comprometieron a reducir sus niveles de gases de efecto invernadero y tomar medidas adicionales para proteger el medio ambiente, entre las cuales se encuentran los mecanismos de imple-



mentación conjunta y más tarde los *mecanismos de desarrollo limpio*. Bajo estos dos esquemas (todavía objeto de un enorme debate y negociación) los países desarrollados pueden satisfacer sus compromisos de reducción de niveles de gases de efecto invernadero, principalmente CO₂, comprando *unidades de reducción de emisiones* de otro país o región. De esta forma, el manejo apropiado de la vegetación se convierte en un mecanismo para la reducción de concentraciones de CO₂ a nivel global, y por consecuencia su captación a través de vegetación se transforma en una estrategia productiva.

Los bosques y selvas capturan, almacenan y liberan carbono como resultado de los procesos fotosintéticos, de respiración y de degradación de materia seca. El saldo es una captura neta positiva cuyo monto depende del manejo que se le dé a la cobertura vegetal, así como de la edad, distribución de tama-

ños, estructura y composición de ésta. Este servicio ambiental que proveen bosques o selvas como secuestradores de carbono (sumideros) permite equilibrar la concentración de este elemento, misma que se ve incrementada debido a las emisiones producto de la actividad humana.

El concepto de captura de carbono normalmente integra la idea de conservar los inventarios de este elemento que se encuentran en suelos, bosques y otro tipo de vegetación y donde es inminente su desaparición así como el aumento de los sumideros de carbono (aditividad) a través del establecimiento de plantaciones, sistemas agroforestales y la rehabilitación de bosques degradados (Tipper 2000), sólo por mencionar algunos ejemplos en los que la vegetación es usada como sumidero.

POTENCIAL DE CAPTURA DE CARBONO

En un análisis preliminar para México, Bellón *et al.* (1993) asumieron que manteniendo las áreas naturales protegidas, realizando un manejo de los bosques de manera sustentable en las áreas comerciales, reforestando las áreas boscosas degradadas se podía llegar a niveles de captura de carbono en dichas zonas del orden de 3,500 a 5,400 millones de toneladas en un periodo de 100 años, lo que equivale a una captura anual, bajo este escenario hipotético, de 35-54 millones de toneladas de carbono por año. La estimación de Bellón *et al.* (1993) se basa en los supuestos y estimaciones que se muestran en el cuadro 1.

Además de estas estimaciones (realizadas con el programa CO₂FIX, Nabuurs y Mohre 1993), otros autores han identificado el potencial de captura de carbono para México, considerando tanto el potencial de absorción como el depósito (inventario) de carbono que el país posee. El cuadro 2 resume algunas de estas estimaciones. En este cuadro cabe resaltar la estimación de Adger *et al.* (1995), en la cual se proyecta la pérdida de carbono debida a cambios de uso del suelo,

CUADRO 1. POTENCIAL DE ABSORCIÓN DE CARBONO EN EL SECTOR FORESTAL
EN UN PERIODO DE 100 AÑOS

OPCIÓN	SUPERFICIE POTENCIAL (MILLONES DE HA)	ABSORCIÓN DE CARBONO (T C /HA)	ABSORCIÓN TOTAL ACUMULADA (MILLONES T C)
<i>Conservación</i>			
Áreas naturales protegidas	6.0	40-130	500-600
Manejo forestal comercial	18.7	40-130	1,500-2,300
Protección forestal	0.06/año (neto)	2.4-8.4 millones de t C/año	No aplica
Estufas eficientes de leña	No aplica	1-3 millones de t C/año	50-300
<i>Reforestación</i>			
Reforestación áreas degradadas	16.6	50-150	1,300-1,800
Plantaciones comerciales	1.6-3.0	50-120	200-400
<i>Total</i>	<i>42.7-44.3</i>		<i>3,500-5,400</i>

FUENTE: Bellón *et al.* 1993.

CUADRO 2. ESTIMACIONES DE CAPTURA DE CARBONO SEGÚN DIVERSOS AUTORES

TIPO FORESTAL	CONDICIÓN	CAPTURA (T C/HA)		REFERENCIA
		Pastizal	Agricultura	
Bosque de coníferas	Pérdida de carbono por cambio de uso del suelo	168.4	167.1	Adger <i>et al.</i> 1995
Bosque caducifolio		34.0	31.5	
Selva alta		164.8	163.5	
Selva baja y mediana		92.5	91.25	
Áreas naturales protegidas	Estimación para un periodo de 100 años	40-130		Maser 1995
Bosque comercial		40-130		
Áreas reforestadas		50-150		
Plantaciones comerciales		50-120		
Cerco vivo	Bosque de pino-encino en partes altas (Chiapas)	39		Gus Hellier 2000
Plantación forestal		121		

CUADRO 2. ESTIMACIONES DE CAPTURA DE CARBONO SEGÚN DIVERSOS AUTORES (*continúa*)

TIPO FORESTAL	CONDICIÓN	CAPTURA (T C/HA)	REFERENCIA
Sistema taungya	Periodo de 150 años	124	
Achual enriquecido		124	
Cerco vivo	Bosque de transición; zona	92	Gus Hellier 2000
Plantación con árbol de sombra	cafetalera (Chiapas). Periodo de 150 años	116	
Sistema taungya		277	
Achual enriquecido		277	

FUENTE: Resumen obtenido de las referencias citadas.

ya sea convirtiendo el área forestal a una de cultivo agrícola o bien transformándola en agostadero.

ESTIMACIÓN DE LA CAPTURA DE CARBONO PARA LOS BOSQUES DE MÉXICO POR ENTIDAD FEDERATIVA

Con el fin de tener una estimación sobre el potencial de captura de carbono bajo las condiciones actuales del país se realizó el siguiente ejercicio de estimación.

- i) Se colectó información sobre peso de materia seca de diferentes especies.
- ii) A través de ecuaciones se estimó el volumen total árbol de las especies para las cuales fue posible obtener el peso de materia seca y se clasificó a cada una de estas especies dentro de un tipo forestal.
- iii) Con esta información se desarrolló una relación entre volumen de las especies de diferentes tipos forestales con el peso seco, a fin de predecir esta última variable a partir del volumen total árbol. El cuadro 3 muestra los resultados de estos análisis.

- iv) Se tomaron los datos de rendimiento (en volumen) del Inventario Nacional Forestal y se aplicaron las ecuaciones desarrolladas en el punto anterior.
- v) Finalmente, la estimación anual de captura de carbono se obtuvo multiplicando la estimación de peso seco por 0.4269 (Jo y McPherson 1995).

Es importante recalcar que esta estimación no incorpora el carbono capturado en raíces ni en suelos, mismo que algunos autores consideran muy elevado.

Las estimaciones de potencial de fijación anual de carbono por hectárea por entidad se muestran en el cuadro 4 (página 46). En todos los casos las estimaciones se realizaron considerando los incrementos maderables reportados en el Inventario Nacional Forestal de 1994 (SARH 1994). Obsérvese la cercanía de las estimaciones con las de otros autores.

