

Se extienden
como un reguero de pólvora

incendios en bosques tropicales en América Latina
y el Caribe

prevención, evaluación
y alerta temprana

Editado para
el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
por

Mark A. Cochrane PhD



Publicado por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
Oficina Regional para América Latina y el Caribe.

Protegido por los Derechos de Autor © 2002, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente

Está autorizada la reproducción total o parcial y de cualquier otra forma de esta publicación para fines educativos o sin fines de lucro, sin ningún otro permiso especial del titular de los derechos, bajo la condición de que se indique la fuente de la que proviene. El PNUMA agradecerá que se le remita un ejemplar de cualquier texto cuya fuente haya sido la presente publicación.

No está autorizado el empleo de esta publicación para su venta o para otros usos comerciales sin el permiso previo por escrito del PNUMA.

DESCARGO DE RESPONSABILIDAD

El contenido de esta publicación no refleja necesariamente las opiniones o políticas del PNUMA o de sus organizaciones colaboradoras. Las designaciones utilizadas y las presentaciones no denotan en modo alguno la opinión del PNUMA o de sus organizaciones colaboradoras con respecto a la situación jurídica de un país, territorio, ciudad o área de sus autoridades, o con respecto a la delimitación de sus fronteras o límites.

Equipo DEAT - ALC:
Kaveh Zahedi y Kakuko Nagatani-Yoshida
Diseño y edición: Sylvia Howe
Traducción: Laura Arelle

Para más información y detalles de cómo obtener copias de esta publicación por favor contáctenos:

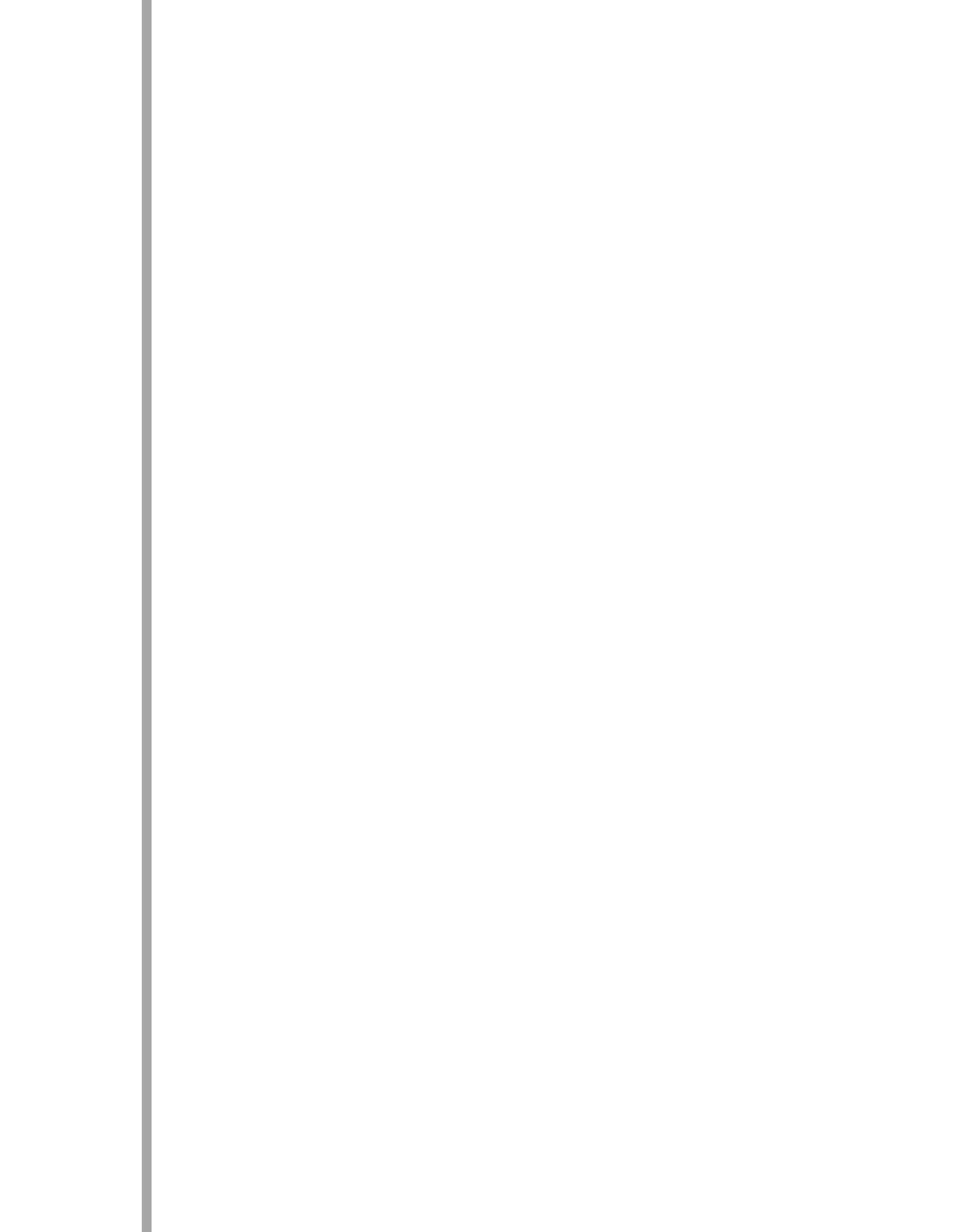
División de Evaluación y Alerta Temprana (DEAT)
Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
Oficina Regional para América Latina y el Caribe
Boulevard de los Virreyes 155, Colonia Lomas Virreyes
CP 11000 México, D.F., México
Tel. (52) 55 52 02 4841 / Fax. : (52) 55 52 02 0950
E-mail: dewalac@rolac.unep.mx
Sitio en internet: www.rolac.unep.mx/dewalac/esp

Impreso en papel Multiart libre de madera, cloro y ácidos, y con tintas Colortec a base de aceite vegetal cumpliendo con los requisitos ambientales-orgánicos volátiles (VOC), libres de plomo y libres de clorofluorcarbonos.

ISBN: 92 - 807 - 1818 - 7

Índice

Resumen Ejecutivo	5
Introducción	10
¿Qué? ¿Dónde? ¿Por Qué?	13
Impactos de los incendios en los bosques tropicales	41
Enfrentar al fuego en los trópicos - prevención, prevención, prevención ..	67
Conclusiones	93
Referencias	94
Anexo	104



Resumen Ejecutivo

Hasta hace poco tiempo, los incendios en los bosques tropicales siempre verdes se consideraban imposibles o insignificantes, y por ello se creía que cualquier efecto que tuvieran en la población y en los ecosistemas era poco importante. Los enormes incendios forestales que se vieron a finales de la década de los 90, no sólo en América Latina y el Caribe sino también en el resto del mundo, sacaron el tema del cajón y lo colocaron en la agenda mundial.

La gente comenzó a preocuparse no sólo por la desaparición del bosque, sino también por las enormes consecuencias que tenían los incendios en los seres humanos, tales como el impacto en la salud y en la economía. Ahora la inquietud sobre los bosques tropicales va más allá de la deforestación y abarca las grandes repercusiones que causan los siniestros, incluyendo el impacto que tienen en estos dos aspectos.

Este documento proporciona una visión general sobre la situación de los incendios forestales en América Latina y el Caribe, y el impacto que han tenido tanto en

la región como en su población a lo largo de los últimos años. Asimismo, abarca las causas, efectos e implicaciones que éstos tienen, y los vincula con las herramientas disponibles para su manejo con las que cuentan las autoridades responsables.

