

MONITOREO GLOBAL DE BOSQUES TROPICALES MEDIANTE SATELITES: ESTADO ACTUAL

Por *Lorrain Giddings*¹

y *Juan Chávez-Alarcón*²

INTRODUCCION

El problema de la devastación de los bosques tropicales ha sido evidente a los especialistas en las últimas décadas. El proceso ha tenido una aceleración de tal magnitud que fue también obvio a muchas otras personas cuando el mundo comenzó en la era espacial. En los primeros vuelos tripulados y durante los comienzos de la nueva tecnología de percepción remota (teledetección) surgió la esperanza de poder cuantificar el proceso para advertir a todos la gravedad del problema. Sin embargo, hasta la fecha el mundo no cuenta con ningún sistema de monitoreo de los bosques tropicales, a pesar del consenso y experiencias, tanto de los especialistas como otros profesionales, de su necesidad y de su factibilidad. Por "monitorear" los autores quieren decir "seguir los cambios globales de la vegetación que ocurren en la escala de pocos años"; en la práctica, este "cambio" significa la deforestación, ya que los cambios naturales (con pocas excepciones) requieren décadas y siglos.

Este artículo presenta varias consideraciones al respecto. Después de ver los fallidos intentos de las Naciones Unidas, los autores presentan los problemas técnicos que implican tal monitoreo, incluyendo el problema grave de datos de campo. Después de indicar que ya no esperan un monitoreo del tipo inicialmente visualizado por los expertos, basado en los satélites como Landsat, los autores presentan ideas para un monitoreo global basado en los nuevos satélites meteorológicos NOAA. Por ser más

económico, éste presenta mejores posibilidades de implantación, ya que implica menor costo operacional y más flexibilidad, aunque con las desventajas de menor precisión. Finalmente, presentan sus experiencias y las de un grupo de la NASA en el desarrollo del mismo.

EXPERIENCIA GLOBAL SOBRE EL MONITOREO DE VEGETACION TROPICAL

Grainger (1984) presenta un resumen sobre los esfuerzos de la ONU hacia un monitor global en las siguientes palabras:

La necesidad de un programa de monitoreo basado principalmente en el uso de datos de satélites fue reconocido en la Recomendación 25 de la Conferencia sobre el Ambiente Humano de Estocolmo de 1972, y ha sido reafirmado por UNEP (FAO 1980)... FAO y UNEP, siguiendo la recomendación, concordaron en 1973, en formular tal programa de monitoreo. El subsecuente Informe de Formulación (FAO 1975) visualizó un programa centralizado llevado a cabo por un equipo de especialistas, quienes en la primera fase de cinco años: obtendrían la cobertura de los bosques tropicales que servirían como base para el monitoreo subsecuente; estudiarían los cambios en cobertura de bosques tropicales para los anteriores 10 o 20 años mediante estudios de varias áreas de prueba; prepararían un plan para actividades futuras de monitoreo (se consideró como adecuada una frecuencia de monitoreo de cinco años); y harían ciertas investigaciones aplicadas dirigidas a la adaptación de técnicas automatizadas de análisis de imágenes para las necesidades del programa. Lanly (1981) fue publicado como

1,2 INIREB, Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos 91000, Xalapa, Veracruz, México.

parte de GEMS (Sistema de Monitoreo Ambiental en Escala Global) de UNEP, y parece que fue para llenar los objetivos de la primera fase de este programa, aunque solamente la mitad del área del bioma ha sido estudiada mediante técnicas de la percepción remota.

El proyecto piloto de Benin, Togo y Cameron (FAO 1980) topó con varias dificultades. Se progresó muy poco en el desarrollo de metodología y técnicas para el sistema continuo de monitoreo. Tales experiencias condujeron a FAO a recomendar cambiar a un monitoreo descentralizado, en el cual los departamentos nacionales de silvicultura establecieran sus propias facilidades para el análisis de imágenes Landsat, para luego informar a la FAO sobre los resultados de sus propios sistemas de monitoreo. También se recomendó el análisis de versiones fotográficas de imágenes Landsat para eliminar la dependencia en computadoras que implica el análisis de imágenes digitales.

