

# Examen de los métodos para la medición y el seguimiento de las emisiones históricas de carbono producidas por la degradación forestal

*M. Herold, R.M. Román-Cuesta, V. Heymell, Y. Hirata,  
P. Van Laake, G.P. Asner, C. Souza, V. Avitabile y K. MacDicken*

*En ausencia de datos históricos de campo, los países en desarrollo pueden recurrir a la información coherente que encierran los datos terrestres actuales y las evaluaciones realizadas por telepercepción.*

Se ha calculado que las perturbaciones que conducen a la degradación forestal afectan aproximadamente a 100 millones de hectáreas de bosque al año (FAO, 2006, en Nabuurs *et al.*, 2007). Con respecto a la mitigación de los efectos del cambio climático, la degradación forestal consiste en la pérdida de las existencias de carbono de un bosque que sigue siendo bosque (IPCC, 2003a; CMNUCC, 2008). Por consiguiente, la degradación implica que el valor de las variables que son objeto de medición, tales como el dosel arbóreo, se mantiene por encima del umbral utilizado para definir el bosque. La degradación es un proceso distinto de la deforestación, la cual se asocia comúnmente con el cambio de uso de la tierra.

En 2005, la 11ª sesión de la Conferencia de las Partes de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) destacó que la función de reducción de la deforestación y degradación forestal representa la herramienta con la que es posible mitigar los efectos del cambio climático (reducción de emisiones por deforestación y degradación – REDD). La Conferencia reforzó el Artículo 2 del Protocolo de Kyoto en lo relativo a la protección y ampliación de los sumideros y reservorios de gases de efecto invernadero que no están bajo el control del Protocolo de Montreal.

Se ha estimulado a los países en desarrollo partes de la CMNUCC a hacer uso de las orientaciones existentes al emprender actividades relacionadas con REDD y REDD+ (CMNUCC, 2009a), en particular a la hora de poner en marcha sistemas nacionales de seguimiento forestal. Para estos sistemas es necesario combinar las técnicas de

telepercepción con los datos terrestres cuando se realizan inventarios del carbono forestal para calcular las emisiones de gases de efecto invernadero de origen antropogénico por fuentes, remociones por sumideros, existencias forestales de carbono y cambios en la superficie forestal. Todas las estimaciones deberían ser transparentes, congruentes y lo más exactas posibles, en la medida en que lo permitan las capacidades del país.

Medir la degradación forestal y los cambios conexos en las existencias de carbono es más complicado y costoso que medir la deforestación. Los países pueden servirse de estadísticas de campo y/o de datos de telepercepción para computar los índices de degradación actuales; pero una combinación de ambos tipos de información proporcionará las estimaciones más exactas. Sin embargo, como en los países en desarrollo se suele carecer de estadísticas de campo coherentes para evaluar la degradación histórica, se depende en ellos sobre todo de la información obtenida mediante telepercepción; esta información se mezcla con los datos actuales sobre cambios en las existencias de carbono procedentes de las evaluaciones de campo.

Con este artículo se busca secundar a los países en desarrollo en la ejecución de las actividades de REDD+. El estudio ofrece una visión de conjunto de los métodos de medición y seguimiento de emisiones de carbono producidas por la degradación forestal, y se enfoca en los períodos históricos con la finalidad de proporcionar una idea de los acontecimientos históricos de referencia de la degradación a la luz de las actividades de REDD+ (CMNUCC, 2009b).

**Martin Herold** es Catedrático de telepercepción del Centro de Geoinformación, Universidad de Wageningen (Países Bajos).

**Rosa María Román-Cuesta** trabaja en diseño y aplicación de sistemas de medición, notificación y verificación de REDD+ en el ámbito del Programa REDD de las Naciones Unidas, FAO, Roma.

**Victoria Heymell** es Consultora del Departamento Forestal de la FAO.

**Yasumasa Hirata** es Jefe de la Oficina de Cambio Climático, Instituto de Investigaciones sobre Actividades y Productos Forestales, Tsukuba (Japón).

**Patrick Van Laake** es Especialista técnico del Programa REDD de las Naciones Unidas para Viet Nam, Hanoi (Viet Nam).

**Gregory P. Asner** es Catedrático de ecología y telepercepción, Departamento de Ecología Global, Instituto Carnegie para la Ciencia, Estados Unidos de América.

**Carlos Souza** es Científico superior de IMAZON, Belem (Brasil).

**Valerio Avitabile** es Investigador posdoctoral del Centro de Geoinformación, Universidad de Wageningen (Países Bajos).

**Kenneth MacDicken** es Oficial superior de políticas forestales, Evaluación Forestal Mundial y Presentación de Informes, FAO.

## Definición de depósito de carbono según la Orientación sobre las buenas prácticas

El IPCC (2003b) define cinco tipos de depósitos de carbono que es preciso medir y controlar: la biomasa sobre el suelo, la biomasa bajo el suelo, la hojarasca, la madera muerta y el carbono orgánico del suelo. Las categorías de procedencia clave del carbono son las que deben ser objeto de evaluación y selección. Una categoría de procedencia se define como «una categoría de emisiones o categoría de depósito que en el repertorio nacional total de los gases de efecto invernadero directo recibe una atención prioritaria en lo que se refiere al nivel absoluto de emisiones, a la tendencia de las emisiones, o a estos dos elementos reunidos». Si se dispone de los recursos suficientes, la estimación de las categorías de procedencia clave debería hacerse refiriéndolas a los niveles más elevados (véase el recuadro, abajo). En las zonas tropicales, el seguimiento de la biomasa sobre el suelo es el único seguimiento que suele llevarse a cabo, pese a que las turberas, que encierran más carbono que la biomasa sobre el suelo, también deberían ser tomadas en cuenta.