Los bosques cubren el 47 por ciento de la superficie terrestre de América Latina y el Caribe, siendo la inmensa mayoría tropicales (95 por ciento). Entre 1980 y 1990 la región perdió aproximadamente 61 millones de hectáreas de bosque, es decir, un seis por ciento del área forestal total. Esta pérdida continúa. Entre 1990 y 1995 se perdieron un total de 5.8 millones de hectáreas por año, otro tres por ciento del área forestal remanente de la región. Los índices de deforestación más altos fueron en América Central (2.1 por ciento anual); pero en Bolivia, Ecuador, Paraguay y Venezuela hubo una tasa anual de deforestación de más del uno por ciento en ese mismo período. Tan sólo Brasil perdió 15 millones de hectáreas de bosque entre 1988 y 1997. El alcance e importancia que tienen las áreas forestales remanentes en América Latina y el Caribe, tanto



en la región como en el mundo, indican que los problemas de los incendios forestales requieren de atención urgente.

Causas

Las causas que provocan los incendios forestales son muchas, y la mayoría está vinculada de manera directa e indirecta a factores humanos: los fuegos en los bosques degradados son mucho peores que las que ocurren en los bosques intactos. Los incendios forestales son el resultado de:

- nueva deforestación.
- pastizales y mantenimiento de la tierra.
- extracción de madera y caza.
- fragmentación.
- incendios previos.
- desperdicios, fogatas o quema de basura.
- incendios premeditados.
- accidentes.

La fragmentación del terreno y el cambio de cubierta del suelo en los trópicos se combinan para exponer gran parte del bosque a incendios y, en consecuencia, se incrementa el riesgo en todo el terreno. Las fuentes de ignición continúan aumentando y es más probable que se inicie un incendio forestal. En los trópicos los siniestros están incrementado tanto en severidad como en frecuencia.

El cambio en la frecuencia, intensidad y patrón de los incendios forestales en los trópicos es un fenómeno nuevo. Si la incidencia continúa como hasta ahora, o si llegase a incrementar su frecuencia, entonces muchas de las selvas serán reem-

plazadas por vegetación menos diversa y más tolerante al fuego.

Empeora cada año

La extensión de los incendios de 1998 cambió el terreno de los bosques tropicales siempreverdes de América Latina y el Caribe al dañar enormes áreas boscosas aledañas a ecosistemas humanos donde se maneja fuego. Por lo tanto, es probable que los incendios se vuelvan cada año más severos, un hecho del que aún no se percatan las poblaciones residentes, las autoridades responsables, las brigadas de incendios ni la mayoría de los científicos.

Los incendios forestales no sólo han dado como resultado una pérdida alarmante de bosques, sino que también han afectado seriamente la salud humana, la economía y el medio ambiente.

Cada vez hay más bosques degradados en la zona tropical de América Latina asociados al problema de los siniestros. En América Central, más de 2,5 millones de hectáreas de terreno se vieron afectadas en 1998. En Nicaragua, Guatemala y Honduras se destruyeron 900 000, 650 000 y 575 000 hectáreas, respectivamente, y en México se quemaron otras 850 000 hectáreas.

En Sudamérica la situación ha sido igualmente grave. En Bolivia, los incendios de los bosques han tenido impacto en más de tres millones de hectáreas de terreno. Los más recientes han quemado bosques tropicales de Brasil, Colombia, Venezuela, Guyana y Surinam. Asimismo, millones de hectáreas se quemaron severamente en el estado brasileño de Roraima.

Efectos en la población

El humo de los incendios provoca innumerables problemas respiratorios, cardiovasculares y oculares. Además de la gran cantidad de trastornos constrictivos y obstructivos de los pulmones que se han presentado, los casos de asma, neumonía, bronquitis, laringitis aguda, bronquiectasia y conjuntivitis han aumentado de manera alarmante. El daño que causa en la salud la inhalación de humo depende de sus componentes, de su concentración y del tiempo total de exposición.

También puede matar: en 1998 murieron 70 bomberos mexicanos y en la amazonia brasileña hubo 700 muertes asociadas al humo.

Costos económicos

Se desconocen en gran medida los verdaderos costos económicos provocados por los incendios forestales tropicales. Esto se debe, en parte, a la falta de datos o de análisis, aunque también es el resultado de las complicaciones que surgen al trabajar en la causa y efecto.

Las implicaciones políticas negativas también evitan que esto se dé a conocer en su totalidad. Las implicaciones económicas ocasionadas por los incendios fuera de control incluyen todo lo que se abarca desde los gastos médicos y cierre de aeropuertos, hasta las pérdidas de madera y la erosión del suelo. Los efectos que tienen los siniestros no necesariamente están confinados a una sola región, sino que pueden afectar — y de hecho afectan — la salud y las economías de otras.

Es poco probable que estos costos externos (pérdidas de días laborales, disminución de la producción, pérdida de divisas debido al turismo) aparezcan en la contabilidad de la región o nación responsable. Más aún, los vínculos que hay entre un incendio y sus efectos colaterales pueden ser ocultos o postergados, y quizá las evaluaciones que se hagan de los daños económicos sean conservadoras. En el caso de Roraima, Brasil, se estimó que tan sólo el costo de los daños causados por la liberación de carbono esperada (42 TgC) era de \$840 000 000 dólares. En 1998 resultaron afectadas por incendios de bosques por lo menos 9,2 millones de hectáreas en toda América Latina. El daño ocasionado puede haber alcanzado fácilmente de 10 a 15 mil millones de dólares.

Impactos ambientales

Los impactos ambientales de los siniestros en los bosques tropicales varían de locales a mundiales. Los primeros incluyen degradación del suelo, mayores riesgos de inundación y sequías, menos abundancia de animales y de plantas, y un mayor riesgo de incendios recurrentes. Los efectos mundiales comprenden la liberación de grandes cantidades de diferentes gases de invernadero, disminución pluvial e incremento de relámpagos secos, contribución a la reducción de la biodiversidad y a la extinción de poblaciones o especies.

En América Latina, millones de hectáreas de bosques tropicales dañados aún cubren el terreno. Estos bosques liberarán carbono a la atmósfera, incrementarán la erosión del suelo, reducirán la retención de agua y la biodiversidad, y es probable que los incendios sean más frecuentes en el futuro.

Políticas en contra de los incendios forestales

Es necesario contar en la región con muchas más políticas y herramientas para prevenir, monitorear y combatir los incendios. Éstas pueden dividirse en prevención, manejo del fuego, pronóstico, detección y monitoreo, y combate a los incendios.

1 Nunca será demasiada la importancia que se dé a la prevención de incendios en cualquier estrategia de manejo, ya que ésta es menos costosa que extinguirlos y tiene el beneficio agregado de reducir los costos del daño que causa el fuego.

- Las campañas deben estar diseñadas para las culturas y las comunidades a las que se dirijan.
- La distribución por zonas para el uso de la tierra en los bosques tropicales puede ser efectiva.
- Es necesario crear y mantener una base de datos exacta de los incendios que han ocurrido con el fin de valorar la efectividad de un programa de manejo preventivo.
- La prevención y la educación deben estar a la cabeza de cualquier programa contra incendios en los trópicos.

2 El manejo de incendios a nivel nacional implica establecer la infraestructura necesaria, el equipo y el personal para poder pronosticar, detectar, monitorear y responder a los siniestros forestales. Particularmente se debe poner énfasis en la cooperación internacional en lo que respecta a las operaciones de combate al fuego en

América Latina, ya que ninguno de estos países cuenta con los recursos humanos, materiales o financieros para enfrentarse solo a situaciones de fuegos muy severos. La interacción entre las naciones y el intercambio de personal y de programas de entrenamiento deberá fomentarse por medio de las agencias internacionales.

3 El pronóstico de incendios o los sistemas de detección temprana necesitan incorporar información sobre el clima, sequedad de la vegetación, y detección y expansión del fuego para proporcionar un cálculo simple de la situación de los incendios. En las regiones tropicales, es importante saber cuáles son las condiciones y la distribución de la cobertura del terreno, por lo que es necesario contar con mapas que tengan una precisión razonable y estén actualizados con la transformación que haya sufrido el terreno.