La posibilidad de éxito de tal estrategia es dudosa. La mayoría de los países tardarían 10 ó 20 años en establecer centros de análisis de imágenes que funcionaran en forma adecuada. Dadas las magnitudes de los cálculos actuales de la velocidad de deforestación tropical, la preocupación mundial para cuantificar el problema, y la necesidad de políticas mundiales para controlarlo, es evidente que la propuesta original (FAO 1975) es la más apropiada.

HISTORIA PERTINENTE DE LA ERA ESPACIAL

La Era Espacial está basada en el trabajo de los pioneros en cohetes de varias nacionalidades. Las primeras tomas de la tierra mediante cohetes científicos entre 1945 y 1955 ya mostraron las posibilidades de las imágenes sinópticas tomadas desde el espacio. La mayoría de los cohetes fueron usados para el estudio del Sol y aspectos astronómicos, pero las pocas fotos de la Tierra desde gran altura dejaron claro las posibilidades de usar vistas sinópticas para estudiar fenómenos terrestres, incluyendo su vegetación (Giddings 1980b).

El lanzamiento de Sputnik en 1957 señaló la apertura de la era espacial, y el lanzamiento de los primeros satélites meteorológicos en 1960 abrió por primera vez el monitoreo de la superficie de la Tierra y las nubes, o sea, un registro de sus cambios. Los primeros satélites meteorológicos no servían más que para ver las nubes, pero ésto era evidentemente cuestión de resolución espacial y espectral, o sea, las dimensiones de las áreas que se podrían discriminar, y la diferenciación de áreas del espectro electromagnético (o sea, del "color", incluyendo los que no son visibles al ojo del hombre).

La primera vez que se pudo ver la superficie de la Tierra en buena forma fue de las fotos tomadas por los astronautas de los vuelos Géminis, ensayando la tecnología para ir a la Luna. Los astronautas

tenían cámaras fotográficas de 35 mm y de 70 mm de color. Tomaron fotos por las ventanillas de todo lo que les interesaba, produciendo un tesoro de imágenes, que hoy en día todavía no se puede superar en belleza.

Siguieron los vuelos Apolo con adelantos de tecnología, refinamiento de lentes, y algunos experimentos sobre la fotografía multispectral (bancos de cámaras fotográficas, cada una con película y filtro diferente). Comenzaron también con radiómetros barredores multispectrales, los cuales producían imágenes en cintas que podrían ser estudiadas mediante computadoras. Siguió progresando la tecnología, conduciendo a esa magnífica nave espacial, SKYLAB, que permitió probar varias nuevas tecnologías y la toma de miles de imágenes, tanto fotográficas como digitales. Hoy en día, los transbordadores están siguiendo en la misma línea, tomando más imágenes y probando nuevas tecnologías.

Los técnicos de la NASA habían comenzado con la tarea de diseñar y construir un satélite específicamente para estudiar la superficie terrestre. En 1972 lanzaron el satélite no tripulado ERTS-1 (Satélite para medir Recursos Terrestres). La serie fue renombrada LANDSAT, y hoy en día contamos con LANDSAT-4. Su propósito es el de estudiar varios aspectos de la faz de la Tierra, y el más importante de ellos es la vegetación, tanto natural como cultivada. Su resolución de 60 metros (diámetro de los pixeles, puntos de la imagen) permite ver con buen detalle la agricultura extensiva en zonas templadas, y en las zonas de vegetación natural como bosques, sabanas, desiertos, etc.

En México Soto et. al. (1978) hizo pruebas de su eficacia en las zonas tropicales del Estado de Veracruz. Ese estado se extiende aproximadamente en 5 grados de latitud y comprende altitudes desde 0 hasta 5000 m.s.n.m. En este se encuentran casi todas las zonas climáticas del país. Su objetivo era desarrollar una técnica de monitoreo para poder entender y medir los fuertes y rápidos cambios ya en proceso. Las alteraciones son tan rápidas en esas zonas que los métodos clásicos, de por sí muy lentos, no daban resultados satisfactorios. Ella encontró, como muchos otros después, que esta nueva herramienta sirve para las zonas tropicales. Aunque hubo zonas que no se distinguían bien, ella pudo diferenciar los tipos de vegetación con bastante precisión. Otros han reportado que no sirve para calcular volúmenes de madera (Colwell 1983), y hay zonas transicionales que no se distinguen muy fácil, simplemente porque son graduaciones, pero en general son útiles para lo que se quiera ver.