### CÁLCULO DE LAS EMISIONES POR DEGRADACIÓN FORESTAL

#### Orientación del IPCC sobre las buenas prácticas

En virtud de lo estipulado en la CMNUCC, se estimula a los países a basar sus informaciones sobre emisiones de gases de efecto invernadero derivadas de la deforestación y la degradación forestal en la *Orientación sobre las buenas prácticas relacionadas con el uso de la tierra, el cambio del uso de la tierra y la silvicultura* (Orientación sobre las buenas prácticas) formulada por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) (IPCC, 2003b; 2006). Para estimar las emisiones provenientes de la degradación forestal, los países deberán tomar en cuenta:

- Las áreas de bosque que, vistas en el plano nacional, siguen constituyendo un bosque aunque afectado por la degradación, y que de preferencia deberían ser estratificadas de acuerdo con diferentes tipos de perturbación o degradación. Para el cálculo del área que está sufriendo los cambios y su localización se pueden usar datos de inventarios forestales o información obtenida por telepercepción. Los valores recabados se conocen como *datos de actividad*.
- Los cambios en las existencias de carbono debidos a los procesos de degradación, por áreas y unidades de tiempo. El carbono forestal perdido y liberado a la atmósfera a causa del proceso de degradación se mide normalmente por muestreo de campo y por inventariación repetida.

Los cambios deberían calcularse para cada uno de los cinco depósitos de carbono (véase el recuadro, arriba). Las mediciones se expresan en toneladas de carbono producido por hectárea y por año ( $\text{Mg C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ). Estos datos se conocen como *factores de emisión* (IPCC, 2003b; 2006).

Tal y como se indica en la metodología del IPCC, el valor de las emisiones nacionales que derivan de la degradación forestal resulta, para cada tipo de degradación, de la combinación de los datos de actividad con los factores de emisión.

### Niveles para el cálculo de emisiones descritos en la Orientación sobre las buenas prácticas

El IPCC (2003b) menciona tres niveles para la categorización de los métodos de cálculo de las emisiones. Mientras más alto es el nivel, más rigurosos son los requisitos para la obtención de los datos, y más complejo el análisis realizado. Por lo tanto, mientras más alto es el número que designa el nivel, más exacta será la estimación.

- En el nivel 1 se utilizan valores por defecto para la biomasa forestal y para el incremento medio anual (IMA) de la biomasa forestal. Los valores se obtienen a partir de la base de datos sobre el factor de emisión del IPCC y corresponden a los tipos generales de bosque continental (es decir, la pluviselva tropical africana). En el nivel 1 también se parte de suposiciones simplificadas para el cálculo de las emisiones.
- En el nivel 2 se utilizan datos específicos del país (es decir, datos que han sido recopilados dentro de las fronteras nacionales). En este nivel, la biomasa forestal se describe a una escala de resolución más fina porque se hace uso de un mayor número de estratos con información pormenorizada.
- En el nivel 3 se recurre a inventarios reales y a mediciones reiteradas practicadas en parcelas permanentes para valorar directamente los cambios que han ocurrido en la biomasa forestal. Además de, o en sustitución de los inventarios, se puede hacer uso de modelos parametrizados que se combinarán con los datos sobre las parcelas.

El método correspondiente al nivel 3 supone destinar recursos durante un período prolongado, y exige por lo general que una organización permanente se encargue del programa de seguimiento.

En conformidad con lo estipulado por la CMNUCC, en la Orientación sobre las buenas prácticas se formula, en términos de nivel, el grado de complejidad y de certidumbre que pueden tener los distintos métodos para la declaración de emisiones. Mientras más alto es el nivel, menor es el grado de incertidumbre de los datos y por consiguiente mayor es su exactitud (véase el recuadro, abajo).

#### Desafíos y observaciones

No existe un método único para el seguimiento de la degradación forestal. La elección del método, o de la combinación de métodos, depende de varios factores como el tipo de la degradación, los datos disponibles, las capacidades y los recursos. Además, deben ser tomadas en cuenta las ventajas potenciales y las limitaciones de los distintos procedimientos de medición y seguimiento. A los diferentes métodos se asocian varios órdenes de dificultades:

- *Umbrales temporales y escalas espaciales*. El efecto de la degradación en las existencias forestales de carbono depende del tiempo. Sería oportuno establecer umbrales temporales para cada tipo de bosque a fin de evitar que los efectos de la reducción de las existencias a corto plazo se sumen

a los de la reducción a largo plazo. Las prácticas de ordenación forestal sostenible, por ejemplo, pueden causar modificaciones temporales en las existencias de carbono que no conducen a la degradación, mientras que las prácticas insostenibles pueden ocasionar degradación a largo plazo.