4 Las patrullas, torres y aeronaves son partes integrales en la detección de incendios y el proceso de monitoreo, pero la detección satelital es necesaria. Hay intercambios por utilizar las plataformas satelitales AVHRR, GOES, DMSP-OLS, SPOT, SAR y LANDSAT 7 con el fin de detectar, monitorear y mapear incendios. Los nuevos detectores satelitales, incluyendo MODIS, TRMM y BIRD, ampliarán su capacidad, pero la detección aérea y la extinción de incendios en los bosques tropicales puede ser crítica y aún problemática. El follaje del bosque dispersa el humo y oscurece la visión, haciendo difícil ubicar las líneas de fuego; asimismo, intercepta gran cantidad del agua y de los agentes extintores descargados en el fuego, haciendo que sean mucho menos efectivos.

5 En el combate a incendios se deberían utilizar brigadas de extinción aéreas y terrestres, las cuales tendrían que estar entrenadas, equipadas y coordinadas por medio de una estructura de comando muy bien definida. No obstante, se ha establecido claramente que los esfuerzos llevados a cabo para mitigar los incendios fracasarán si se basan sólo en las fuerzas para combatirlos y en legislaciones punitivas. Las poblaciones locales deben estar involucradas y apoyar los esfuerzos que se hagan en contra del fuego. Los programas nacionales en los países en desarrollo no han sido tan efectivos como se esperaba, debido a la falta de disponibilidad de equipo para combatir el fuego y su alto costo, por lo que debería fomentarse la fabricación nacional.

Las regiones con mayor incidencia al fuego deberían tener siempre listo y disponible el material necesario para combatirlo, de tal manera que puedan responder a los incendios de manera rápida y efectiva. La velocidad de respuesta es crítica en los bosques tropicales y es necesario poder pronosticar cuándo y dónde pueden presentarse los incendios. Las operaciones de limpieza para evitar que comiencen nuevamente en estos bosques son particularmente necesarias y exigen mucho tiempo. La caída del follaje de los árboles destruidos en un incendio puede comenzar a cubrir el suelo en pocos días con una nueva capa de combustible. Este proceso ha dado como resultado hasta tres incendios en una sola región en el transcurso de un año. Para evitarlo, es necesario llevar a cabo una revisión detallada de toda la zona afectada con el objeto de extinguir cualquier fuego que aún esté latente. Si

un incendio se detiene rápidamente, las operaciones de limpieza serán mínimas, pero el tiempo y la mano de obra requeridos para hacerlo incrementan considerablemente si continúa hasta alcanzar áreas sustantivas de bosques tropicales.

Es posible adoptar diversas estrategias al abordar el problema de los incendios: desde una mejor educación y manejo de incendios, hasta incentivos económicos y planeación de uso de suelo. Sin embargo, nada tendría éxito sin el apoyo y la participación de la población. En la actualidad, la gente permanece indiferente o está resignada al problema de los incendios, por lo que los planes para el manejo del fuego deben tratar de modificar esta actitud, así como estimular y posibilitar acciones proactivas para prevenirlo.



Introducción

América Latina y el Caribe cubren una extensa área con muchos ecosistemas, culturas, economías y gobiernos, y cada uno con sus propios problemas para el manejo de incendios. Al igual que la gente, la situación en cada país varía, pero también como entre la gente, hay muchas similitudes. Este documento no pretende abarcar el manejo que se da a los incendios en todos los ecosistemas, sino que se concentra en las condiciones que hay actualmente con respecto al manejo de los siniestros en los bosques tropicales siempreverdes.

Los incendios en los bosques templados y de sabana son graves, pero estos ecosistemas se han adaptado al fuego en diferentes grados, y la interacción que hay entre el fuego y la vegetación dentro de ellos es bastante clara. Sin embargo, hasta hace poco tiempo se consideraba que los siniestros en los bosques tropicales sempervirentes provocaban efectos insignificantes.

Desde hace algunos años, la población mundial ha visto las imágenes de deforestación en los bosques tropicales. Para mucha gente, las escenas de agricultura de roza y quema y la creación de pastizales son sinónimos de incendios en estas tierras. El efecto devastador cada vez mayor que tienen los incendios al penetrar en los bosques que no se pretendía sacrificar, está perdido en el humo y en la neblina de estas quemadas anuales. En años recientes, el aumento de la tala selectiva para el comercio de madera tropical ha exacerbado el problema, convirtiendo grandes extensiones de bosque con vegetación muy densa, húmeda y resistente al fuego, en

un polvorín cargado de material combustible altamente inflamable. El potencial de que ocurran incendios forestales desastrosos en un mosaico de terreno de bosques vulnerables al fuego y de agricultura de roza y quema, se demostró claramente durante los enormes siniestros que ocurrieron en Indonesia entre 1982 y 1983. Sin embargo, cuando en 1997 y 1998 los incendios quemaron otra vez a Indonesia, también arrasaron con el sudeste asiático, África, y Centro y Sudamérica, mostrando el peligro potencial que existe en los bosques tropicales siempreverdes.

Aunque los grandes incendios han ocurrido durante las extensas sequías provocadas en los años de *El Niño*, los siniestros en los bosques tropicales no se han limitado tan solo a este fenómeno, ni tampoco lo harán en el futuro. Las investigaciones llevadas a cabo en los últimos años no sólo han demostrado la susceptibilidad al fuego que tienen los bosques talados e incluso los vírgenes, sino también han revelado la amenaza que representan los siniestros, al convertir estas exuberantes selvas pluviales en matorrales con una enorme pobreza biótica. En este documento se muestran los resultados de éstas y otras investigaciones.

Gran parte de estos estudios se han llevado a cabo en los bosques del Amazonas de Brasil, por lo que aquí se hace énfasis en esta región, lo cual no significa que otros países no tengan problemas de incendios similares o incluso peores. Prácticamente todos los bosques tropicales siempreverdes de América Latina que se encuentran cerca de asentamientos humanos han sido afectados.

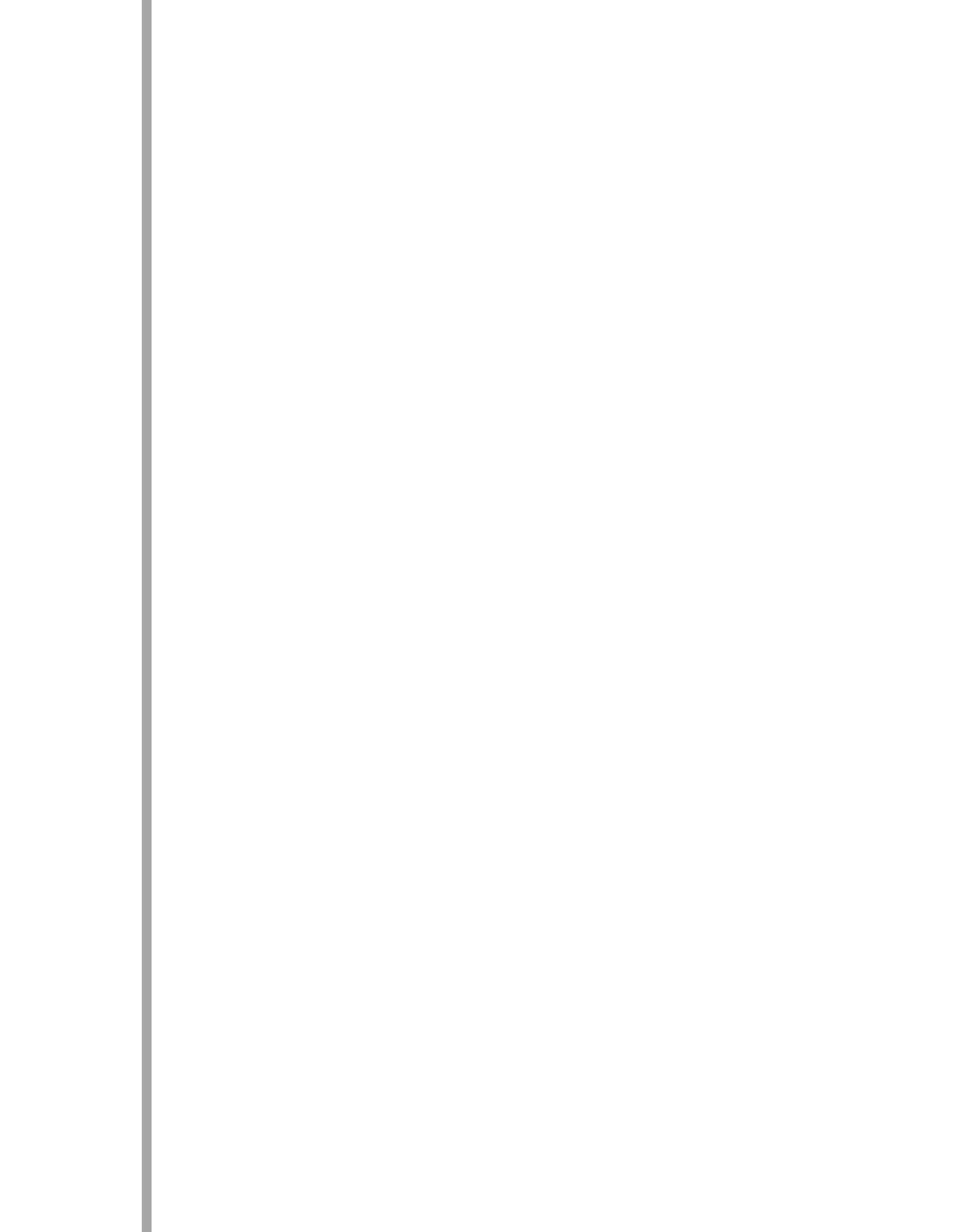
El fuego había desempeñado un papel pequeño o no evolutivo en los bosques tropicales, por lo que la situación que existe actualmente en relación con los incendios es un asunto que preocupa. Los siniestros aquí no difieren de los de otras partes del mundo, pero la ecología de estos bosques hace que los efectos de los incendios sean desproporcionadamente severos.