El último Landsat ya tiene un sensor más fino, el Mapeador Temático, y ya existe el SPOT, satélite francés de recursos terrestres. Los dos cuentan con pixeles de 10 y 20 m de resolución y varios otros adelantos técnicos.

Así, todos nos hicimos la ilusión de hacer un monitoreo global de los bosques tropicales. La tecnología es adecuada para la tarea; existen los satélites; existe una gran necesidad. Pero la triste realidad es que todavía no se hace un monitoreo de los bosques tropicales.

PROBLEMAS TECNICOS

Las ideas anteriores de monitoreo mundial dependían en gran parte de la disponibilidad de las imágenes Landsat de todo el mundo, y de las posibilidades de contar con imágenes repetidas de la misma área en distintas fechas. La resolución de 60 m del pixel de Landsat permite divisar media hectárea a la vez, con lo cual sería perfectamente factible seguir la deforestación. Es aún más factible con el nuevo sensor, el Mapeador Temático de Landsat y con los magníficos datos del satélite francés SPOT, lanzado este año.

Desgraciadamente, estas bondades de los satélites traen sus desventajas fuertes en la práctica, dada la desigualdad de recursos financieros y de computación en el mundo. La simple compra de las imágenes es problema fuerte, exacerbado por las alzas súbitas de precios de adquisición de las imágenes. A la vez el análisis de imágenes es intensivo en memoria de computadora: cada imagen Landsat requiere muchos megabytes de memoria para su almacenamiento, y el análisis de esas cantidades de datos es lento. Tomando en cuenta que cada escena de Landsat sólo cubre un área de 160 km x 160 km aproximadamente, el problema no es trivial; y con la mayor resolución del Mapeador Temático y de SPOT, el problema es aún más fuerte.

Cuantitativamente se puede apreciar el problema aún mejor. Según Lanly (reportado por Grainger, 1984), para 1980 había 613,000,000 hectáreas de bosque húmedo tropical en América Latina; 204,000,000 en Africa, y 264,000,000 de Asia y la región pacífica, sumando un total global de 1,081,000,000. Los píxeles de MSS de Landsat cubren 0.6 ha cada uno, y los del Mapeador Temático y de SPOT son mucho más pequeños. En las imágenes, cada pixel está representado por un byte en cada canal espectral (4 para MSS de Landsat; 3 para SPOT, 7 para Mapeador Temático). Es evidente que la cantidad de datos de las imágenes es de magnitud considerable.

Muchos creen que, de alguna manera, los sistemas computarizados son mágicos, o por lo menos más inteligentes que la mente humana. Así, hay quienes afirman que una vez teniendo las firmas espectrales universales almacenadas en computadora, se puede proseguir a un análisis automático de una escena. La verdad es que las bondades de las computadoras son grandes, pero no son éstas. Son herramientas para ayudar al humano a hacer un

análisis, pero en ausencia de dicho humano, casi no puede hacer nada de utilidad.

Un punto fuerte de la computadora es su habilidad de distinguir "colores", o sea, combinaciones espectrales (incluyendo regiones del espectro electromagnético no perceptibles por el ojo humano, como es la región espectral del infrarrojo cercano). Pero las texturas, fácilmente entendibles por el ojo humano son "invisibles" a la máquina. Si bien hay algunos programas que hacen cálculos sobre texturas, son muy poco difundidos y muy limitados en utilidad. La persona que realiza análisis visual de imágenes hace gran uso de las texturas (aparición general) que presentan las áreas para decidir en qué consisten.

Lo mismo se puede decir de otra información "espacial" de una imagen. Un humano de inmediato reconoce caminos, áreas redondas (como de riego automático en círculos), cultivos con bordes de líneas rectas, ríos y otros rasgos de formas características. Casi nada de esto es reconocible automáticamente (aunque sí como tema de investigaciones por científicos en la llamada "inteligencia artificial").

Sólo es necesario reconocer que las computadoras en la actualidad son simplemente ayudas a la inteligencia humana para hacer sus análisis. De ahí que no se pueda esperar gran cosa del análisis automatizado. La regla general es que si el humano puede reconocer una formación vegetal, es bien posible que la máquina la puede distinguir; pero formaciones que distingue la máquina, que no puedan ser distinguibles por la persona son demasiado raras. Un buen usuario jamás acepta una categoría producida por la máquina que él no pueda verificar a simple vista.