- **Integración de los datos de campo y los datos satelitales.** El seguimiento de los cambios en las existencias de carbono por degradación del bosque depende esencialmente de la realización de estudios de campo. Los mejores datos son los que se obtienen gracias a la integración de informaciones de telepercepción e informaciones de campo que describen las propiedades biofísicas específicas del lugar. Es esencial saber cuáles son los parámetros biofísicos que hay que medir y cuáles los umbrales temporales que permiten relacionar ambos registros de información.
- **Impacto espacial e intensidad.** Las diferentes actividades que causan la degradación forestal se concentran a menudo en determinadas zonas de un país. Los esfuerzos para medir y controlar la degradación deben permitir llevar a cabo el seguimiento de las principales actividades y conocer sus impactos, con el fin de que el uso de los recursos pueda ser el más eficaz posible (Herold y Skutsch, 2011).
- **Identificación de los principales depósitos de carbono afectados por la degradación.** Los métodos para calcular los cambios en las existencias de carbono varían según cual sea el depósito de carbono considerado (véase el recuadro, página 17, arriba) y según el nivel de las emisiones de gases de efecto invernadero distintos del dióxido de carbono, por ejemplo el metano y el óxido nitroso.

La medición de la degradación forestal ocurrida en el pasado tropieza con dificultades adicionales. Esta degradación es importante porque indica el potencial de un país para llevar a cabo la reducción de sus emisiones. La estimación *ex ante* de la degradación forestal puede ser necesaria para fijar un nivel de emisiones respecto al cual se calculará la reducción de emisiones para un período dado.

Además de las consideraciones generales relacionadas con la metodología, la evaluación de la degradación pretérita tropieza con las siguientes dificultades:

- **Carencia de datos.** Muchos países, en particular los situados en regiones tropicales, carecen de datos históricos sobre la degradación del bosque y sus repercusiones en las existencias de carbono. Los datos históricos nacionales se limitan a menudo a los archivos de información satelital; y la propia telepercepción es una técnica imperfecta para detectar la degradación.
- **Insuficiencia de capacidades.** Si bien muchos países en desarrollo han adquirido un cierto grado de experiencia en materia de seguimiento de las actividades forestales comerciales y llevan registros de los datos adquiridos, sus recursos humanos y otras capacidades a menudo son insuficientes para llevar a cabo un estudio nacional de la deforestación pretérita y la degradación del bosque.

- **Consideraciones de índole temporal.** No existe en la actualidad un convenio para definir un umbral temporal relacionado con la pérdida de carbono a largo plazo. Las pérdidas de carbono acumulativas graduales y prolongadas se pueden medir por diversos métodos directos. En el caso de las que ocurren más rápidamente, las observaciones satelitales y de campo pueden verse impedidas a causa del cerramiento del vuelo arbóreo.
- **Integración de diferentes fuentes de los datos.** No es frecuente que se disponga de series de datos sobre la degradación del bosque que ha ocurrido en el pasado; y resulta muy difícil combinar los datos de telepercepción con la información acerca de las propiedades biofísicas específicas del lugar sacada de evaluaciones anteriores o de otras fuentes.
- **Incongruencias a la hora de vincular los conjuntos de datos históricos y actuales con las metodologías.** Los diferentes sistemas que se han utilizado para adquirir datos

#### Selección de estudios sobre métodos para medir la degradación forestal

País	Telepercepción	Recolección de datos de campo	Combinación de ambas	Detalles metodológicos	Fuente
Brasil			X	Relación entre el análisis espectral de mezclas y la biomasa sobre el suelo, medida en la faja forestal.	FAO, 2009a
República Democrática del Congo	X			Medición de campo de la degradación forestal en parcelas permanentes.	FAO, 2009b
México		X		Mediciones efectuadas en 23 000 de las aproximadamente 25 000 parcelas de 1 ha establecidas; las mediciones se repitieron cada año en el 20 % de las parcelas.	de Jong <i>et al.</i> , 2010
México			X	Perturbación del bosque: bosque inalterado dominado por árboles y arbustos secundarios.  Relación entre el índice MODIS normalizado diferencial de la vegetación y el volumen de la biomasa aérea derivado del inventario forestal nacional.	FAO, 2009c
Nepal	X	X	X	Comparación entre los métodos utilizados en Nepal para medir la degradación.	FAO, 2009d





### Bosques intactos e infraestructuras humanas



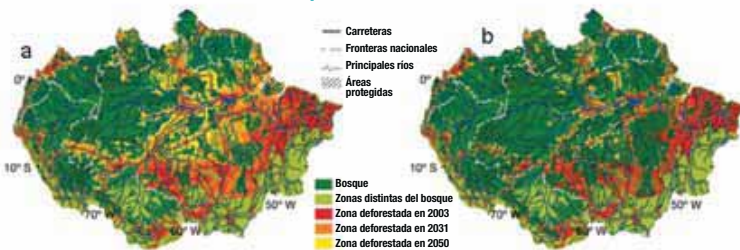
2

### Ejemplos de métodos indirectos para la medición de la degradación forestal

Arriba: estimación de bosques inalterados y no inalterados según las zonas de influencia (zonas tampón) determinadas por las infraestructuras humanas. El ejemplo ilustra la evolución de un paisaje forestal en el cual se han construido nuevas carreteras que han ocasionado una reducción de la superficie total del bosque inalterado (cuadrículas verdes)

Abajo: modelos de deforestación futura en la cuenca amazónica basados en dos hipótesis: a) si todo sigue igual, y b) aplicación de medidas de gobernanza eficaz

### Modelos de hipótesis sobre la deforestación



Fuentes: Arriba: Mollicone *et al.*, 2007. Abajo: Soares-Filho *et al.*, 2006.