Las autoridades encargadas del manejo de incendios necesitan entender esto: se ha adquirido una gran experiencia en combatir el fuego en los bosques templados y en otros ecosistemas alrededor del mundo, pero los trópicos de América Latina son dife-

rentes, y es probable que las lecciones aprendidas en otros lugares no puedan aplicarse ahí. Este documento muestra los obstáculos tanto culturales como ecológicos que las autoridades deben enfrentar en estas regiones, así como una descripción de las herramientas que tienen disponible.

No es fácil conciliar a las poblaciones dependientes del fuego con los ecosistemas que son adversos al mismo, pero esto deberá hacerse, ya que de otra manera los bosques continuarán degradándose y, en la medida en que esto ocurra, también se verá afectada la gente que los habita o está cerca de ellos.





¿Qué? ¿Dónde? ¿Por qué?



El fuego en la Tierra es tan antiguo como las colinas o los bosques, y ha sido parte de todos los procesos del planeta desde que el combustible, el oxígeno y el calor han coexistido. Si estos elementos se presentan en una cantidad bastante grande, el fuego se da, de otra manera no es posible. Por consiguiente, como punto de referencia mínimo sobre las posibilidades del fuego, su comportamiento y la forma de combatirlo, se puede decir que es necesaria la conjunción e interacción de combustible, oxígeno y calor. La composición, estructura y función del ecosistema están, en consecuencia, directamente ligadas a y en ocasiones controladas por la perturbación del fuego.

El fuego natural

Los incendios en los bosques han sido incidentes comunes desde que la vegetación terrestre ha evolucionado, y por lo tanto, han tenido un efecto dentro del proceso evolutivo. El fuego aún aniquila especies que no pueden sobrevivir o propagarse debido a su presencia periódica.

Si los incendios son pocos pero intensos, entonces las especies capaces de retoñar o germinar inmediatamente después del fuego tendrán más posibilidades de sobrevivir. No obstante, si son muy frecuentes pero de poca intensidad, las especies resistentes al fuego y otras que puedan realizar sus ciclos de vida entre los períodos en que se presenta, se verán más favorecidas que aquéllas que viven más tiempo, pero que no los resisten.

Durante millones de años los fuegos producidos por relámpagos han forzado a la vegetación a adaptarse a las condiciones

locales, y dependiendo de las condiciones del clima así como de las estructuras de combustible que haya, los incendios en los bosques afectarán pequeñas o grandes áreas, serán comunes o escasos, y de alta o de baja intensidad. El resultado final se conoce como el régimen de fuego natural, el cual corresponde al patrón de incendios característicos de una determinada región o ecosistema.

Ya que los regímenes de fuego están sujetos a los efectos combinados de su tipo, intensidad, patrón y frecuencia (Mutch *et al.* 1999), al modificarse cualquiera de estos factores indudablemente cambiará el régimen de fuego de la región. Para gran parte de la evolución, el clima había sido el factor determinante que provocaba los incendios, pero desde que el hombre domesticó el fuego, muchos regímenes, y en consecuencia muchos ecosistemas, se fueron transformando en antropógenos.

Las condiciones más favorables para el fuego

En el contexto de las causas que provocan los incendios, la sequía es semejante al calor, ya que el principal efecto del fuego es incrementar la necesidades del calor para lograr una combustión sostenida. Por lo tanto, como el oxígeno es ubicuo en la atmósfera, las autoridades a cargo del manejo del fuego pueden valorar el riesgo de una ignición y su severidad, si son capaces de pronosticar las condiciones climatológicas y de combustible en un área determinada.

Si el clima es seco y caluroso, especialmente durante un largo período, habrá mayor disponibilidad de combustibles en



el terreno. Estos combustibles son sustancias que requieren menos calor para alcanzar el punto de combustión del que se esté radiando en el medio que las rodea. La combustión sostenida se presenta cuando el fuego se extiende a los combustibles adyacentes para comenzar la ignición antes de que se consuman los que estén encendidos. Si este proceso continúa, entonces el fuego se extenderá.

El comportamiento del fuego es el resultado de las condiciones climatológicas, la composición y estructura del combustible y la topografía.

- Tanto el calor como la sequía sirven para reducir la cantidad necesaria de calor que provoca la ignición.
- El viento airea un fuego y aumenta la disponibilidad de oxígeno, mejorando la cantidad e intensidad del proceso de combustión, y el fuego se extiende.
- La humedad del combustible y la composición química afectan la temperatura de ignición, así como la liberación de energía de la combustión.
- La estructura del combustible determina la disponibilidad de oxígeno y la efectividad de la transferencia del calor.
- La topografía modifica la geometría relativa de las llamas de un incendio y de los combustibles cercanos, afectando así la eficacia de la transferencia del calor del fuego a combustibles aledaños, y por lo tanto la posibilidad de que el fuego se extienda.

Regiones de incendios

Sudamérica

Casi la mitad del continente sudamericano está cubierto por bosques, y un 11 por ciento adicional tiene otras zonas boscosas diferentes. El continente abarca una vasta zona que va desde los bosques litorales del Caribe hasta los de lluvia templada en Tierra del Fuego (*Nothofagus* spp.) La vegetación regional varía desde casi inexistente en el desierto de Atacama, hasta profusamente frondosa en las partes húmedas de los bosques tropicales de la amazonia. La cobertura boscosa de cada país oscila entre el 90 y el 95 por ciento en Guyana, Guinea Francesa y Surinam, hasta menos del cinco por ciento de la zona de las pampas de Uruguay. Los bosques templados se encuentran principalmente en Argentina, Chile, Paraguay y el sur de Brasil, y cubren el 11 por ciento de estas regiones. Sin embargo, estos bosques constituyen sólo el cinco por ciento de la cobertura boscosa total del continente. Más del 95 por ciento restante de los bosques son selvas tropicales y la mayoría se encuentra en la extensa Cuenca del Amazonas. Las tasas de deforestación en Sudamérica son aproximadamente del 0.6 por ciento anual, y la mayor parte de la tala se hace en los bosques tropicales. En el cuadro 1 se presentan datos de bosques por país.