DATOS DE TIERRA: "GROUND TRUTH"

A pesar de la suposición de muchos, el análisis de las imágenes de satélite no es obra aislada de computación. Hay necesidad real de datos de tierra, a tal extremo que como regla general, si uno hace un análisis sin ellos, los resultados padecen de errores serios. Uno puede tener mayor o menor necesidad de datos de tierra, y para monitores de deforestación, no es evidente el nivel de datos de tierra que se necesita. En algunos casos puede ser posible verificar una reciente deforestación, pero una deforestación de bosque húmedo de unos cinco años muy probablemente no podrá distinguirse sin ambigüedades.

Para un monitoreo mundial, esto también presenta problemas muy reales. El nivel de utilidad de los resultados se ve afectado por el nivel de datos de tierra. En muchos casos se pueden sustituir informes de observaciones de otros, o de fotos

aéreas, y otros datos por el estilo. Pero de todas formas, la información de campo es necesaria y es un verdadero problema para un monitoreo global de los bosques tropicales.

HASTA AHORA, NO HAY MONITOREO

Hasta aquí no hay concepto mencionado que no fuera del conocimiento de los que querían establecer el monitoreo global, quienes tomaron en cuenta todos estos factores y otros. Sin embargo, no hay monitoreo global. ¿Por qué? Después de todo, el costo no es exorbitante, aunque ninguno anticipó los problemas financieros que alcanzarían los organismos internacionales; y dada la importancia del tema y el costo futuro de descuidarlos, el precio parecía aún menos en términos reales. Los problemas técnicos tampoco parecían insuperables (y no lo parecen todavía). Ni siquiera son tan difíciles los problemas de datos de tierra, pero mientras no se resuelvan los anteriores (obtención de imágenes, preparación de datos de base, etc.), no se puede ni evaluarlos.

Para los autores, es evidente que no va a haber un monitoreo en los términos que hace diez años visualizamos. Simplemente, no existe la voluntad política que lo permita. Pero sí seguirá existiendo la necesidad urgente, y aun un gran consenso entre los científicos de dicha necesidad, así que vale la pena seguir avanzando hacia algún tipo de monitoreo. El tema simplemente es de tanta importancia y urgencia que no se puede descartar.

Paradójicamente, los avances recientes en la computación han quitado muchas de las trabas técnicas anteriores. Los adelantos técnicos son tan vitales que la potencia moderna de computación suele estar al servicio inclusive de los países con problemas económicos. Las computadoras grandes ya se han miniaturizado casi sin sacrificio de potencia ni velocidad. Lo que antes ocupaba un salón especial con control de clima, ahora cabe en un escritorio, con igual memoria. La memoria de disco es mayor y más barata. Las nuevas microcomputadoras ya son compatibles con las grandes; las microcomputadoras de hace tres años ya parecen ser juguetes. Sistemas operativos y lenguajes de alto nivel son notablemente mejores. Lo más asombroso de todo son los discos láser intercambiables que ya tienen 600 Megabytes en cada disco. Los costos también bajaron notablemente.

UN NUEVO ENFOQUE SOBRE MONITORES

A pesar de los problemas hasta la fecha, sigue la imperante necesidad de un monitoreo. Asumiendo que no va a haber un monitoreo internacional de bosques tropicales basado exclusivamente en Landsat, la tarea es diseñar otro tipo de monitoreo.

Debe ser más económico, susceptible de hacerse con o sin la participación de una agencia internacional, y con o sin la participación activa de profesionales de cada país tropical, aunque es evidente que se necesita colaboración de personas interesadas de algunos de estos países.

Los autores sugieren el uso de un monitoreo a varios niveles. El primero sería bastante general, basado en los satélites meteorológicos. Sería apoyado por muestreo de áreas críticas mediante Landsat y SPOT, y por otros datos que estuvieran disponibles. A continuación se presentan las bases y las características de tal monitoreo, y algunas de las primeras experiencias hechas por el autor y por el grupo de Tucker de la NASA.