El potencial de captura de carbono está ligado al potencial de formación de biomasa. De ahí que las regiones donde resultan factibles altos rendimien-

CUADRO 3. MODELOS PARA ESTIMAR PESO SECO (KG) A PARTIR DEL VOLUMEN TOTAL ÁRBOL (M³) POR TIPO DE BOSQUE

TIPO DE BOSQUE	β_1		β_0		R ²	F
	ESTIMADOR	T	ESTIMADOR	T		
Coníferas	723,579	39.91	-175.492	3.65	0.994	1,592.66
Latifoliadas	506,539	24.12	0.17	0.30	0.969	572.46
Coníferas y latifoliadas	859,027	15.07	-7.054	1.35	0.973	219.38
Selva alta y mediana	519,408	59.65	0.896	1.47	0.997	3,572.32
Selva baja	313,036	18.27	12.225	2.01	0.971	333.87

FUENTE: Estimaciones propias con información derivada de bibliografía. MODELO: Peso seco (kg) = $\beta_0 + \beta_1$ volumen total árbol (m³).

tos de biomasa sean las zonas de mayor potencial de captura de carbono. Para México estas áreas están localizadas a lo largo de las llanuras costeras y en el sur y sureste del país, donde se registran los mayores rendimientos de biomasa. En este contexto, los mejores lugares para ubicar proyectos de captura de carbono son aquellos que tienen el mayor potencial para el desarrollo de plantaciones o sistemas de cultivo de alto rendimiento en producción de biomasa.

Masera *et al.* (1995) sugieren que los sistemas agroforestales son los sistemas más prometedores para los proyectos de captura de carbono, dado que proporcionan alternativas de producción que combinan la producción de satisfactores con la de servicios ambientales. Otros autores como De Jong *et al.* (1995) señalan que las prácticas de cultivo como cercas vivas, cortinas rompevientos, sombras de árboles y enriquecimiento de acahuals, entre otros, pueden también representar extraordinarias alternativas de proyectos de captura de carbono.

Trexler y Haugen (1995) estimaron que en México existen alrededor de 4.6 millones de hectáreas

con potencial para diferentes alternativas de cultivo forestal o agroforestal con alta producción de carbono, cuyo potencial de captura varía entre 33.3-113.4 millones de toneladas de carbono. En su opinión, adicionalmente existe alrededor de un millón de hectáreas potenciales para el desarrollo de plantaciones forestales, con un potencial de captura entre 30.7-85.5 millones de toneladas. Aún más, dichos autores estiman que existen en el país alrededor de 30 millones de hectáreas de áreas arboladas con regeneración natural con posibilidades de capturar entre 1,038 y 3,090 millones de toneladas de carbono.

Otra alternativa para conservar bancos de carbono (carbono depositado en el suelo y vegetación) y evitar que el CO₂ regrese a la atmósfera es impidiendo la deforestación. Trexler y Haugen (1995) estiman que alrededor de 6.1 millones de hectáreas de bosques y selvas (con un potencial de captura de 348.3-714.9 millones de toneladas) podrían salvarse antes del año 2040 si se toman medidas adecuadas de manejo silvícola que diversifiquen los bienes y servicios que se obtienen del bosque.

CUADRO 4. ESTIMACIONES DEL POTENCIAL DE CAPTURA DE CARBONO POR ENTIDAD (MILES DE T DE CO₂ POR AÑO)

ENTIDAD	BOSQUES	SELVAS	PLANTACIONES	TOTAL
Aguascalientes	17,91	0,000	0,000	17,891
Baja California	56,96	0,000	0,000	56,796
Baja California Sur	6,15	69,518	0,000	76,233
Campeche	0,000	1,336,604	1,839	1,338,442
Coahuila	89,911	0,390	0,000	90,300
Colima	20,851	93,566	0,000	114,417
Chiapas	927,860	1,652,304	8,183	2,588,347
Chihuahua	1,791,170	74,271	12,104	1,877,545
Distrito Federal	73,397	0,142	2,769	76,308
Durango	1,873,296	73,273	0,000	1,946,569
Guanajuato	48,198	2,424	1,063	51,685
Guerrero	1,415,065	572,239	0,000	1,987,304
Hidalgo	111,392	76,676	0,000	188,069
Jalisco	1,235,319	346,948	2,472	1,584,740
México	355,477	24,637	7,502	387,616
Michoacán	1,643,282	382,369	17,643	2,043,294
Morelos	24,069	18,265	0,000	42,334
Nayarit	447,026	216,912	26,710	690,648
Nuevo León	83,110	0,000	0,000	83,110
Oaxaca	1,098,853	1,009,637	19,181	2,127,671
Puebla	199,461	77,139	0,000	276,600
Querétaro	58,852	14,371	0,000	73,223
Quintana Roo	0,000	1,858,724	0,000	1,858,724
San Luis Potosí	164,623	199,991	0,000	364,615
Sinaloa	301,074	595,178	0,000	896,252
Sonora	382,020	433,184	23,206	838,410
Tabasco	0,000	158,731	44,391	203,122
Tamaulipas	106,100	376,428	0,000	482,529
Tlaxcala	33,742	0,000	0,000	33,742
Veracruz	409,643	624,964	15,476	1,050,082
Yucatán	0,000	776,121	0,000	776,121
Zacatecas	263,175	27,775	0,000	290,950
<i>Total nacional</i>	<i>1,323,8371</i>	<i>1,1092,781</i>	<i>182,538</i>	<i>24,513,690</i>

FUENTE: Estimaciones propias con información derivada del Inventario Nacional Forestal 1994.

MERCADOS DE CAPTURA DE CARBONO

El mercado de captura de carbono es un mercado internacional, aunque potencialmente también puede localizarse dentro del país. En él participan una parte compradora, generalmente un país desarrollado, y una parte vendedora, comúnmente un país en desarrollo, mismo que vende captura adicional de carbono (aditividad de los proyectos). Lo anterior no implica que los depósitos de carbono tengan algún valor ya que tal valor existe;¹ sin embargo, regularmente se negocian *aditividades* (capturas adicionales).

Existen estimaciones sobre el valor de los depósitos de carbono en los bosques y selvas del país así como de las pérdidas que se tendrían por cambio de uso del suelo, las cuales se muestran en los cuadros 5 y 6, respectivamente.

En la actualidad no se puede reconocer un mercado de captura de carbono plenamente formado, dado que la mayor cantidad de las transacciones se han realizado como arreglos directos entre gobiernos u organizaciones no gubernamentales y los proveedores del servicio ambiental.

En el ámbito de las negociaciones entre gobiernos la formación de mercados a través de los mecanismos de *implementación conjunta* presentan dos problemas fundamentales: i) una enorme asimetría entre gobiernos, lo cual hace difícil que se logren acuerdos para cada nación y ii) se presenta el dilema del gorrón (*free rider*), asunto típico de las actividades de acción colectiva, que da como resultado la existencia de países que gozan de los

CUADRO 5. VALOR DE LA PÉRDIDA DE INVENTARIO DE CO₂ DEBIDA A CAMBIO EN EL USO DEL SUELO POR HECTÁREA

TIPO DE BOSQUE	CAMBIO DE USO DEL SUELO (DÓLARES AMERICANOS)	
	AGOSTADERO	AGRICULTURA
Templado caducifolio	693	643
Tropical caducifolio	1,887	1,863
Templado conífero	3,436	3,410
Tropical siempreverde	3,633	3,337

FUENTE: CSERGE1993.

CUADRO 6. ESTIMACIONES DEL VALOR DE LOS DEPÓSITOS DE CARBONO EN LOS BOSQUES Y SELVAS (DÓLARES AMERICANOS/HA)

BOSQUE TEMPLADO CADUCIFOLIO	BOSQUE TROPICAL CADUCIFOLIO	BOSQUE TEMPLADO	BOSQUE TROPICAL SIEMPRE VERDE
600	1,800	3,000	3,600

FUENTE: Muñoz 1994.

beneficios de los acuerdos sin tener que enfrentar ningún costo.