## Recolección de datos sobre corta selectiva

Según cálculos de la OIMT (2006), se dedican a la producción maderera en la actualidad 350 millones de hectáreas de bosque húmedo tropical. Los datos históricos de campo para evaluar el impacto de carbono derivado de la corta selectiva pueden provenir de diferentes fuentes:

- de la información procedente de encuestas selectivas de campo, como entrevistas, y de investigaciones y parcelas permanentes de ensayo (que con frecuencia constituyen proyectos de estudio locales);
- de la información procedente de actividades forestales comerciales, por ejemplo concesiones madereras y estimaciones de aprovechamiento; esta información se centra en las áreas de concesión conexas;
- de datos sustitutos relativos a los mercados nacionales (carbón, medios de subsistencia), tales como los índices de producción maderera contenidos en las estadísticas de aserraderos o las estadísticas relativas a operaciones de ventas y exportaciones (Nepstad *et al.*, 1999).

La cartografía satelital directa o indirecta aplicada a la corta selectiva para el cálculo de la degradación forestal nacional es un técnica que hoy en día está en auge. Las investigaciones sobre cartografía satelital iniciaron a comienzos de este siglo con resultados que han ido mejorando regularmente (Asner *et al.*, 2002; 2004; Souza *et al.*, 2003; Souza, Roberts y Cochrane, 2005). En los últimos años se han publicado los primeros mapas satelitales en gran escala de alta resolución sobre la corta selectiva y la degradación para una gran parte de la Amazonia brasileña (Asner *et al.*, 2005), la totalidad del África (Laporte *et al.*, 2007), partes de Oceanía (Shearman *et al.*, 2008) y para otros países amazónicos (Oliveira *et al.*, 2007). Últimamente, una primera investigación cartográfica directa de alcance mundial sobre la corta selectiva en bosques tropicales húmedos ha mostrado que el efecto perturbador de las actividades extractivas llega muy adentro en el bosque y se deja sentir a menudo a gran distancia de los frentes de deforestación (Asner *et al.*, 2009).

piso inferior y no se detectan al analizar las imágenes. En la Figura 1 se presentan dos ejemplos que ilustran los métodos directos.

Los métodos indirectos se demuestran útiles si la intensidad de la degradación ha sido leve y la superficie por evaluar es extensa; o cuando no se dispone fácilmente de imágenes satelitales o si por cualquiera otra razón no es posible aplicar los métodos directos. Los métodos indirectos funcionan mejor para cartografiar zonas recientemente degradadas, pero son menos eficaces cuando los episodios de degradación han sido reiterados.

El llamado enfoque del «bosque inalterado» es un método indirecto muy efectivo. En este enfoque la infraestructura humana vale como indicador sustitutivo de la degradación, y su ausencia permite identificar las tierras forestales que están libres de perturbación antropógena, es decir el bosque inalterado (Mollicone *et al.*, 2007; Potopov *et al.*, 2008). Un bosque inalterado es un bosque espeso. Se considera también bosque inalterado todo bosque con cubierta imperturbada equivalente al 10 a 100 por ciento de su superficie, es decir un terreno forestal en el cual no ha habido extracción de madera. Un bosque no inalterado no es un bosque espeso. La cubierta forestal del tal bosque supera el 10 por ciento, por lo que el bosque cumple con las condiciones definitorias enunciadas en el Protocolo de Kyoto, pero se supone que en ese bosque la extracción maderera sí ha tenido lugar y/o que el dosel se ha degradado.

Otro método indirecto que permite estimar tanto la dinámica futura como



**Carretera, río y zona boscosa, Indonesia. Las fotografías aéreas pueden proporcionar información sobre los cambios estructurales del dosel arbóreo a lo largo del tiempo**

FAO/H. HIRAOKE

la dinámica histórica de la degradación forestal es por modelización de hipótesis. Soares-Filho *et al.* (2006) publicaron un ejemplo de modelos de deforestación en la cuenca amazónica mediante mapas de simulación de la deforestación futura con arreglo a diversas hipótesis definidas por los usuarios. Si se dispone de datos de campo idóneos, un método de modelización similar podría usarse para construir o reconstruir las hipótesis históricas y futuras de la degradación forestal. En la Figura 2 se ofrecen dos ejemplos de métodos indirectos para la evaluación de la degradación.

### **Fotografía aérea**

La fotografía aérea ha jugado un papel importante en los estudios forestales (Caylor, 2000; Hall, 2003), y representaba, hasta 1999, año del lanzamiento de IKONOS, primer satélite para la captura de imágenes de alta resolución consultables por el público, el único medio para hacer el seguimiento del estado del dosel. Mediante la fotografía aérea se obtienen informaciones sobre los cambios estructurales del dosel a lo largo del tiempo que sirven para conocer las tasas históricas de la degradación del bosque. En los estudios de largo plazo sobre la dinámica del dosel se han aplicado técnicas para la detección de los vacíos, que consisten

en modelos digitales multitemporales de la superficie (Nakashizuka, Katsuki y Tanaka, 1995; Tanaka y Nakashizuka, 1997; Itaya, Miura y Yamamoto, 2004; Ticehurst, Phinn y Held, 2007). Estos modelos se obtienen a partir de fotografías aéreas o por medio del sistema lidar, y permiten calcular también el crecimiento del bosque.