Los bosques tropicales constituyen hasta un 95 por ciento de la cobertura forestal de Sudamérica (FAO 1999). A pesar de que grandes cantidades de bosques tropicales siempreverdes se encuentran en Bolivia, Perú, Colombia, Venezuela, Ecuador, Guinea Francesa y Guyana, la



Cuadro 1. Cantidad de bosques y cambio de cubierta en Sudamérica

Cobertura del bosque 1995							
País/región	Miles de hectáreas de bosque total	Miles de hectáreas de región arbolada	Miles de hectáreas no boscosas	Bosque total %	Región arbolada %	No boscosas %	Cambio de la cobertura del bosque 1990-1995 %/año
Argentina	33 942	16 500	223 227	12,4	6,0	81,6	-0,3
Bolivia	48 310	8 632	51 496	44,6	8,0	47,5	-1,2
Brasil	551 139	105 914	188 598	65,2	12,5	22,3	-0,5
Chile	7 892	8 550	58 438	10,5	11,4	78,0	-0,4
Colombia	52 988	9 041	41 841	51,0	8,7	40,3	-0,5
Ecuador	11 137	3 569	12 978	40,2	12,9	46,9	-1,6
Guayana Francesa	7 990	321	504	90,6	3,6	5,7	0,0
Guyana	18 577	331	777	94,4	1,7	3,9	0,0
Paraguay	11 527	6 388	21 815	29,0	16,1	54,9	-2,6
Perú	67 562	16 754	43 684	52,8	13,1	34,1	-0,3
Surinam	14 721	317	562	94,4	2,0	3,6	0,0
Uruguay	814	120	16 547	4,7	0,7	94,7	0,0
Venezuela	43 995	23 493	20 717	49,9	26,6	23,5	-1,1
Sudamérica Templada	42 648	25 170	298 212	11,7	6,9	81,5	-0,3
Sudamérica Tropical	827 946	174 760	382 972	59,8	12,6	27,6	-0,6
Sudamérica	870 594	199 930	681 184	49,7	11,4	38,9	-0,6

Fuente: FAO 1999

inmensa mayoría de ellos está en Brasil. Tanto Bolivia como Brasil tienen importantes mercados de exportación de madera tropical; además, la amazonia brasileña exporta al sur de Brasil grandes cantidades de madera tropical para el consumo nacional.

Los incendios afectan en diferentes grados los bosques tropicales a lo largo de Sudamérica; los efectos son más pronunciados en regiones que tienen extensos períodos de sequía, extracción maderera selectiva y grandes poblaciones. Los recientes siniestros en la región incluyen más de 7 000 incendios forestales en Colombia en 1997 (Brown 1998), fuegos intensos en concesiones forestales y tierras agrícolas en Bolivia en 1993 y 1994 (Mos-

tacedo *et al.* 1999) y en 1999 (Musse 1999), y hubo muchos siniestros en 1998 a lo largo del Macizo de Guyana, incluyendo Brasil, Colombia, Venezuela, Surinam y Guyana (Grégoire *et al.* 1998). De 1995 a 1997 se informó acerca de otros incendios forestales en los bosques ubicados al sur, centro y este de la amazonia brasileña (Uhl y Bushbacher 1985; Kauffman 1991; Cochrane y Schulze 1998; Stone y Lefebvre 1998; Peres 1999; Cochrane *et al.* 1999). Tan sólo en 1998, en el estado amazónico de Roraima, se quemaron entre 1 100 000 y 1 400 000 hectáreas de bosques vírgenes (Barbosa y Fearnside 1999; Shimabukuru *et al.* 2000). Otras selvas tropicales de la región Mata atlántica de Brasil también están amenazadas por el fuego. Estos



bosques han sido deforestados en un 90 por ciento y sólo existen como fragmentos susceptibles al fuego. La biodiversidad que hay en los bosques remanentes hace particularmente importante su conservación (Mutch *et al.* 1999). A pesar de no ser tropicales, las selvas de *Nothofagus* ubicadas en Chile y Argentina, también se han visto afectadas por incendios, especialmente en la época de intensas sequías (Kitzberger 1997), y pueden responder, al igual que los bosques tropicales siempreverdes, a una ocurrencia de siniestros más frecuente.

La mayoría de los bosques templados en Sudamérica se encuentran en Chile, Argentina, Paraguay y el sur de Brasil. Los principales ecosistemas de sabana de esa parte del continente incluyen los llanos colombianos y venezolanos, los llanos Moxos de Bolivia y los cerrados de Brasil (Cavelier 1998), así como los pastizales de Argentina y Uruguay. Hay otros pastizales de origen antropógeno en algunas regiones de Colombia (Aide y Cavelier 1994; Cavelier *et al.* 1998), Venezuela (Rull 1992) y el norte de Brasil.

Para mayor información acerca de los incendios en los bosques templados, se recomienda a los lectores consultar las excelentes referencias relacionadas con estos bosques, incluyendo Agee (1998), Rothermel (1983) y Pyne (1984), entre otras. Kauffman *et al.* (1994) y Mistry (1998) resumen las características y efectos del fuego para varios ecosistemas de sabana 'cerrado'.

El resto de este documento se concentra en los incendios de los bosques tropicales siempreverdes.

Centroamérica y México

Los bosques ocupan el 31 por ciento, y otras zonas boscosas el 37 por ciento de la región de Centroamérica y México. La deforestación varía entre escasa en Belice — que aún tiene un 86 por ciento de bosques — a extensa en El Salvador, que tan sólo tiene alrededor del cinco por ciento de cubierta de bosque remanente. México tiene la mayor parte del área terrestre de la región (79 por ciento) y, a pesar de que sólo el 29 por ciento es bosque, representa el 74 por ciento de las zonas boscosas. La región tiene una amplia gama de zonas climáticas, lo que da como resultado una variedad ilimitada de vegetación y de tipos de bosque, desde las regiones semiáridas y con mayor sequía — que constituyen la mayor parte de México — hasta los densos bosques tropicales del Tapón de Darién en Panamá. Los bosques de la región son una mezcla de pino y especies caducifolias, y diversos tipos de selvas tropicales. En el cuadro 2 se presentan datos de bosques por país.

En Centroamérica y México, los bosques templados prevalecen en las zonas más altas y en los lugares más secos. La mayoría de los bosques templados y de las plantaciones son coníferos, cuyas principales especies son los pinos. Entre los ecosistemas de sabana, la mayor parte de los pastizales en Centroamérica son de origen antropógeno, y México tiene un área muy extensa de tierras áridas naturales.

Tanto en Centroamérica como en México, los bosques tropicales abarcan mucha de la cubierta boscosa desde el sur de México hasta Panamá. Gran parte de la región es propensa a incendios debido a la tala de los



Cuadro 2: Cantidad de bosques y cambio de la cubierta en Centroamérica y México

Cobertura del bosque 1995							
País/región	Miles de hectáreas de bosque total	Miles de hectáreas de región arbolada	Miles de hectáreas no boscosas	Bosque total %	Región arbolada %	No boscosas %	Cambio de la cobertura del bosque 1990-1995 %/año
Belice	1 962	119	199	86,1	5,2	8,7	-0,3
Costa Rica	1 248	113	3 745	24,4	2,2	73,3	-3,0
El Salvador	105	763	1 204	5,1	36,8	58,1	-3,3
Guatemala	3 841	5 212	1 790	35,4	48,1	16,5	-2,0
Honduras	4 115	1 446	5 628	36,8	12,9	50,3	-2,3
México	55 387	80 362	55 120	29,0	42,1	28,9	-0,9
Nicaragua	5 560	1 705	4 875	45,8	14,0	40,2	-2,5
Panamá	2 800	143	4 500	37,6	1,9	60,5	-2,1
Centroamérica y México	75 018	89 863	77 061	31,0	37,1	31,9	-1,2

Fuente: FAO 1999

bosques y al mantenimiento de pastizales. La extracción maderera está presente en toda la región en diferentes grados. La madera se utiliza aserrada y como combustible doméstico; asimismo, gran parte de la producción se usa a nivel nacional, aunque hay exportación limitada.