Además de los problemas de negociación, existen otros para el desarrollo de mercados entre los cuales se pueden señalar: i) es difícil estimar el valor de mercado de cualquier proyecto debido a que se desconoce la demanda, la cual depende en gran medida de los compromisos hechos por los diferentes países o por las distintas organizaciones; de aquí que resulta complicado estimar la rentabilidad de los diferentes proyectos; ii) existen costos hundidos (iniciales) para el desarrollo de proyectos, tales como la investigación necesaria, el propio desarrollo de proyectos y la promoción de los mismos; iii) el producto, a pesar de ser la captura de carbono, es muy variado y depende de las especies, sus formas de manejo, condiciones del suelo, entre otros aspectos, lo cual hace complicado crear estándares de producto que puedan ser puestos a la venta; iv) la presencia de costos administrativos en buscar compradores o financiamiento para el inicio de los programas; v) una vez identificado el financiamiento y aprobado el proyecto se requiere de una estructura administrativa específica que permita distribuir eficientemente (oportunamente y con bajos costos de transacción) los fondos entre los

productores y que permita monitorear el desempeño de los proyectos para cumplir con los compromisos establecidos. Tal estructura puede tener asociados altos costos de transacción (Rojas 1999).

El mercado de carbono capturado en bosques y selvas se define en dólares por tonelada de carbono capturado. El valor económico de cada tonelada de carbono depende de los costos marginales del cambio climático, mismos que son muy difíciles de estimar dado que esto requiere una enorme cantidad de proyecciones y supuestos. Nordhaus (1992) sugiere un costo marginal de US\$5 /t de C, mientras que Frankhauser (1995) estima este costo en US\$20/t de C debido a los riesgos derivados del cambio climático, tasas de descuento y otros. Empresas consultoras sobre el tema normalmente usan un estándar de US\$10 /t de C.²

Dada la dificultad de estimar el valor de cada unidad de carbono por el lado de la demanda, su valor se ha establecido de varias formas, generalmente a través de los costos asociados al desarrollo de los proyectos. El cuadro 7 resume algunas estimaciones del mercado de unidad de carbono fijado de acuerdo con información recabada de diversos proyectos a nivel nacional e internacional.

CUADRO 7. VALOR DE CADA UNIDAD DE CARBONO FIJADO DE ACUERDO CON VARIOS AUTORES

CONCEPTO DE VALORACIÓN	VALOR US\$/T C	TIPO DE PROYECTO	REFERENCIA
Costo de oportunidad			
global	20	Conservación	Adger <i>et al.</i> 1995
Valor del proyecto	1.9-2.89	Conservación	Rojas 1999
	7.6-10.52	Reforestación	Fondo Bio-climático
Negociación	8-12	Proyectos varios	
		(agroforestales, reforestación)	Edinburgh Center for
<i>Proto-Carbon Credits</i>	12	Proyectos varios	Carbon Management

FUENTE: Elaboración propia con datos derivados de las fuentes citadas.

Como puede observarse en el cuadro anterior, el valor de cada unidad de carbono puede variar dependiendo del tipo de proyecto de captura de carbono. De esta forma, proyectos en los cuales existen sólo costos de conservación y no se incluyen costos iniciales (como sería el caso de los proyectos de conservación) tienen un valor menor que aquellos en los que los costos iniciales son altos (proyectos de reforestación). En ambos casos (conservación o reforestación) el valor de cada unidad de carbono está muy ligado al costo de producirla. Dixon *et al.* (1993) evaluaron los costos de operación para el establecimiento de proyectos forestales en nueve países, concluyendo que tales costos varían entre US\$1-30/t de C. Por su parte, Montoya y otros (1995) estimaron que los costos de los proyectos de captura de carbono para el sur de México varían entre US\$3-11/t de C.

De Jong y otros (1996) evaluaron la rentabilidad de varias alternativas forestales y agroforestales de producción de carbono en México y encontraron que los sistemas de cercos vivos, sombras de cafetos, plantaciones para el enriquecimiento de acahuales y tangya son alternativas económica y técnicamente eficientes. Sin embargo, Del Río (2000) halló que los costos de oportunidad de los terrenos usados en el proyecto *Scolec-Té* son muy altos, lo que hace que los proyectos no resulten financieramente rentables para los productores.

Evidentemente la determinación del valor por el lado de la oferta implica que existirá una enorme diferencia entre países, regiones y tecnologías, las cuales dependen del costo de oportunidad de usos del suelo alternativos, tecnologías para la conservación o fomento de recursos forestales, la abundancia de recursos, la calidad en el producto (*i.e.* el monitoreo de la cantidad de carbono capturado) y el riesgo de los proyectos. Todo esto da por resultado que existan enormes diferencias entre los proyectos y que para algunas condiciones ecológicas, económicas, sociales y culturales la alternativa de captura de carbono pueda ser una posibilidad poco eficiente de uso del suelo.

El valor de mercado de las unidades de carbono capturado que se tendrá en el largo plazo determinará un precio que seguramente estará definido entre los costos de producción del servicio (el lado de la oferta) y los costos de reducción de emisiones de los compradores localizados en países desarrollados (el lado de la demanda). Lo anterior indica que existirá un rango muy grande en el valor de cada unidad de carbono capturado, por lo que deberá existir algún tipo de discriminación, probablemente a través del nivel de riesgo de los proyectos, de la reputación de los países y de la calidad en el monitoreo de los proyectos, entre otras variables. Ello sugiere que los proyectos a largo plazo deben cuidar minuciosamente la calidad del producto y la fiabilidad del proyecto.

Por el lado de la oferta las ventajas comparativas de un país para este tipo de proyectos estarán definidas por la vocación (productividad) de la tierra, la capacidad hidroeléctrica y de producción de alternativas energéticas diferentes a la combustión de hidrocarburos, la localización del país y los costos de oportunidad del uso forestal (Rojas 1999). Adicionalmente, para que un país pueda hacer realidad estas ventajas deberá contar con un marco legal e institucional (gubernamental como no gubernamental) que permita no sólo identificar, planear, ejecutar y administrar eficientemente proyectos de captura de carbono, sino que sea capaz de tener un monitoreo adecuado y alta credibilidad en la calidad del servicio brindado. Ambos elementos permitirán construir una sólida reputación del país como proveedor de este servicio, lo cual no sólo aumentará su demanda, sino que le adicionará valor.

Si se considera que la oferta eficiente de captura de carbono de un país o región está ligada al costo de oportunidad de proporcionarlo, ello indica que en las condiciones actuales del mercado internacional de carbono resulta importante valorar las diferentes alternativas de uso del suelo antes de destinar una superficie a la producción de carbono, so-

bre todo considerando que estos proyectos son de largo plazo.

CAPTURA DE AGUA O DESEMPEÑO HIDRÁULICO

La captura de agua o desempeño hidráulico es el servicio ambiental que producen las áreas arboladas al impedir el rápido escurrimiento del agua de lluvia precipitada, propiciando la infiltración de agua que alimenta los mantos acuíferos y la prolongación del ciclo del agua. El reconocimiento del concepto de desempeño hidráulico se ha reflejado en iniciativas de programas de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH), más recientemente en la Comisión Nacional del Agua, la Comisión Nacional de Zonas Áridas y otras. Tales programas han surgido del reclamo de los productores forestales por una retribución de los usuarios del agua a lo que ellos llaman «*producción de agua*». Esta demanda se ha originado en las organizaciones campesinas forestales de Chihuahua y Durango, que reclaman el reconocimiento de su contribución a la producción agrícola de los distritos de riego de Sinaloa, Sonora y La Laguna.