La calidad de las estimaciones de las tasas históricas de la degradación es aún mejor si las imágenes satelitales se someten a análisis adicionales, en particular para evaluar los cambios en las existencias de carbono de cada árbol. La altura del árbol y la superficie de la copa se pueden calcular mediante fotografías aéreas o por el sistema lidar, y los cálculos alométricos, gracias a los cuales es posible hacer extrapolaciones a partir de un pequeño número de mediciones, sirven para estimar las existencias de carbono de cada árbol. Sin embargo, con frecuencia las ecuaciones alométricas relativas a la altura, diámetro y biomasa del árbol no dan cuenta de la complejidad estructural de los bosques tropicales ni de las especies que los componen.

Otros dos métodos para la evaluación de la superficie de las copas por fotografía aérea son el sistema de seguimiento del valle (Leckie *et al.*, 2003; 2004; Gougeon y Leckie, 2006), que consiste en el rastreo

de los valles de sombra mediante imágenes en escala de grises, y el método de cuencas hidrográficas (Wang, Gong y Biging, 2004; Hirata, Sakai y Tsuboto, 2009), que percibe la magnitud del gradiente de la imagen como una superficie topográfica con sus límites o «lindes de cuenca» de acuerdo con los píxeles más grandes. Este último método puede servir para determinar la degradación del dosel.

### **Seguimiento de la biomasa en combustión**

Las sistemas de observación satelital han demostrado ser técnicas útiles para la detección y el seguimiento de los incendios, porque cumplen tres propósitos principales: la identificación de los incendios activos, la cartografía de las superficies quemadas (cicatrices dejadas por el fuego), y la caracterización de los incendios (p. ej., gravedad del fuego, cantidad de energía liberada). Existen para el estudio de la quema dos técnicas particularmente útiles: el método directo y el indirecto (GOFC-GOLD, 2010):

1. Un método ascendente o indirecto (Seiler y Crutzen, 1980):

$$L = A \times Mb \times Cf \times Gef,$$

donde la cantidad de gas emitido o particulados  $L$  (g) es el producto de la superficie afectada por el fuego  $A$  ( $m^2$ ), la carga combustible por unidad de superficie  $Mb$  ( $g\ m^{-2}$ ), el factor de combustión  $Cf$ , que equivale a la proporción de biomasa consumida por el fuego ( $g\ g^{-1}$ ), y el factor o razón de emisión  $Gef$ , que equivale a



FAO/C. PALMBERG/LEICHTHE

**El análisis de los datos de satélite puede dar indicaciones para estimar las emisiones provenientes de la biomasa en combustión**



la cantidad de gas liberado por cada especie gaseosa por unidad de carga de biomasa consumida ( $\text{g g}^{-1}$ ). Con este método existe una gran incertidumbre en cuanto a la superficie quemada y el factor de combustión. Esto es especialmente cierto en el caso de las evaluaciones de episodios históricos de quema de biomasa para los cuales se dispone de escasos conjuntos de datos.

- Un método directo con el cual se mide la energía emitida por los incendios activos y que permite calcular la totalidad de la biomasa consumida. El componente radiativo de la energía liberada durante la quema de la vegetación se puede conocer por telepercepción a longitudes de onda infrarrojas medianas y térmicas (Ichoku y Kaufman, 2005; Wooster *et al.*, 2005; Smith y Wooster, 2005). Se ha demostrado que esta medida instantánea —el poder radiativo del fuego expresado en vatios (W)— se relaciona con el índice de consumo de la biomasa ( $\text{g/s}$ ). Sin embargo, los métodos directos son aún del dominio de la investigación y no han tenido aplicaciones prácticas.

## CONCLUSIONES

La medición de la degradación forestal y de los cambios afines en las existencias de carbono resulta más complicada y costosa que la medición de la deforestación. Las mediciones consisten en la observación de modificaciones de la estructura del bosque —no siempre fácilmente detectables por telepercepción— que no han implicado cambios en el uso de la tierra.

Parece poco probable que la medición coherente y exacta de la totalidad de los cambios en las existencias de carbono resultantes de la degradación forestal ocurridos en el país pueda realizarse en el futuro cercano. Las actividades de seguimiento podrían ser más selectivas y eficaces y desvelar en primer lugar los elementos fundamentales de los cambios si las indagaciones se concentrasen en los principales depósitos de carbono y en las zonas del país donde las actividades que ocasionan la degradación se llevan a cabo con mayor intensidad.

Para que las acciones de seguimiento correspondan a la Orientación del IPCC sobre las buenas prácticas y la gestión

de la incertidumbre en los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, los países deben evaluar tanto los cambios en las existencias de carbono (factores de emisión) como la superficie total sometida a degradación (datos de actividad). Lo ideal sería que las mediciones tuviesen por objetivo actividades —incendios, extracción maderera, extracción de leña— que determinan cambios en las existencias de carbono de bosques que siguen siendo bosques.