SATELITES METEOROLOGICOS NOAA

La fase de un monitoreo grueso utilizaría los datos de los satélites de la serie TIROS-N/NOAA 6... Estos son satélites de órbita polar que rastrean el mundo diariamente, una vez en el día y una en la noche. A diferencia de los satélites meteorológicos anteriores, tienen una resolución de 1 km (diámetro de pixel), y una resolución espectral de cuatro o cinco canales, como es mostrado en la tabla. Existe un archivo de los datos diurnos y nocturnos disponibles para cualquier usuario pagando únicamente el costo de copiado. Para fines meteorológicos, su uso primordial, la resolución de 1 km no es necesario, así que están degradados a 4 km para su archivo, los cuales ocupan, solamente 6 por ciento de los datos originales. Sin embargo, en la práctica, dados los recursos para grabar y transformarlos, los datos de 1 km pueden ser captados y usados para un monitoreo o para otros fines. Los datos de archivo están registrados en longitudes y latitudes, y

Tabla 1. Características y Status de los Sistemas (Justice *et al* 1985).

TIROS-N, lanzado octubre de 1978, subvencionado por NASA, prototipo.					
NOAA-6, lanzado en junio de 1979, subvencionado por la NOAA.					
NOAA-7, lanzado en junio de 1971, subvencionado por la NOAA.					
NOAA-8, lanzado en marzo de 1983, subvencionado por la NOAA.					
NOAA-9, lanzado en diciembre de 1984, subvencionado por la NOAA.					
Angulo de cobertura	55.4°				
Cobertura lateral	27,000 km				
Inclinación de órbita	98.8				
Altura	833 km				
Período	102 min.				
Campo de visibilidad	1.39-1.51 mrad.				
Resolución en tierra	1.1 km (nadir)				
Hora de cruzar el Ecuador	Desc.	Asc.			
	07.30	19.30 (NOAA-6 and NOAA-8)			
	14.30	02.30 (NOAA-7 and NOAA-9)			
Canales espectrales	1	2	3	4	5
Cobertura, micrones	0.58-	0.725-	3.55-	10.3-	11.5-
	0.68	1.1	3.93	11.3	12.5*

* No incluido en NOAA-6 y NOAA-9

pueden ser reproducidos automáticamente en proyección polar o de Mercator, así que técnicamente no se requiere de un exceso de preprocesamiento para su uso, cualquiera que éste sea.

Los varios canales espectrales presentan la posibilidad de ser utilizados para fines de monitoreo de la vegetación. La NASA subvencionó la preparación de índices de vegetación con base en ellos, los cuales están explicados en el manual publicado por la misma NOAA (Hunalt, 1983). Dan una visión sinóptica de la vegetación captada por el satélite. Los índices, actualmente preparados en forma operacional por la NOAA, están sometidos a un proceso de sustitución de píxeles por un período de una o dos semanas para eliminar las nubes; si por lo menos una vez en el período, un píxel está desprovisto de nubes, se tendrá un valor que indica la vegetación en ese punto. Desgraciadamente, el producto operacional está degradado a resolución de 16 km, así que es demasiado grueso para servir como monitoreo, pero nos da una base para probar la técnica sobre áreas muy grandes.

MONITOREO SINOPTICO DE LA VEGETACION

Lo interesante del monitoreo que aquí se propone es su capacidad de distinguir zonas con vegetación con resolución espacial relativamente baja y con resolución espectral menor que los Landsat. Es evidente que sirve para medir, en forma muy gruesa, la presencia o ausencia de vegetación, y hasta cierto punto, alguna medida de su "fuerza" o concentración. También es evidente que la posibilidad de repetir el análisis en varias épocas puede aclarar muchos aspectos de su dinámica, o sea, su fenología (Justice *et al* 1983). Lo que no es de inmediato evidente es su capacidad de distinguir subdivisiones de grupos de vegetación.

Tucker *et al* (1985) y Justice *et al* (1985) reportaron una clasificación de vegetación para Africa basada en imágenes NOAA. Utilizaron la misma técnica de NOAA para producir sus imágenes de Índice Normalizado de Vegetación, pero emplearon períodos de tres semanas en vez de una semana para eliminar las nubes, debido a que el problema de nubes es más persistente en las áreas tropicales que las templadas. Tomaron ocho imágenes y calcularon para cada una de las imágenes los dos componentes principales (técnica para concentrar la información en pocas imágenes) y con base en éstas últimas se hizo la clasificación. Es muy evidente que las clases de vegetación resultante siguen las líneas de zonación de Africa, que se observan en los mapas de vegetación que se conocen para ese continente (UNESCO 1983).