En 1998, a lo largo de Centroamérica y México hubo incendios forestales durante la sequía extrema causada por el fenómeno de *El Niño*. Se calcula que en Centroamérica los incendios de ese año afectaron 2.5 millones de hectáreas, la cuales equivalían al 85 por ciento del área total de Nicaragua, Honduras y Guatemala (Much *et al.* 1999). La Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP), Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) desde 2001, atribuyó directamente el 97 por ciento de los incendios que hubo en México en 1998, a la extracción maderera y a las actividades agrícolas de roza y quema (Business Mexico 1999). Estos incendios provocaron una pérdida adi-

cional de 583 664 hectáreas de bosques (Trejo y Pyne 2000). Las estadísticas publicadas por país sobre incendios en esta región no hacen ninguna distinción entre los tipos de bosques en las áreas afectadas, pero todos han reportado incendios en bosques tropicales de latifoliadas.

La temporada de 1998 fue de quemazones extremas y, por lo tanto, no es indicativa de los patrones típicos de la ocurrencia de incendios. Sin embargo, hay informes de que hubo siniestros durante los años en que no se presentó el fenómeno de *El Niño* en Costa Rica, Belice y Nicaragua (Middleton *et al.* 1997; Kellman y Meave 1997; Jacques de Dixmude *et al.* 2000), de tal forma que los incendios forestales no deben asociarse exclusivamente a las sequías causadas por este fenómeno. Durante 1999, en México hubo un enorme incendio que afectó por lo menos un 35 por ciento de las 1,4 millones de hectáreas del bosque nuboso de los Chimalapas en los estados de Oaxaca y Chiapas (Ferriss 1999).



El Caribe

Los bosques del Caribe ocupan aproximadamente el 19 por ciento del área terrestre y se encuentran dispersos en las islas de la región; otras zonas boscosas cubren un 11 por ciento adicional. Desde la ocupación europea, grandes cantidades de bosques se han talado y se han presentado perturbaciones; el bosque remanente varía en cuanto a su densidad, de prácticamente nula en Barbados y en las Islas Caimán a más del 61 por ciento en Dominica. La precipitación pluvial cambia de manera sustantiva en todo el Caribe y esto, aunado a la altitud, ha traído como consecuencia una gran variedad de tipos de cobertura de vegetación, desde sabana y ecosistemas áridos, hasta combinaciones de bosques tem-

plados, montañosos y de latifoliadas pluviales, que a menudo existen en las cercanías. La inmensa mayoría de los bosques de la región (77 por ciento) están en Cuba y en la República Dominicana. En el cuadro 3 se presentan datos de bosques por país.

En el Caribe hay bosques templados y tropicales diseminados en las islas de más de 13 países y otros territorios insulares. Los bosques remantes están fragmentados y a menudo sujetos a extracción maderera en pequeña escala. Al parecer no se ha publicado ningún dato o estadística sobre incendios en estos bosques, por lo que la situación del fuego resulta incierta. Entre los ecosistemas de sabana, la mayoría de los pastizales en el Caribe son de origen antropógeno.





Cuadro 3. Cantidad de bosques y cambio de cubierta en el Caribe

Cobertura de bosques 1995							
País/región	Miles de hectáreas de bosque total	Miles de hectáreas de región arbolada	Miles de hectáreas no boscosas	Bosque total %	Región arbolada %	No boscosas %	Cambio de la cobertura del bosque 1990-1995 %/año
Anguila	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Antigua y Barbuda	9	16	19	20,5	36,4	43,2	0,0
Barbados	n.a.	5	38	n.a.	11,6	88,4	n.a.
Islas Vírgenes Británicas	4	2	9	26,7	13,3	60,0	-4,4
Islas Caimán	n.a.	6	20	n.a.	23,1	76,9	n.a.
Commonwealth de las Bahamas	158	0	843	15,8	0,0	84,2	-2,6
Cuba	1 842	1 302	7 838	16,8	11,9	71,4	-1,2
Dominica	46	6	23	61,3	8,0	30,7	0,0
República Dominicana	1 582	446	2 810	32,7	9,2	58,1	-1,6
Granada	4	5	25	11,8	14,7	73,5	0,0
Guadalupe	80	0	89	47,3	0,0	52,7	-1,7
Haití	21	108	2 627	0,8	3,9	95,3	-3,4
Jamaica	175	399	509	16,2	36,8	47,0	-7,2
Martinica	38	28	40	35,8	26,4	37,7	-1,0
Montserrat	3	1	6	30,0	10,0	60,0	0,0
Antillas Neerlandesas	n.a.	7	73	n.a.	8,8	91,2	n.a.
San Cristóbal y Nieves	11	11	14	30,6	30,6	38,9	0,0
Santa Lucía	5	29	27	8,2	47,5	44,3	-3,6
San Vicente y las Granadinas	11	1	27	28,2	2,6	69,2	0,0
Trinidad y Tabago	161	68	284	31,4	13,3	55,4	-1,5
Islas Turcas y Caicos	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Territorio E. U. y otras islas	275	12	633	29,9	1,3	68,8	-2,1
Caribe	4 425	2 452	15 954	19,4	10,7	69,9	-1,7

Fuente: FAO 1999

Características y manejo de los incendios forestales tropicales

Bosques intactos

No todos los bosques tropicales son iguales. Hay muchas variedades, desde los bosques tropicales secos, que antes eran característicos de gran parte de Costa Rica, hasta las selvas fangosas, ricas en especies, las selvas tropicales de

la amazonia peruana, y los bosques de Várzea esporádicamente inundados en la amazonia brasileña. Las temporadas de los bosques dependen de su ubicación, y mientras algunas regiones experimentan pocos o ningún cambio climático, muchas otras tienen uno o dos extensos períodos de sequía durante el año. La respuesta a las sequías es específica para cada especie; algunas se vuelven secas caducifolias, mientras que otras dependen de



raíces profundas para acceder al agua y mantener siempre verde el follaje (Nepstad *et al* 1994).

Sin embargo, la inmensa mayoría de los bosques en América Latina son latifoliados, en altiplanicie de tierra firme. Las temperaturas relativamente estables y los altos niveles de humedad que se conservan por medio de la evapo–transpiración dentro del dosel, caracteriza el interior de estos bosques. Por lo general, los bosques tropicales húmedos y lluviosos no son propensos a los incendios. A pesar de las consistentes altas temperaturas y de las grandes cantidades de biomasa potencialmente inflamable, la humedad alta mantiene los combustibles del bosque demasiado mojados como para quemarse.

Las selvas tropicales intactas han sido consideradas ampliamente inmunes a los incendios (Kauffman y Uhl, 1990), con alguna presencia de fuego ocasional. No obstante, los estudios que se han llevado a cabo a lo largo del Amazonas muestran la presencia de estrato de carbón en el perfil del suelo. Aunque no hay estudios detallados sobre los intervalos en que retornaron los incendios a los bosques tropicales de América Latina, las fechas de los estudios que arrojan los realizados al carbón (Sanford *et al.* 1985; Saldarriaga y West 1986; Turcq *et al.* 1998, Hammond y ter Steege 1998) indican que hubo intervalos de cientos o, incluso, miles de años (Cochrane *et al.* 1999, Cochrane 2000a, b). La evidencia antropológica de algunas regiones del Amazonas ha sido utilizada para elaborar la hipótesis de que los incendios pudieron haber coincidido con los eventos más intensos de *El Niño* (Meggers 1994). Sin importar las causas

que ocasionaron los siniestros, deben haber evolucionado de manera insignificante, ya que los árboles en esos bosques no muestran adaptaciones específicas al fuego (Uhl y Kauffman 1990).