La demanda potencial para el servicio es enorme, sobre todo en el norte del país. Adicionalmente, la producción eficiente de este servicio tiene efectos no sólo en la mejora de la disponibilidad de agua, sino que además prolonga la vida útil de las obras de infraestructura, conserva suelos y ayuda a mitigar los riesgos de desastres por inundaciones y derrumbes.

México es un país con un fuerte problema de distribución de agua. Se estima que casi el 70% de ella se destina al uso agrícola, principalmente en el norte del país donde se acentúa la escasez del líquido. Por el contrario, su disponibilidad en el sur del país mejora notablemente. La dedicada al uso urbano es escasa en la mayor parte de las grandes ciudades y en la mayoría de éstas se recibe por el sistema de tandeos.

El agua de escurrimiento representa un porcentaje bajo del total de la precipitación. Este monto no se

Experiencias mexicanas sobre captura de bióxido de carbono, Scolel Té- Fondo Bioclimático

A partir de investigaciones realizadas por el Colegio de la Frontera Sur, la Universidad de Edimburgo y el Instituto Nacional de Ecología, se desarrolló un proyecto con comunidades indígenas y mestizas del estado de Chiapas para compra de toneladas de carbono. En 1997, con el apoyo de la Federación Internacional de Automovilismo, se estableció un fideicomiso llamado Fondo Bio-climático para administrar un proyecto piloto y negociar la venta de proto créditos de carbono. Para el año 2000 había 16 comunidades involucradas en la venta de bióxido de carbono en proyectos con una duración estimada de diez años, los cuales consisten en plantaciones agroforestales. Uno de los objetivos es que las plantaciones tengan beneficios adicionales para los productores, como son la cosecha maderable, el café mejorado y otros productos para autoconsumo. El compromiso inicial fue capturar quince mil toneladas de carbono a cambio de \$1,131,476.00 pesos.

De las ganancias obtenidas, dos terceras partes van directamente a los campesinos, y el resto para cubrir los costos de apoyo técnico y administración. Ya que los recursos son limitados, existe también un Fondo de reserva que permite que nuevas comunidades puedan incluir sus proyectos para ser seleccionables en un futuro. Uno de los principales retos de este tipo de proyectos es que la ganancia de los productores que comprometen sus terrenos supere el costo de oportunidad de dedicarlos a otras actividades productivas.

puede considerar como parte del servicio ambiental, dado que es el volumen que no puede capturar el bosque. Por su parte, el agua infiltrada o percolada corresponde a la cantidad de agua que en realidad está capturando el bosque y que representa la oferta de agua producida por éste.

La cosecha de agua de mantos acuíferos es muy intensa en algunas regiones, sobre todo en aquellas localizadas en zonas áridas o semiáridas con distritos de riego. El cuadro 8 muestra un resumen de los volúmenes de extracción y la recarga de los acuíferos sobreexplotados por entidad federativa.

Como puede apreciarse en dicho cuadro, la mayor parte de los estados ubicados a lo largo de las llanuras costeras no tienen problemas de desequilibrios entre su extracción y la recarga de acuíferos, lo que implica que en estas regiones el costo de oportunidad del bosque como captador de agua es muy bajo. Por el contrario, en regiones donde es evidente el déficit entre la extracción y la recarga de los acuíferos, el costo de oportunidad es más alto y allí existe la posibilidad de generar una estrategia de conservación ligada a un pago por producción de agua.

CUADRO 8. EXTRACCIÓN Y RECARGA DE ACUÍFEROS SOBREEXPLOTADOS POR ENTIDAD

ENTIDAD	MILLONES DE METROS CÚBICOS		
	EXTRACCIÓN	RECARGA	DÉFICIT
Aguascalientes	550.80	295.00	-255.80
Baja California	1,182.16	763.80	-418.36
Baja California Sur	326.00	212.00	-114.00
Coahuila	1,192.01	717.46	-474.55
Chihuahua	1,656.80	1,210.00	-446.80
Distrito Federal	515.00	224.00	-291.00
Durango	153.00	88.00	-65.00
Guanajuato	2,786.48	1,931.00	-855.48
Hidalgo	193.45	92.00	-101.45
México	1,352.68	994.05	-358.63
Michoacán	318.00	221.28	-96.72
Morelos	51.00	25.30	-25.70
Nuevo León	88.00	72.00	-16.00
Oaxaca	74.00	40.00	-34.00
Puebla	257.00	163.00	-94.00
Querétaro	558.47	383.00	-175.47
San Luis Potosí	490.06	330.00	-160.06
Sonora	1,631.60	1,124.00	-507.60
Tlaxcala	168.13	135.50	-32.63
Zacatecas	571.26	366.43	-204.83

FUENTE: SEMARNAP, CNA 1999.

El potencial de infiltración de agua de un área arbolada depende de un gran número de factores como: la cantidad y distribución de la precipitación, el tipo de suelo, las características del mantillo, el tipo de vegetación y geomorfología del área, entre otros. Esto indica que la estimación de captura de agua debe realizarse para áreas específicas y con información muy fina sobre la mayor parte de las variables arriba señaladas.

En México existen pocos trabajos sobre estimaciones de captura de agua en zonas arboladas. Dentro de los trabajos pioneros en esta área se encuentra el de Rivas *et al.* (1990) y todo el conjunto de mode-

los de escurrimiento a partir del modelo lluvia-escurrimiento desarrollado por el CENAPRED (Dominguez *et al.* 1994). La estimación de volúmenes de infiltración de agua en áreas forestales que a continuación se presenta se desarrolló siguiendo el modelo de escurrimiento general a través de la estimación de coeficientes de escurrimiento (IMTA 1999). El modelo asume que el coeficiente de escurrimiento (Ce) se puede estimar como sigue:

$$Ce = K (P-500) / 200 \text{ cuando } K \text{ es igual o menor a } 0.15 \text{ y}$$

$$Ce = K (P-250) / 2000 + (K-0.15) / 1.5 \text{ cuando } K \text{ es mayor que } 0.15$$

K es un factor que depende de la cobertura arbolada y del tipo de suelo, lo cual aparece en el cuadro 9.

CUADRO 9. VALORES DE K PARA DIFERENTES TIPOS DE SUELO Y DIFERENTES COBERTURAS ARBOLADAS.

COBERTURA DEL BOSQUE	TIPO DE SUELO		
	A	B	C
Más del 75%	0.07	0.16	0.24
Entre 50-75%	0.12	0.22	0.26
Entre 25-50%	0.17	0.26	0.28
Menos del 25%	0.22	0.28	0.30

Suelo A: Suelos permeables (arenas profundas y loes poco compactos).

Suelo B: Suelos medianamente permeables (arenas de mediana profundidad, loes y migajón).

Suelo C: Suelos casi impermeables (arenas o loes delgados sobre capa impermeable, arcillas).

FUENTE: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua 1999.