Los autores han trabajado con equipo menos sofisticado (con posibilidad de uso en los países en desarrollo), encontrando las mismas concordancias con los mapas de vegetación existentes para

Suramérica. Utilizan las imágenes de índice de vegetación ya preparadas por la NOAA a 16 km de resolución por períodos de una sola semana, lo cual no elimina la posibilidad de contaminación de algunas áreas por la persistente nubosidad típica de las zonas tropicales húmedas. Mediante la misma técnica de componentes principales y subsecuente clasificaron con base en imágenes del primer y segundo componente, se producen clasificaciones de las grandes zonas de vegetación.

De los resultados obtenidos es muy evidente que son distinguibles muchas de las principales zonas de vegetación que aparecen en el mapa más reciente que se usó como punto de comparación (UNESCO 1981). Sin embargo, la zonación de la vegetación sudamericana es bastante más complicada que la africana, así que los autores están trabajando para establecer los límites de confianza de la técnica.

Hay varios problemas encontrados por ambos grupos que merecen mención. No hay antecedentes de este tipo de trabajo que utilice datos de tan baja resolución en grandes zonas. Sus ventajas operacionales son evidentes, pero el efecto de "píxeles mixtos" en estas escalas es un problema nuevo. Si bien tienen la ventaja de ser datos observados (mientras que los mapas tienen datos muchas veces inferidos), la mezcla de varios tipos de vegetación dentro de un solo píxel es una limitante que no se ha encontrado en los estudios con satélites como Landsat, cuya resolución de píxeles es mayor.

En la fase actual se puede afirmar que las formaciones vegetales, definidas principalmente por variables climáticas, no son bien distinguidas por estas técnicas, pero las caracterizadas fundamentalmente por diferencias de forma de vegetación o por su estacionalidad sí lo son. Por ejemplo, no se pueden distinguir las formaciones "bosque hiperhúmedo" del "bosque muy húmedo" del mapa de Sur América (UNESCO, 1981); esos son más distinguibles de formaciones adyacentes como la "pradera arbolada" y otras. Sin embargo, los límites geográficos que se obtienen en general difieren notablemente de los límites observados en los mapas. Todavía no se pueden explicar estas diferencias, aunque se tiene cierta confianza en los datos debido a que son observados.

Ambos grupos tienen intenciones de seguir estudiando estas diferencias, empleando en el futuro datos de mayor resolución espacial. Se sabe que un tamaño de píxel de 8 km representa un aumento real de cuatro veces en la resolución. Esto se debe a que un píxel de 16 km requiere de cuatro píxeles de 8 km. De los datos de archivo se pueden utilizar los de píxeles de 4 km, que representa un notable aumento de precisión, o con datos tomados directamente del satélite de 1 km. Existen otros problemas inherentes en el estudio de grandes áreas, como el de las proyecciones cartográficas

adecuadas, que complican los conceptos sencillos, y estos requieren de más estudio.

Por la naturaleza misma de las investigaciones, hay que esperar para poder evaluar los datos de satélite meteorológicos para el monitoreo sinóptico de la deforestación tropical. Se puede anticipar que por lo menos servirán de base estadística real de un monitoreo, es decir, servirán como una imagen de referencia práctica para poder ubicar los datos derivados de estudios más detallados de cualquier naturaleza, y para extrapolar de ellos. Pero la esperanza es que tengan más bondades para permitir indicar con más detalle las condiciones locales, lo cual contribuiría enormemente a una mejor cuantificación de la deforestación tropical.

CONCLUSION

Por hechos muy evidentes, y a pesar de las palabras en contra, la deforestación acelerada es la política imperante en todos, o en casi todos, los países tropicales. Los autores consideran que esta situación presenta peligros para todos los países, y más aún a la humanidad, debido a las consecuencias desconocidas que trae a ambas escalas.