Para la evaluación de los cambios en las existencias de carbono se precisa disponer de datos terrestres coherentes. En particular para los países en desarrollo, la evaluación de la totalidad de la superficie sometida a degradación en lo concerniente a la corta selectiva y al fuego —principales causantes de la degradación— se podría llevar a cabo con mayor fiabilidad mediante telepercepción. Para evaluar las emisiones que resultan tanto de la degradación forestal actual como de la degradación que ha ocurrido en el pasado, será necesario reunir una información congruente que dé cuenta de los factores de emisión y de los datos de actividad. ♦



## Bibliografía

- Asner, G.P., Keller, M., Pereira, R. Jr. y Zweede, J.C. 2002. Remote sensing of selective logging in Amazonia: assessing limitations based on detailed field observations, Landsat ETM+, and textural analysis. *Remote Sensing of Environment*, 80(3): 483–496. DOI: 10.1016/S0034-4257(01)00326-1.
- Asner, G.P., Keller, M., Pereira, R. Jr., Zweede, J.C. y Silva, J.N.M. 2004. Canopy damage and recovery after selective logging in Amazonia: field and satellite studies. *Ecological Applications*, 14(4 Suppl.): S280–S298. DOI: 10.1890/01-6019.
- Asner, G.P., Knapp, D.E., Broadbent, E.N., Oliveira, P.J.C., Keller, M. y Silva, J.N. 2005. Selective logging in the Brazilian Amazon. *Science*, 310(5747): 480–482. DOI: 10.1126/science.1118051.
- Asner, G.P., Rudel, T.K., Aide, T.M., Defries, R. y Emerson, R. 2009. A contemporary assessment of change in humid tropical forests. *Conservation Biology*, 23(6):1386–1395. DOI: 10.1111/j.1523-1739.2009.01333.x.
- Caylor, J. 2000. Aerial photography in the next decade. *Journal of Forestry*, 98(6): 17–19.
- CMNUCC. 2008. Informal Meeting of Experts on Methodological Issues related to Forest Degradation, 20 y 21 de octubre de 2008, Bonn, Alemania: resumen del presidente de los principales mensajes de la reunión. Disponible en: [unfccc.int/methods\\_science/redd/items/4579.php](http://unfccc.int/methods_science/redd/items/4579.php)
- CMNUCC. 2009a. Decision 4/CP.15: Methodological guidance for activities relating to reducing emissions from deforestation and forest degradation and the role of conservation, sustainable management of forests and enhancement of forest carbon stocks in developing countries. En *Report of the Conference on its fifteenth session, held in Copenhagen from 7 to 19 December 2009*. Part two: Action taken by the Conference of the Parties at its fifteenth session. Disponible en: [unfccc.int/resource/docs/2009/cop15/eng/11a01.pdf#page=11](http://unfccc.int/resource/docs/2009/cop15/eng/11a01.pdf#page=11).
- CMNUCC. 2009b. *Cost of implementing methodologies and monitoring systems relating to estimates of emissions from deforestation and forest degradation, the assessment of carbon stocks and greenhouse gas emissions from changes in forest cover, and the enhancement of forest carbon stocks*. Documento técnico. Disponible en: [unfccc.int/resource/docs/2009/tp/01.pdf](http://unfccc.int/resource/docs/2009/tp/01.pdf).
- Coops, N.C., Wulder, M.A. y White, J.C. 2007. Identifying and describing forest disturbance and spatial pattern: data selection issues and methodological implications. En M.A. Wulder y S.E. Franklin, eds., *Understanding forest disturbance and spatial pattern: remote sensing and GIS approaches*. Boca Raton, EE.UU., Taylor and Francis, pp. 31–62. DOI: 10.1201/9781420005189.ch2.
- De Jong, B., Anaya, C., Masera, O., Olguín, M., Paz, F., Etchevers, J., Martínez, R.D., Guerrero, G. y Balbontín, C. 2010. Greenhouse gas emissions between 1993 and 2002 from land-use change and forestry in Mexico. *Forest Ecology and Management*, 260(10): 1689–1701. DOI: 10.1016/j.foreco.2010.08.011.
- FAO. 2006. *Evaluación de los recursos forestales mundiales 2005 – Hacia la*