Bosques Degradados

La parte tropical de América Latina tiene sus bosques intactos, pero también tiene gran cantidad de bosques degradados, que han sufrido en diversos grados el impacto humano directo o indirecto. El proceso de roza para la agricultura y los ranchos ganaderos fragmentan el bosque remanente y exponen enormes áreas del límite del bosque a una mayor sequía y al viento. Se destruyen más árboles y la biomasa viva se reduce por lo menos 100 metros dentro del bosque (Laurance *et al.* 1997); asimismo, las tasas de destrucción de los árboles más grandes se incrementan sustancialmente a más de 300 metros del lindero del bosque (Laurance *et al.* 2000).

Los bosques tropicales de América Latina están cada vez más expuestos a presiones de extracción maderera. Ésta es a menudo selectiva ya que sólo se cortan los árboles de menor valor financiero; en algunas ocasiones se tala una o dos especies de alto valor, como la caoba (Veríssimo *et al.* 1995), o incluso 100 o más especies en regiones de extracción maderera que tienen un mayor desarrollo (Uhl *et al.* 1997). Utilizando las técnicas de tala tradicionales, al cortar un solo árbol se puede ocasionar la muerte de otros seis en los alrededores (Veríssimo *et al.* 1992). Más aún, las operaciones de tala de árboles, aunadas a construcción de caminos para el transporte de troncos y de senderos de arrastre, conducen a menudo a destruir o dañar severamente



hasta el 40 por ciento de los árboles remanentes (Uhl *et al.* 1991). Se estima que tan sólo en 1996 la industria de extracción maderera en la amazonia brasileña ha tenido un efecto en 1 100 000 – 1 500 000 hectáreas de bosque (Nepstad *et al.* 1999).

Actualmente, la perturbación del fuego es aún otro proceso de degradación de los bosques tropicales. Se ha informado que estos incendios son comunes en los bosques de tala ubicados junto a los pastizales del ganado (Uhl y Buschbacher 1985) y están vinculados directamente a los linderos y a la fragmentación del bosque. En 1998, los incendios en Roraima, Brasil, impactaron más de 1 100 000 hectáreas de bosque primario (Barbosa y Fearnside, 1999). Grandes incendios, cada uno de hasta 100 000 hectáreas, han ocurrido en el Amazonas desde por lo menos 1988 (Stone y Lefebvre 1998) y éstos se han vuelto recurrentes en algunas regiones (Cochrane y Schulze 1998, 1999). El resultado final es la acumulación de millones de hectáreas de bosque dañado en diversos grados. En algunas zonas, el problema es tan grave que los incendios no intencionales han duplicado las tasas de deforestación aparente en pocos años (Cochrane *et al.* 1999).

Susceptibilidad al fuego

Para manejar incendios, es necesario saber cuándo, dónde y por qué los bosques son susceptibles al fuego. Normalmente, los bosques tropicales húmedos y pluviales están, como su nombre lo indica, bastante mojados. Debajo del dosel se mantiene una alta cantidad de humedad, incluso en los días de mayor sequía, debido a la evapo–transpiración en que mucha de la humedad, si no es que toda, viene directamente de los árboles del

Más acerca de los combustibles

Los combustibles por lo general se dividen en diferentes clases dimensionales, la cuales han sido clasificadas por tener características específicas en cuanto al flujo de la humedad. Específicamente, los combustibles se dividen en 1, 10, 100 y 1 000 clases de combustible/hora (0,62, 0,62-2,54, 2,54-7,62, >7,62cm). El número refleja el tiempo en la que una partícula de combustible de un tamaño determinado requiere para alcanzar el 63 por ciento de equilibrio, después de que se haya dado un cambio en las condiciones de humedad ambiental (Agee 1993). En breve, esto simplemente muestra que los combustibles más pequeños — como los de una hora — pueden secarse o humedecerse relativamente rápido, mientras que los más grandes (por ejemplo, los de 1 000 horas) tardan más en secarse, pero también necesitan más tiempo para recuperar la humedad.

En el caso de muchos de los bosques tropicales siempreverdes, el fuego se extenderá en los combustibles que sean realmente de una hora. Éstos, en forma de capa de humus (como las hojas secas), a menudo forman una cobertura continua en el suelo del bosque. Sin embargo, en un bosque húmedo, estas hojas son incapaces de mantener una combustión sostenida (Uhl *et al.* 1988). No obstante, si los niveles de la humedad ambiental bajan, estos combustibles húmedos pueden secarse al punto de volverse inflamables en tan sólo pocas horas. Si al llegar a este punto hay un fuego, se puede extender a lo largo del bosque porque los combustibles se encuentran lo suficientemente secos para estar "disponibles", y también están de manera ininterrumpida a lo largo del bosque.



bosque (Moreira *et al.* 1997). Alguna vez se pensó que eran, en gran medida, inmunes al fuego, pero en años recientes, los estudios realizados al carbón del suelo (Sanford *et al.* 1985; Saldarriaga y West 1986; Turcq *et al.* 1998; Hammond y ter Steege 1998) demostraron que estos bosques son susceptibles a quemarse.

La extracción maderera selectiva abre el dosel del bosque y permite que la luz penetre al suelo, secando los residuos de la tala e incrementando la posibilidad de que se vuelvan inflamables. Ya en 1985 hubo advertencias de que los bosques de la amazonia oriental estaban en peligro de incendio debido a un "sinergismo desordenado" entre el ganado de las fincas y la extracción maderera selectiva (Uhl y Buschbacher 1985) y estudios posteriores demostraron que estas advertencias eran reales (Uhl y Kauffman 1990, Holdsworth y Uhl 1997, Cochrane y Schulz 1999, Cochrane *et al.* 1999).

Tanto la tala como el fuego de la superficie que hay debajo del dosel cambian considerablemente la susceptibilidad de los bosques a los incendios (Uhl y Kauffman 1990; Cochrane y Shulze 1999; Mostacedo *et al.* 1999). Por lo general, un bosque tropical intacto puede pasar más de un mes sin lluvia y conservarse aún resistente al fuego (Uhl *et al.* 1988). Sin embargo, las sequías de largo plazo pueden lograr que incluso los bosques tropicales de raíces profundas se vuelvan inflamables (Nepstad *et al.* 1999). La extracción selectiva hace que el bosque se seque muy rápido y se queme después de seis u ocho días sin lluvia (Uhl y Kauffman 1990). Una vez que un bosque se haya incendiado, es mucho más susceptible al fuego en el futuro. Los estudios han demostrado que

mientras sólo el cinco por ciento de un bosque intacto es susceptible al fuego (principalmente debido a los claros de bosque) después de 16 días sin lluvia, el 50 por ciento de los que anteriormente se habían incendiado son inflamables. Los bosques que se han quemado dos veces son 90 por ciento más susceptibles al fuego durante el mismo período (Cochrane y Schulze 1999).

Las sequías prolongadas pueden hacer que hasta el bosque más húmedo se queme. Sin embargo, la tala y la quema de bosques hacen que éstos sean inflamables aún por incidentes climáticos comunes, como lo son unas cuantas semanas sin lluvia. Para poder pronosticar cuáles bosques se incendiarán, es necesario conocer las condiciones climáticas, así como las de la cobertura del suelo y las posibles causas de ignición. Los bosques que han sido talados o que han tenido incendios previos son mucho más susceptibles al fuego y, por lo tanto, requerirán de mayor protección.

Carga de combustible

El riesgo de incendios no sólo depende de que un bosque sea susceptible a quemarse, sino que también es cuestión de la severidad del fuego esperada. En el comportamiento del fuego influye también una interacción compleja de viento, clima, topografía y contenido y estructura del combustible. No obstante, la cantidad de combustible que haya disponible para quemarse y la cercanía de las áreas donde se encuentre el combustible en el terreno, son factores críticos: si no hay combustible, no hay fuego, sin importar cuántos incidentes de ignición ocurran (por ejemplo, algún biomas del desierto). Si los combustibles que se encuentran en



Un ejemplo brasileño

A pesar de la colonización del Amazonas por parte de los primeros pobladores brasileños, las condiciones del fuego no cambiaron sustancialmente. Los pueblos autóctonos se encontraban desplazados en muchas áreas, y practicaban algunas formas de agricultura similares a las de roza y quema. La mayoría de los asentamientos estaban a lo largo de las riberas y casi toda la extracción maderera se hacía en lugares adyacentes a los ríos, de tal manera que los troncos pudiesen ser transportados fácilmente a los molinos. Hubo fuegos ocasionales, pero aún no se consideraba que un incendio forestal fuese un problema importante.