De ahí, existe la necesidad urgente de un monitoreo de la deforestación. Por lo menos, se debe poder saber en qué grado y con qué velocidad está progresando para poder entender sus consecuencias. La preocupación es compartida entre personas de todas las disciplinas científicas que están acostumbradas a estudiar la Tierra en forma cuantitativa, y por todas las personas cultas que se preocupan de

los cambios irreversibles que pueden amenazar a nuestro planeta.

Este artículo está enfocado en las perspectivas de los especialistas en la percepción remota. A ellos, a pesar de sus ilusiones de hace una década, parece evidente que en la práctica no hay probabilidades muy altas de utilizar toda la potencia de sus técnicas para monitorear el fenómeno de la deforestación mediante los satélites de alta resolución. Es cierto que el precio no es exagerado, dada la importancia del tema, y que la tecnología ya es adecuada a la tarea. Sin embargo, es igualmente patente que no es una prioridad real, ni de instituciones internacionales, ni tampoco de ningún (o casi ningún) país tropical.

Debido a lo anterior, los autores plantean un sistema de monitoreo más modesto que a la larga tiene más posibilidades de realizarse. Tal monitoreo sería en un primer nivel grueso mundial a base de satélites meteorológicos. Se suplementaría con muestreo a mayor resolución mediante otros datos para lugares críticos; tales serían estudios con Landsat y SPOT e información local suministrada por botánicos, ecólogos, expertos en silvicultura y otros especialistas. El monitoreo que se propone, por ser más modesto en costos, tiene más posibilidades de realización por grupos independientes de investigadores.

Por último, fueron enfocados los trabajos de investigadores de la NASA en las aplicaciones de satélites meteorológicos para estudiar la vegetación de la Tierra, y los estudios de los autores enfocados en la vegetación de América Latina por los mismos satélites.

BIBLIOGRAFIA

- COLWELL, R. N. (ed.). 1983. *Manual of Remote Sensing*, 2nd ed., vol. 2, 2269. American Society of photogrammetry, Falls Church, EE.UU.
- FAO. 1975. *Formulation of a Tropical Forest Cover Monitoring Project*. FAO/ UNEP, Rome.
- FAO. 1980. *Global Environment Monitoring System: Pilot Project on Tropical Forest Cover Monitoring, Benin-Cameroon-Togo, Project Implementation: Methodology, Results and Conclusions*. FAO/UNPE, Roma.
- GIDDINGS, L. 1977. *Bolivia from Space: Images and Other Information from Satellites, with Catalogs*. PB262889/AS, NTIS, Washington, EE.UU.
- GIDDINGS, L. 1980. *Transformaciones de Imágenes Landsat para Aplicaciones Botánicas*. Botánicas. Bióticas 5 (4), 199-205.
- GIDDINGS, L. 1980. *México desde el Espacio*. INIREB, México, D. F.
- HUNALT, G. 1983. *Global Vegetation Index Users Guide (con revisiones subsecuentes)*. SDS, NCC-NESDIS, National Oceanic and Atmospheric, Agency, Washington, EE.UU.
- GRAINGER, ALAN. 1984. *Improving the Monitoring of Deforestation in the Humid Tropics*, 387-395.
- JUSTICE, C. O., J. R. G. TOWNSHEND, B. N. HOLBEN, y C. J. TUCKER. 1985. *Analysis of the Phenology of Global Vegetation using Meteorological Satellites*. *International Journal of Remote Sensing*, 6, 1271-1318.
- LANLY, J. P. (ed.). 1981. *Tropical Forest Resources Assessment Project (GEMS): Tropical Africa, Tropical Asia, Tropical America (4 vol.)* FAO/UNEP, Roma.
- SOTO, M., F. LOZANO, C. MEJIA, J. A. DIEZ y M. MEDINA. 1978. *Mapping Tropical Vegetation Zones in the State of Veracruz, México*. Proc. Twelfth Int. Symp. on Remote Sensing of the Environment: 1871-1882.
- TUCKER, C. J., J. R. G. TOWNSHEND, T. E. GOFF. 1985. *African Land-Cover Classification using Satellite Data*. *Science* 227, 369-375.
- UNESCO. 1981. *Mapa de la Vegetación de América del Sur, con su Nota Explicativa*. París.
- UNESCO. 1983. *Mapa de la Vegetación de Africa, con su Nota Explicativa*. París.