- ordenación forestal sostenible. Estudio FAO: Montes N° 147. Roma (también disponible en <http://www.fao.org/docrep/009/a0400s/a0400s00.htm>).
- FAO.** 2009a. *Integrating forest transects and remote sensing data to quantify carbon loss due to forest degradation in the Brazilian Amazon*, por C.M. Souza, Jr., M.A. Cochrane, M.H. Sales, A.L. Monteiro y D. Mollicone. Forest Resources Assessment Working Paper No. 161. Roma (también disponible en [www.fao.org/docrep/012/k7180e/k7180e00.pdf](http://www.fao.org/docrep/012/k7180e/k7180e00.pdf)).
- FAO.** 2009b. *La dégradation des forêts en République Démocratique du Congo*, por C.M. Kamungandu. Évaluation des ressources forestières. Document de travail 169. Roma (también disponible en [www.fao.org/docrep/012/k8270f/k8270f00.pdf](http://www.fao.org/docrep/012/k8270f/k8270f00.pdf)).
- FAO.** 2009c. *Análisis del índice normalizado de la vegetación (NDVI) para detección de degradación de la cubierta forestal en México 2008-2009*, por C.L.M. Tovar. Evaluación de los recursos forestales. Documento de trabajo N° 173. Roma (también disponible en [www.fao.org/docrep/012/k8593s/k8593s00.pdf](http://www.fao.org/docrep/012/k8593s/k8593s00.pdf)).
- FAO.** 2009d. *Forest degradation in Nepal: review of data and methods*, por K.P. Acharya y R.B. Dangi. Forest Resources Assessment Working Paper No. 163. Roma (también disponible en [www.fao.org/docrep/012/k7608e/k7608e00.pdf](http://www.fao.org/docrep/012/k7608e/k7608e00.pdf)).
- GOFC-GOLD (Global Observation of Forest and Land Cover Dynamics).** 2010. *A sourcebook of methods and procedures for monitoring and reporting anthropogenic greenhouse gas emissions caused by deforestation, gains and losses of carbon stocks in forests remaining forests, and forestation*. GOFC-GOLD Report version COP15-1. Alberta, Canadá, Natural Resources Canada (también disponible en [www.gofc-gold.uni-jena.de/redd/](http://www.gofc-gold.uni-jena.de/redd/)).
- Gougeon, F.A. y Leckie, D.G.** 2006. The individual tree crown approach applied to IKONOS images of a coniferous plantation area. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 72(11): 1287–1297.
- Hall, R.J.** 2003. The roles of aerial photographs in forestry remote sensing image analysis. En M.A. Wulder y S.E. Franklin, eds., *Remote sensing of forest environments: concepts and case studies*. Boston, EE.UU., Dordrecht, Países Bajos y Londres, Kluwer Academic Publishers, pp. 47–75.
- Herold M. y Skutsch, M.** 2011. Monitoring, reporting and verification for national REDD+ programmes: two proposals. *Environmental Research Letters*, 6(1): 014002. DOI: 10.1088/1748-9326/6/1/014002.
- Hirata, Y., Sakai, A. y Tsuboto, Y.** 2009. Allometric models of DBH and crown area derived from QuickBird panchromatic data in *Cryptomeria japonica* and *Chamaecyparis obtusa* stands. *International Journal of Remote Sensing*, 30(19): 5071–5088. DOI: 10.1080/01431160903022977.
- Ichoku, C. y Kaufman, Y.J.** 2005. A method to derive smoke emission rates from MODIS fire radiative energy measurements. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 43(11): 2636–2649. DOI: 10.1109/TGRS.2005.857328.
- IPCC.** 2003a. *Definitions and Methodological Options to Inventory Emissions from Direct Human-induced Degradation of Forests and Devegetation of Other Vegetation Types*. Hayama, Japón, Instituto para las Estrategias Ambientales Globales para el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (también disponible en [www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpplulucf/degradation\\_contents.html](http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpplulucf/degradation_contents.html)).
- IPCC.** 2003b. *Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry*. Hayama, Japón, Instituto para las Estrategias Ambientales Globales para el IPCC (también disponible en [www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpplulucf/gpplulucf\\_contents.html](http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpplulucf/gpplulucf_contents.html)).
- IPCC.** 2006. *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Vol. 4: Agriculture, forestry and other land use*. Hayama, Japón, Instituto para las Estrategias Ambientales Globales para el IPCC (también disponible en [www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.htm](http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.htm)).
- Itaya, A., Miura, M. y Yamamoto, S.** 2004. Canopy height changes of an old-growth evergreen broad-leaved forest analyzed with digital elevation models. *Forest Ecology and Management*, 194(1–3): 403–411.
- Laporte, N.T., Stabach, J.A., Grosch, R., Lin, T.S. y Goetz, S.J.** 2007. Expansion of industrial logging in central Africa. *Science*, 316(5830): 1451. DOI: 10.1126/science.1141057.
- Leckie, D.G., Gougeon, F.A., Walsworth, N. y Paradine, D.** 2003. Stand delineation and composition estimation using semi-automated individual tree crown analysis. *Remote Sensing of Environment*, 85(3): 355–369. DOI: 10.1016/S0034-4257(03)00013-0.
- Leckie, D.G., Jay, C., Gougeon, F.A., Sturrock, R.N. y Paradine, D.** 2004. Detection and assessment of trees with *Phellinus weirii* (laminated root rot) using high resolution multi-spectral imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 25(4): 793–818.
- Malhi, Y. y Román-Cuesta, R.M.** 2008. Analysis of lacunarity and scales of spatial homogeneity in IKONOS images of Amazonian tropical forest canopies. *Remote Sensing of Environment*, 112(5): 2074–2087. DOI: 10.1016/j.rse.2008.01.009.
- Mollicone, D., Achard, F., Federici, S., Eva, H.D., Grassi, G., Belward, A., Raes, F., Seufert, G., Stibig, H.-J., Matteucci, G. y Schulze, E.-D.** 2007. An incentive mechanism for reducing emissions from conversion of intact and non-intact forests. *Climatic Change*, 83(4): 477–493. DOI: 10.1007/s10584-006-9231-2.
- Nabuurs, G.J., Masera, O., Andrasko, K., Benítez-Ponce, P., Boer, R., Dutschke, M., Elsidig, E., Ford-Robertson, J., Frumhoff, P., Karjalainen, T., Krankina, O., Kurz, W.A., Matsumoto, M., Oyhantcabal, W., Ravindranath, N.H., Sanz Sánchez, M.J. y Zhang, X.** 2007. Forestry. En B. Metz, O. Davidson, P. Bosch, R. Dave y L. Meyer, eds., *Climate Change 2007: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, Reino Unido, y Nueva York, EE.UU., Cambridge University Press, pp. 541–584.
- Nakashizuka, T., Katsuki, T. y Tanaka, H.** 1995. Forest canopy structure analyzed by using aerial photographs. *Ecological Research*, 10(1): 13–18. DOI: 10.1007/BF02347651.
- Nepstad, D.C., Verissimo, A., Alencar, A., Nobre, C., Lima, E., Lefebvre, P., Schlesinger, P., Potter, C., Moutinho, P., Mendoza, E., Cochrane, M. y Brooks, V.** 1999. Large-scale impoverishment of Amazonian forests by logging and fire. *Nature*, 398: 505–508. DOI: 10.1038/19066.
- OIMT.** 2006. *Status of tropical forest management 2005*. ITTO Technical Series