Para la estimación de volúmenes de infiltración de agua se tomó como base la información del inventario forestal y los valores promedio de precipitación (periodo 1940-1998) publicados por la Comisión Nacional del Agua. Se supuso que bosques con volúmenes superiores a 190 m³/ha son bosques con más del 75% de cobertura; los que se encuentran entre 100-

190 m³/ha son bosques con 50-75% de cobertura; los que varían entre 35-100 m³/ha son bosques con 25-50% de cobertura y finalmente los que presentan volúmenes menores a 35 m³/ha son bosques con menos del 25% de cobertura. Asimismo se dio por sentado que los suelos de bosque templado son suelos tipo A y los suelos tropicales son suelos tipo C. Final-

mente, se partió del supuesto de que la diferencia entre el volumen precipitado y el escurrido en el suelo tiene un máximo potencial de retención entre 0.10-0.38 del volumen precipitado. Las estimaciones de infiltración promedio por tipo de bosque se muestran en el cuadro 10. Cabe recalcar que esta estimación corresponde a una estimación preliminar que no considera la evapotranspiración causada por diferentes densidades de cobertura vegetal. De igual forma, es necesario precisar que la estimación sólo refleja el potencial de percolación de suelos con áreas arboladas, mismo que en algunos casos podría ser menor o incluso mayor en ausencia de una cobertura forestal.

La captura de agua proveniente de las áreas arboladas de nuestro país se estima en 48,028.840 millones de metros cúbicos al año. Casi las tres cuartas partes de este volumen se supone se capturan en áreas tropicales y sólo la cuarta parte en áreas templadas. Debe observarse que la captura de agua no sólo depende de la cuantía de las zonas arboladas y de las condiciones en que éstas se encuentren, sino también de la disponibilidad de lluvia y de las características del suelo. Evidentemente mientras mayor sea la diferencia entre el volumen infiltrado y el usado, el valor de mercado del agua será más bajo, debido a que se convierte en un recurso más escaso.

MERCADOS DE CAPTURA DE AGUA

El precio del agua lo define el gobierno en función del valor agregado que se le pueda dar al agua y de su disponibilidad. Para ello el país se ha dividido en zonas y para cada una de ellas existe un precio por metro cúbico (cuadro 11). Las zonas de disponibilidad 1 corresponden a regiones de baja disponibilidad o alta demanda, mientras que las que caen dentro de las de disponibilidad 9 corresponden a zonas de alta disponibilidad de agua. González (1995) desarrolló el primer modelo teórico para determinar algunas de las características del mercado de agua en la cuenca

Pago por servicios ambientales en Costa Rica

Costa Rica depende fuertemente de sus hidroeléctricas para abastecer las necesidades de una creciente población y una actividad económica en la cual el sector servicios tiene cada vez mayor importancia. Como la cantidad, tiempo y calidad del agua depende de la cobertura vegetal en la parte alta de las cuencas, las hidroeléctricas están en una situación vulnerable ante los procesos de deforestación. Y las presiones a la deforestación en Costa Rica son grandes. El país pasó de tener el 50% de su territorio cubierto por bosques tropicales en 1950 a tener menos de 29% a mediados de los 1980, debido a las ganancias económicas reales de cambiar los usos del suelo forestal hacia actividades agropecuarias, incentivos que aun siguen existiendo.

Ante esta situación la Ley Forestal de 1996 creó el Fondo de Financiamiento Forestal (FONAFIFO) como un órgano adscrito al Ministerio del Ambiente y Energía (MINAE) con el objetivo de captar financiamiento para el pago de los servicios ambientales que brindan los bosques, servicios ambientales que no sólo incluyen la protección de cuencas hidrográficas sino también la protección de la biodiversidad y la captura de carbono. Con este marco institucional la compañía Energía Global decidió realizar un contrato con la Fundación para el Desarrollo de la Cordillera Volcánica Central (FUNDECOR) para realizar pagos por los servicios ambientales de protección de cuencas, y así asegurar el abasto en calidad y cantidad del agua para dos hidroeléctricas que operan en la Cordillera. El dinero se deposita en el FONAFIFO, y FUNDECOR lo utiliza para pagar \$10 por hectárea por año a los propietarios de los predios forestales en las cuencas objetivo.

que abastece a la ciudad de Puebla. En este trabajo se derivó una curva de demanda de agua a través de la técnica de disponibilidad de pago, así como una función de costos marginales de diferentes niveles de producción de agua. La encuesta aplicada para iden-

tificar las disponibilidades de pago mostró que existe una marcada inclinación a pagar por mantener la cuenca siempre y cuando ello se refleje en mayores niveles de captura de agua que puedan ser cosechados y distribuidos a los usuarios.

CUADRO 10. ESTIMACIÓN DE LA CAPTURA DE AGUA EN REGIONES FORESTALES

ENTIDAD	TOTAL/ENTIDAD (MILLONES DE M ³)			VOLUMEN/HA (MILES DE M ³)		
	BOSQUES	SELVAS	TOTAL	BOSQUES	SELVAS	MEDIA PONDERADA
Aguascalientes	20.698	0.000	20.698	0.316	0.000	0.316
Baja California	0.000	10.156	10.156	0.000	0.269	0.050
Baja California Sur	0.000	108.655	108.655	0.000	0.230	0.215
Campeche	0.000	4186.300	4186.300	0.000	1.274	1.274
Coahuila	25.386	1.078	26.464	0.058	0.407	0.060
Colima	9.222	219.271	228.492	0.301	1.034	0.942
Chiapas	2790.777	4983.099	7773.876	2.498	2.290	2.361
Chihuahua	866.530	283.563	1150.093	0.122	0.561	0.151
Distrito Federal	4.387	1.959	6.347	0.087	0.923	0.120
Durango	275.448	393.370	668.818	0.055	0.795	0.122
Guanajuato	19.520	14.188	33.708	0.049	0.782	0.082
Guerrero	1207.789	2398.615	3606.404	0.621	1.493	1.015
Hidalgo	54.863	189.050	243.913	0.238	1.093	0.604
Jalisco	494.236	1213.415	1707.651	0.255	1.115	0.564
México	135.364	107.252	242.615	0.243	1.222	0.376
Michoacán	249.317	1149.211	1398.528	0.162	1.082	0.537
Morelos	5.029	70.500	75.529	0.191	1.135	0.854
Nayarit	380.176	667.359	1047.535	0.485	1.369	0.824
Nuevo León	18.197	0.000	18.197	0.052	0.000	0.052
Oaxaca	3479.701	4148.713	7628.413	1.281	1.736	1.494
Puebla	324.096	480.349	804.445	0.703	1.562	1.047
Querétaro	6.654	50.638	57.292	0.037	0.753	0.232
Quintana Roo	0.000	5330.461	5330.461	0.000	1.446	1.446
San Luis Potosí	184.473	473.306	657.779	0.406	1.289	0.800
Sinaloa	155.463	2063.442	2218.905	0.209	1.054	0.821
Sonora	606.963	968.949	1575.912	0.293	0.571	0.418

CUADRO 10. ESTIMACIÓN DE LA CAPTURA DE AGUA EN REGIONES FORESTALES

ENTIDAD	TOTAL/ENTIDAD (MILLONES DE M ³)			VOLUMEN/HA (MILES DE M ³)		
	BOSQUES	SELVAS	TOTAL	BOSQUES	SELVAS	MEDIA PONDERADA
Tabasco	0.000	880,964	880,964	0.000	3.185	3.185
Tamaulipas	94,001	1,072,582	1,166,583	0.179	1.012	0.736
Tlaxcala	5,883	0.000	5,883	0.114	0.000	0.114
Veracruz	737,277	2,285,778	3,023,055	1.540	1.686	1.648
Yucatán	0.000	2,042,995	2,042,995	0.000	1.464	1.464
Zacatecas	11,429	70,745	82,174	0.011	0.681	0.075
<i>Total nacional</i>	<i>12,162,877</i>	<i>35,865,962</i>	<i>48,028,840</i>			

FUENTE: Estimación propia con datos del Inventario Nacional Forestal 1994.

El estudio también identificó los mecanismos de transferencia entre los usuarios del agua y los productores; esta parte del trabajo mostró que los usuarios no están dispuestos a dar sus pagos a organizaciones o instituciones vinculadas con el gobierno, y que para realizar sus pagos necesitan un sistema de información sobre la forma en que se realizan las inversiones. También resultó evidente que a pesar de que las regiones rurales consumen mayor cantidad del producto sus disponibilidades de pago son inferiores a aquellas de las áreas urbanas. Finalmente el estudio mostró que para esta área el precio del agua infiltrada tiene un valor de aproximadamente \$6.00 m³ (base 1995). A pesar del interés de las autoridades municipales el proyecto nunca fue llevado a la práctica.

Con la promulgación de la Ley de Aguas Nacionales de 1992, se introdujo la figura de los «consejos de cuenca» como instancias multisectoriales con injerencia a nivel local, mismos que están comisio-

nados al cuidado de las cuencas y a los sistemas hidráulicos.³ El papel de estos consejos en el desarrollo de mercados de agua es primordial, dado que dentro de la unidad física de producción de agua (cuenca) se identifican a los productores, compradores y las características del producto. De aquí que dentro de una misma unidad se pueden fijar los agentes del mercado y el tipo de producto. De aquí que el precio del producto se puede definir por las disponibilidades de pago o siguiendo la metodología tradicional de la Comisión Nacional del Agua.

A pesar de que ha habido el interés por formar un mercado de agua en aquellas regiones donde los productores con altos costos de oportunidad están plenamente identificados y donde es evidente la existencia de un beneficiario con disponibilidad y posibilidad de pago, no ha sido posible reducir los costos de transacción a fin de reunir a los agentes de mercado en una negociación.

CUADRO 11. PRECIO (EN \$/M³) DE AGUA PROVENIENTE DE FUENTES SUPERFICIALES O EXTRAÍDAS DEL SUBSUELO

I.	Zona de disponibilidad 1	-----	\$ 12.7051
II.	Zona de disponibilidad 2	-----	\$ 10.1639
III.	Zona de disponibilidad 3	-----	\$ 8.4698
IV.	Zona de disponibilidad 4	-----	\$ 6.9878
V.	Zona de disponibilidad 5	-----	\$ 5.5053
VI.	Zona de disponibilidad 6	-----	\$ 4.9756
VII.	Zona de disponibilidad 7	-----	\$ 3.7452
VIII.	Zona de disponibilidad 8	-----	\$ 1.3308
IX.	Zona de disponibilidad 9	-----	\$ 0.9973

FUENTE: *Diario Oficial de la Federación 2000.*

Colombia: pagando por el agua en el Valle del Cauca y en el río Guabas

Debido a la deforestación que ha causado el rápido desarrollo urbano, industrial y agrícola de finales de la década de 1980, los cinco millones de personas que habitan el valle de Cauca han experimentado en los meses de verano escasez de agua e inundaciones en la temporada de lluvia. Los agricultores resultan especialmente afectados debido a que las leyes de Colombia obligan a que el agua se asigne primero al uso doméstico.

Originalmente los agricultores de riego pagaban 0.50 dólares por litro por segundo cada trimestre a la Corporación del Valle del Cauca (CVC) por el derecho de acceso al agua. Ante la crisis del agua, los irrigadores acordaron pagar adicionalmente de 1.50 a 2.00 dólares por litro por segundo cada trimestre para financiar las actividades necesarias para mejorar el flujo de agua. La CVC, a su vez, paga parte de las cuotas por los irrigadores a los dueños forestales en la parte alta del río a cambio de que realicen actividades de protección y manejo de las cuencas hi-

drográficas. Por otra parte, la CVC destina parte de sus recursos a la compra de terrenos en áreas hidrológicas críticas.

En una situación similar se encontraban los usuarios del agua de la cuenca del río Guabas. En este caso la respuesta fue la creación de una Asociación de Usuarios, constituida inicialmente por productores de arroz de la zona pero que después abarcó todo tipo de productores, para asegurar el flujo de agua para sus cosechas. Los productores de la parte baja se comprometieron a pagar una tarifa que varía entre \$ 0.48 y \$ 2.81 dólares por litro/segundo y los fondos se pagan a través de la asociación a los dueños de los terrenos en la parte alta del río para que conserven la cobertura forestal y mejoren el manejo de sus tierras. La asociación se encarga de la recolección de las cuotas, el manejo de fondos y la distribución de los pagos entre los dueños de tierras en la parte alta del río.

NOTAS

1 Observe que el valor de tales depósitos se refleja en el costo de oportunidad de una mayor contaminación y pérdida de productividad del suelo.

2 Comunicación personal, Markku Simula, Indufor Oy. Reportes del Edinburgh Centre for Carbon Management. Consúltese: <http://www.eccm.uk.com>.

3 La integración de los Consejos usualmente sólo considera a los usuarios del agua y no a otros agentes presentes en las cuencas, como agricultores, ganaderos y productores forestales de las partes altas o los pescadores ribereños que sufren los efectos de los agentes contaminantes.

BIBLIOGRAFÍA

Adger, W.N., K. Brown, R. Cervigni y D. Moran 1995.

«Total economic value of forest in Mexico». *Ambio* 24: 286-296.

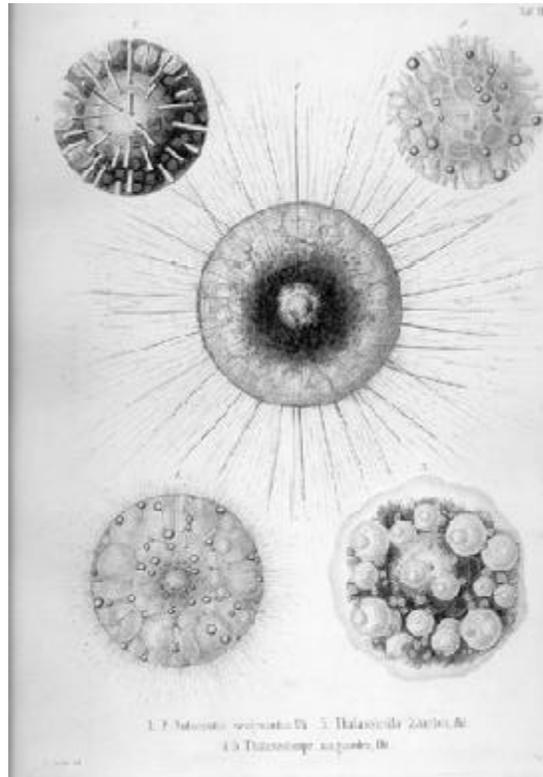
Altieri, M. y O. Masera 1993. «Sustainable Rural Development in Rural Latin America: Building from the Bottom Up». *Ecological Economics* 7: 93-121.

Agrawal, A. y C.C. Gibson 1999. «Enchantment and Disenchantment: The Role of Community in Natural Resource Conservation». *World Development* vol. 27 (4): 629-649.