- No. 24. Yokohama, Japón, Organización Internacional de las Maderas Tropicales. Disponible en: [www.itto.or.jp/live/PageDisplayHandler?pageId=270](http://www.itto.or.jp/live/PageDisplayHandler?pageId=270).
- Oliveira, P.J.C., Asner, G.P., Knapp, D.E., Almeida, A., Galván-Gildemeister, R., Keene, S., Raybin, R.F. y Smith, R.C.** 2007. Land-use allocation protects the Peruvian Amazon. *Science*, 317(5842): 1233–1236.
- Potapov, P., Yaroshenko, A., Turubanova, S., Dubinin, M., Laestadius, L., Thies, C., Aksenov, D., Egorov, A., Yesipova, Y., Glushkov, I., Karpachevskiy, M., Kostikova, A., Manisha, A., Tsybikova, E. y Zhuravleva, I.** 2008. Mapping the world's intact forest landscapes by remote sensing. *Ecology and Society*, 13(2):51. Disponible en: [www.ecologyandsociety.org/vol13/iss2/art51/](http://www.ecologyandsociety.org/vol13/iss2/art51/).
- Seiler, W. y Crutzen, P.J.** 1980. Estimates of gross and net fluxes of carbon between the biosphere and the atmosphere from biomass burning. *Climatic Change*, 2(3): 207–247. DOI: 10.1007/BF00137988.
- Shearman, P., Bryan, J., Ash, J., Hunnam, P., Mackey, B. y B. Lokes.** 2008. *The State of the Forests of Papua New Guinea: mapping the extent and condition of forest cover and measuring the drivers of forest change in the period 1972–2002*. Port Moresby, Papua Nueva Guinea, Universidad de Papua Nueva Guinea.
- Smith, A.M.S. y Wooster, M.J.** 2005. Remote classification of head and backfire types from MODIS fire radiative power and smoke plume observations. *International Journal of Wildland Fire*, 14(3): 249–254. DOI: 10.1071/WF05012.
- Soares-Filho, B.S., Nepstad, D.C., Curran, L.M., Cerqueira, G.C., Garcia, R.A., Ramos, C.A., Voll, E., McDonald, A., Lefebvre, P. y Schlesinger, P.** 2006. Modelling conservation in the Amazon basin. *Nature*, 440: 520–523. DOI: 10.1038/nature04389.
- Souza, C. Jr., Firestone, L., Silva, L.M. y Roberts, D.** 2003. Mapping forest degradation in the Eastern Amazon from SPOT4 through spectral mixture models. *Remote Sensing of Environment*, 87(4): 494–506. DOI: 10.1016/j.rse.2002.08.002.
- Souza, C. Jr., Roberts, D.A. y Cochrane, M.A.** 2005. Combining spectral and spatial information to map canopy damage from selective logging and forest fires. *Remote Sensing of Environment*, 98: 329–343. DOI: 10.1016/j.rse.2005.07.013.
- Tanaka, H. y Nakashizuka, T.** 1997. Fifteen years of canopy dynamics analyzed by aerial photographs in a temperate deciduous forest, Japan. *Ecology*, 78: 612–620. DOI: 10.1890/0012-9658(1997)078[0612:FYO CDA]2.0.CO;2.
- Ticehurst, C., Phinn, S y Held, A.** 2007. Using multitemporal digital elevation model data for detecting canopy gaps in tropical forests due to cyclone damage: an initial assessment. *Austral Ecology*, 32(1): 59–69. DOI: 10.1111/j.1442-9993.2007.01734.x.
- Wang, L., Gong, P. y Biging, G.S.** 2004. Individual tree-crown delineation and treetop detection in high-spatial-resolution aerial imagery. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 70(3): 351–357.
- Wooster, M.J., Roberts, G., Perry, G.L.W. y Kaufman, Y.J.** 2005. Retrieval of biomass combustion rates and totals from fire radiative power observations: FRP derivation and calibration relationships between biomass consumption and fire radiative energy release. *Journal of Geophysical Research*, 110: D24311. DOI: 10.1029/2005JD006318. ♦