Bellón, M.R., O.R. Masera y G. Segura 1993. *Response options for sequestering carbon in Mexican forests*. Reporte al F-7 International Network on Tropical Forestry and Global Climatic Change, Energy and Environment Division, Lawrence-Berkeley Laboratory, Environmental Protection Agency, Berkeley.

Benítez D., H. y L. Neyra G. 1997. «La biodiversidad de México y su potencial económico». En: INE. *Economía ambiental: Lecciones de América Latina*. Instituto Nacional de Ecología, México.

Bray, D. 1999. Evaluation of USFWS Grants No. 95-1354 (Consejo Nacional de la Fauna); 96-1330 (IMERNAR); 97-G181 (IMERNAR); 98-G165 (ALTERNARE); 99-G297 (ALTERNARE). Washington, D.C., octubre.



Brush, S. 1998. «Bio-cooperation and the Benefits of Crop Genetic Resources: The Case of Mexican Maize».

World Development 26(5): 755-766.

Burstein, J. 2000. *Informe sobre la propuesta de pago por servicios ambientales en México*. Foro para el desarrollo sustentable, A.C. San Cristóbal de las Casas, Chiapas, México, 70 pp.

Carabias L., J. y F. Tudela A. 2000. «El cambio climático: una amenaza global». En: *Primer Foro de divulgación sobre cambio climático*. SEMARNAP, México.

Comisión Nacional para el uso de la Biodiversidad (CONABIO) 2000. *La diversidad biológica en México: Estudio de País*. CONABIO, México.

Cordero C. y E. Morales 1998. *Panorama de la biodiversidad de México*. CONABIO, México, manuscrito.

CSERGE 1993. Annexes 3-6. Economic value of carbon sequestration, watershed protection, value of pharmaceuticals from Mexico's forests, existence value.

- Draft report to World Bank Latin America and the Caribbean-Country Department II. Mexico Forestry and Conservation Sector Review. Substudy of economic valuation of forests. Center for Social and Economic Research on the Global Environment.
- De Alba, E. y M.E. Reyes 2000. «Valoración económica de los recursos biológicos del país». En: CONABIO. *La biodiversidad biológica en México: Estudio de país*. CONABIO, México.
- De Jong, B.H.J., L. Soto P., G. Montoya G., K. Nelson, J. Taylor y R. Tipper 1996. «Forestry and agroforestry alternatives for carbon sequestration: an analysis from Chiapas, México». Draft Procc. Workshop on «Instruments for Global Warming Mitigation: The role of Agriculture and Forestry» Trento, Italia, 22 al 25 de mayo, pp 147-159.
- De Jong, B.H.J., G. Montoya-Gómez, K. Nelson, L. Soto-Pinto, J. Taylor y R. Tipper 1995. «Community Forest Management and Carbon Sequestration: a Feasibility Study from Chiapas, Mexico». *Interciencia* 20(6): 409-416.
- Del Río, J. A. 2000. Evaluación financiera del proyecto de captura de carbono *Scolec-Té* implementado en comunidades indígenas de Chiapas: Beneficios o pérdidas que genera para dichas comunidades. Tesis de titulación, CIDE, México.
- Diario Oficial de la Federación* 2000. 29 de diciembre. México.
- Dixon, R.K., K.J. Andrasko, F.G. Sussman, M.A. Lavison, M.C. Trexler y T.S. Vinson 1993. «Forest sector carbon offset projects: near term opportunities to mitigate greenhouse gas emissions.» *Water, Air and Soil Pollution* 70:561-577.
- Dominguez M.R., M. Jimenez E., F. Garcia J.y M.A. Salas S. 1994. *Modelo lluvia-escurrimiento*. Cuadernos de Inv. 5. CENAPRED, Mexico.
- Frankhauser, S. 1995. *Valuing climate change: the economics of the greenhouse*. Earthscan Publications Ltd., Londres.
- González D., B.E. 1995. Disponibilidad de pago para la restauración y mantenimiento de las áreas forestales. Tesis Profesional. Universidad de la Américas, Puebla. 70 pp.
- Hellier G. 2000. Edinburgh Center for Carbon Management (ECCM). Comunicación personal. Consultar: www.eccm.uk.com.
- Huerta, C. 1997. «La herbolaria.» *Biodiversitas*, año 3, no. 12.
- Jo, H.K. y E.G. McPherson 1995. «Carbon storage and flux in urban residential greenspace». *J. Env. Mgmt.* 45: 109-133.
- Instituto Nacional de Ecología (INE) 2000. Página de la Dirección General de Vida Silvestre. INE, SEMARNAT. www.ine.gob.mx/dgvs/index.html.
- Loa L. E., M. Cervantes A., L. Durand S. y A. Peña J. 1996. «Uso de la biodiversidad». En: CONABIO. *La biodiversidad biológica de México. Estudio de país*. CONABIO, México. pp. 104-153.
- Martínez M., M.R. y J. Fernández 1983. Jerarquización de las acciones de conservación de suelos a partir de cuencas hidrológicas. Chapingo, Mexico, mimeo.
- Masera, O. 1995. «México y el cambio climático global: El papel de la eficiencia energética y alternativas de manejo forestal en la reducción de emisiones de bióxido de carbono». En: Juan J. Jardón (ed.). *Energía y medio ambiente: Una perspectiva económico-social*. Plaza y Valdés Editores, México, pp 157-177.
- Masera, O., M.R. Bellón y G. Segura 1997. «Forestry Options for Sequestering Carbon in Mexico: Comparative Economic Analysis of Three Case Studies». *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* 27: 227-244.
- 1995. «Forest Management Options for Sequestering Carbon in Mexico». *Biomass and Bioenergy* 8(5): 357-367.
- Mendelsohn, R. y M.J. Balick 1995. «The Value of Undiscovered Pharmaceuticals in Tropical Forests». *Economic Botany* 49(2): 223-228.
- Mittermeier, R. y C. Goettsch 1992. «La importancia de la diversidad biológica de México». En: Sarukhán, J. y R. Dirzo (comps.). *México ante los retos de la biodiversidad*. CONABIO, México.

- Montoya, G., S. Soto, B. de Jong, K. Nelson, P. Farias, P. Yakac'tic, J. H. Taylor y R. Tipper 1995. *Desarrollo forestal sustentable: Captura de carbono en las zonas tzeltal y tojolabal del estado de Chiapas*. Instituto Nacional de Ecología, Centro de Investigaciones Ecológicas del Sureste, México.
- Muñoz, P.C. 1994. «The economic value of the Mexican Biodiversity». En: O'Tole R. y K. Hess, Jr. *Incentives for protecting north american biodiversity* 1(3). Oregon.
- Nabuurs, G. y G.M.J. Mohren 1993. Carbon fixation through forestation activities. Institute for forestry and Nature Research. IBN Report 93/4, Wageningen, Holanda.
- National Research Council 1993. Crop diversity: Institutional responses in managing global genetic resources. Washington, D.C.
- Nordhaus, D.W. 1992. «An optimal transaction path for controlling greenhouse gases». *Science* 258: 1315-1319.
- Pearce, D.W. y S. Puroshothaman 1992. *Protecting biological diversity. The economic value of pharmaceutical plants*. Global Environmental Change Working. Paper 92-27. CSERGE University of East Anglia y University College, Londres.
- Rivas T., D. M. Martinez M., E. Garcia M. y F. Gonzalez C. 1990. «Infiltración en tres complejos naturales suelo-vegetación de la cuenca del río Texcoco». *Agrociencia*. Serie Agua-Suelo-Clima. Vol. 1 No. 1.
- Rojas, M. 1999. «Selling clean air». En: A. Yoshimoto y K. Yুক্তake (eds.) *Global concerns for forest resource utilization*. Kluwer Academic Pub. Forestry Science Series. Pp. 35-46.
- Romo L., J.L. 1999. «Valuación económica de la migración de las mariposas monarca». *Aspectos económicos sobre la biodiversidad en México*. Instituto Nacional de Ecología y CONABIO, México.
- Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH) 1994. *Inventario Nacional Forestal de Gran Visión*. Subsecretaría Forestal y de la Fauna Silvestre. Documento Interno. 145 pp.
- Secretaría de Turismo 1999. Página de la Secretaría de Turismo: http://mexico-travel.com/mexico/owa/sectur.p_principal?p_idi=1&p_login=&p_version=HTML-632607.
- Tipper, R. 2000. Carbon offsets from forestry projects in developing countries. Report commissioned by the Department of the Environment, Transport, and Regions. ECCM, Edimburgo. 27 pp.
- Trexter, M.C. y C. Haugen 1995. *Keeping it green: tropical Forestry opportunities for mitigating climate change*. WRI, EPA. 52 pp.
- Tershy, R., L. Bourillón, L. Metzler y J. Barnes 1999. «A survey of ecotourism on islands in northwestern México». *Environmental Conservation* 26: 212-217.
- Wilsey, D. 2000. «Biodiversity, Conservation and the Payment for Environmental Services». En: Foro para el Desarrollo Sustentable, A.C.. San Cristóbal de las Casas, México.

FUENTE:

Gaceta ecológica

INE-REMARNAT MÉXICO



- ☞ CONOCIMIENTO TRADICIONAL, CONSERVACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE BENEFICIOS
- ☞ CAPTURA DE CARBONO Y DESEMPEÑO HIDRÁULICO EN MÉXICO
- ☞ INSTRUMENTOS FISCALES Y MEDIO AMBIENTE EN LOS PAÍSES DE LA OCDE
- ☞ UN ANÁLISIS DE LA TRANSFERENCIA DE POLÍTICAS PÚBLICAS
- ☞ THOMAS HENRY HUXLEY: EN UN TROZO DE GIS

☞ NÚMERO 63 • MÉXICO • 2002 • \$35 ☞

CONSEJO EDITORIAL

Juan Álvarez
*Cámara Nacional de la Industria
de la Transformación*

Juan Antonio Cuéllar
*Cámara de la Industria
de la Transformación*

Luis Manuel Guerra
*Instituto Autónomo
de Investigaciones Ecológicas*

Sergio Guevara
Instituto de Ecología, Xalapa

Hans Herrmann
*Comisión Ambiental
de Norteamérica*

Enrique Leff
*Programa de Naciones Unidas
para el Medio Ambiente*

Iván Restrepo
Centro de Ecología y Desarrollo

Carlos Sandoval
*Consejo Nacional
de Industriales Ecologistas*

Víctor Manuel Toledo
Centro de Ecología, UNAM

Raúl Tornel
*Confederación de Cámaras
Industriales de los Estados
Unidos Mexicanos*

Editor: Raúl Marcó del Pont Lalli

Tipografía, diseño y cuidado
de la producción:
Raúl Marcó del Pont Lalli

Corrección de estilo:
Eduardo Chagoya

Conocimiento tradicional de la biodiversidad: conservación, uso sustentable y reparto de beneficios

7

JOSÉ CARLOS FERNÁNDEZ, ALBERTO ALDAMA Y
CHRISTIAN LÓPEZ SILVA

¿Cuáles son las regulaciones que tienen que ver con el problema de la propiedad intelectual y los saberes indígenas? ¿Cuáles son los riesgos que enfrentan los poseedores de conocimientos tradicionales ante el avance de la biotecnología y el surgimiento de los mercados globalizados? ¿Cuáles son las posibilidades de que los propietarios de los recursos se beneficien de la derrama económica que genera la industria de los recursos genéticos?

En un trozo de gis

22

THOMAS H. HUXLEY

A partir de la descripción de un asunto al parecer menor, la caliza que cubre gran parte de su natal Inglaterra, Huxley se las ingenia para abordar el problema de la antigüedad de la Tierra y de su evolución, asunto que no resultaba menor en su época. Descrito con rigor y maestría, este trabajo no sólo plantea la existencia de un mundo «más viejo que Adán» sino que también el tema le sirve al autor para reflexionar sobre el papel de la ciencia y al conocimiento de la naturaleza.

El potencial de México para la producción de servicios ambientales: captura de carbono y desempeño hidráulico

40

JUAN MANUEL TORRES ROJO Y

ALEJANDRO GUEVARA SANGINÉS

Descripción de la situación actual de dos tipos de servicios ambientales y análisis para cada caso de dos elementos: estimación del potencial de dichos servicios y caracterización de la estructura actual de su mercado.

Diseño de portada: Álvaro Figueroa

Fotos de portada y cuarta
de forros: Claudio Contreras Koob

Certificado de licitud
de título: 9624

Certificado de licitud
de contenido: 6709

Certificado de reserva de los
derechos al uso exclusivo
del título y del contenido: 04-2001-
081414250000-102

Derechos reservados: Secretaría de
Medio Ambiente y Recursos
Naturales-Instituto Nacional
de Ecología. Esta edición consta
de 1,000 ejemplares.

Se debe citar la fuente toda vez que se
reproduzcan total o parcialmente
cualesquiera de los materiales inclui-
dos en este número. Los artículos no
firmados son responsabilidad del
editor. Los derechos sobre los artículos
son de los autores.

DIGITALIZACIÓN, NEGATIVOS, IMPRESIÓN
Y ACABADOS: Jiménez Editores
e Impresores, S.A.

Para informes sobre suscripciones y
distribución, comunicarse al correo
electrónico: gaceta@ine.gob.mx.
Este número y los anteriores de la
Gaceta ecológica (a excepción de los
números 1, 3, 4, 30, 33, 34, 35, 36,
37 y 40 que están agotados) pueden
obtenerse en el Instituto Nacional de
Ecología. Periférico sur 5000, Anexo
1, Col. Insurgentes Cuicuilco,
C.P. 04530. Deleg. Coyoacán,
México, D.F. Tel.: (55) 54 24 64 35,
fax: (55) 54 24 52 41.

Diseño y efectividad de los instrumentos fiscales relacionados con el medio ambiente en los países de la OCDE

JEAN PHILIPPE BARDE Y NILS AXEL BRAATHEN

Trabajo dividido en tres partes. La primera ubica a los instrumentos económicos relacionados con el ambiente en el marco de las herramientas fiscales. La segunda sintetiza algunos datos de países pertenecientes a la OCDE en materia de impuestos, cargas y derechos ambientales. Y la tercera parte sirve para la discusión de los resultados y la efectividad de dichos instrumentos.

60

Cómo tomar en cuenta las experiencias de otros: un análisis de la transferencia de políticas públicas

MARIANA BECERRA PÉREZ

Que un tipo de política ambiental haya funcionado en otras naciones no significa necesaria ni automáticamente que se pueda transferir sin más a otra realidad. Becerra analiza los supuestos que deben cumplirse para que un traspaso de este tipo tenga mayores posibilidades de éxito y describe las diferentes modalidades que hay para trasladar esquemas de una nación a otra, sus inconvenientes, posibilidades y restricciones.

75