La situación del fuego cambió en el Amazonas brasileño durante las décadas de 1960 y 1970. Al construir una red de caminos que vincularan el Amazonas con el resto del país, el gobierno militar abrió enormes senderos para la colonización y cambió la naturaleza del fuego en estos bosques. Millones de colonizadores se asentaron a lo largo de los caminos para domesticarlos. La tierra estaba a disposición de cualquiera que pudiese demostrar que podía ocuparla y "mejorarla". Esto último implicaba deforestar la tierra con el objeto de crear campos agrícolas o pastizales para ranchos ganaderos: la deforestación requería del fuego.

El resultado final de esta migración masiva de pobladores y la construcción de nuevos caminos ha sido una fragmentación de los bosques de la región sin precedentes, pues las comunidades que poseen pequeñas propiedades y los propietarios de grandes ranchos "mejoran" la tierra en una escala de hectáreas a kilómetros cuadrados. A lo largo de los nuevos pueblos y de los caminos pavimentados, vino la industria maderera. Los bosques se dañan sustancialmente al construir caminos y al caer los árboles cuando se realizan las actividades de tala y transporte de troncos. Estos bosques a menudo están adyacentes a grandes pastizales. Más aún, los colonos que buscan tierras que nadie reclama por lo general siguen los caminos talados.

Ahora hay enormes estrechos de pastizales y tierras agrícolas a lo largo de las redes de los caminos establecidos. El fuego es la principal herramienta que se utiliza para establecer y mantener estas tierras; las tierras taladas a menudo se queman cada dos o tres años (Fearnside 1990; Kaufman *et al.* 1998). Ya que la deforestación debida al fuego continúa, esto significa que la cantidad de igniciones intencionales causadas por el hombre en el Amazonas incrementarán año con año mientras que enormes cantidades de tierras estén amenazadas por el fuego.

Los incendios no intencionales incrementan en posibilidad y extensión en la medida en que crezcan las poblaciones y el terreno se interconecte aún más por medio de vegetación altamente inflamable. La ignición de un fuego está íntimamente ligada a la red de transporte, como se observa en las imágenes de incendios detectados por medio de satélite a lo largo de los principales caminos. La tala está haciendo que varios bosques adyacentes sean más susceptibles al fuego. Los incendios causados por taladores, cazadores y fuegos que se escapan de las actividades de roza y quema se han vuelto más frecuentes y severos; rápidamente el terreno ha dejado de ser una tierra con pocos y casi ningún incendio para convertirse en una de incendios frecuentes y muy extensos.



el área están dispersos y no hay nada que permita el movimiento del fuego, es poco probable que se propaguen los incendios. Se puede decir que así son la mayoría de los incendios causados por la deforestación, ya que se conservan en un área muy cargada de combustible (bosque de roza) y por lo general no pueden penetrar más que unos cuantos metros en el bosque húmedo (Uhl y Buschbacher 1985).

Los bosques tropicales son algunos de los ecosistemas más ricos de biomasa en la Tierra. Toda la biomasa vegetal es un combustible potencial y lo único que la protege es la humedad. El potencial para la ignición de un fuego y su propagación sólo existe cuando la humedad derivada de la transpiración no puede reemplazar la resequedad del bosque debido a que ésta última es más rápida.

En la mayoría de los casos, aunque sólo un poco de combustible cubra el bosque, éste puede provocar incendios menores en cualquier lugar. El suelo del bosque por lo general está bien resguardado de los movimientos del aire, por lo que la humedad del combustible será la causa principal de la velocidad en que se propague el fuego. Si las llamas alcanzan una gran cantidad de combustibles que estén lo suficientemente secos como para quemarse, causarán incendios más grandes y de mayor duración; en un bosque intacto, esas condiciones serán poco comunes, y por ello no habrá muchas posibilidades de incendios graves y se darán en lugares muy específicos. Sin embargo, las cantidades de combustible pueden incrementar considerablemente en los bosques que hayan sido afectados antes por la tala (Uhl y Kauffman, 1990), el fuego (Cochrane *et al.* 1999) o

los vientos severos como los que provocan los huracanes. El cuadro 4 muestra las cargas de combustible típicas para los diferentes tipos y condiciones de bosque (Kauffman *et al.* 1988; Uhl y Kauffman 1990, Cochrane *et al.* 1999).

Los combustibles en los bosques perturbados llegan triplicar los niveles normales. El riesgo de incendios es mucho mayor debido a que no sólo son más susceptibles al fuego, sino que también tienen mayores cantidades de combustibles. Mientras que los incendios de los bosques vírgenes pueden ser controlados fácilmente por los bomberos con herramientas manuales, los que se presentan en los bosques degradados son demasiado severos como para controlarlos con los métodos convencionales para su control (Cochrane *et al.* 1999).

Inicio de un incendio

Para que un fuego se dé, es necesario que haya un incidente de ignición: una chispa. Los trópicos tienen más relámpagos que cualquier otro lugar de la Tierra, pero por lo general la lluvia que los acompaña protege al bosque. Incluso, si un fuego se llegara encender, se apagaría; la vegetación verde y mojada que lo rodea mantiene la humedad tan alta, que ni siquiera se quemarían las hojas muertas. En consecuencia, al no haber fuego que actúe como una presión selectiva para la supervivencia de las especies, la vegetación de los bosques tropicales siempreverdes no tiene que desarrollar resistencia alguna ni adaptarse a perturbaciones de incendios frecuentes.

Durante miles de años, el hombre ha utilizado el fuego para preparar la tierra de cultivo y para ayudarse en innumerables



Cuadro 4. Potencial de combustible que se encuentra en los residuos de madera en diferentes tipos y condiciones de bosques tropicales

Cantidades de combustible								
Tipo de bosque	Humus (Mg/hect.)	Root mat (Mg/hect.)	1-hr (Mg/hect.)	10-hr (Mg/hect.)	100-hr (Mg/hect.)	1000-hr (Mg/hect.)	Total (Mg/hect.)	Fuente
Bana	2,8±0,3	8,2±0,7	0,22±0,04	0,9±0,2	0,5±0,2	0,0±0,0	13±2	1
Caatinga	3,2±0,3	35,8±2,7	0,34±0,03	1,0±0,1	1,6±0,6	2,5±1,6	44±3	1
Segunda formación	3,8±0,6	17,2±2,4	0,53±0,07	0,8±0,2	0,2±0,2	40,9±18,2	63±15	1
<i>Terra Firme</i> rica en especies	2,4±0,1	48,6±1,9	0,61±0,07	1,7±0,4	3,1±1,2	7,6±4,9	64±20	1
<i>Terra Firme</i> dominante en esp.	3,1±0,3	77,9±8,7	0,48±0,03	1,3±0,2	2,0±0,6	23,1±10,3	107±10	1
Bajo Igapo	8,0±0,6	231±12,4	0,31±0,03	2,1±0,4	1,5±0,6	10,6±6,4	253±15	1
Bosque primario	4,1±0,2	n.a	0,9±0,2	2,6±0,6	5,7±2,5	42,3±19,7	55,6±16,2	2
Bosque talado	6,1±0,3	n.a	3,3±0,6	8,7±2,0	23,4±4,5	137,4±42,0	178,8±41,2	2
Bosque de segunda formación	4,2±0,0	n.a	0,9±0,1	2,7±0,5	1,0±3,3	18,8±9,0	27,7±6,7	2
Bosque no quemado	3,0-5,0	n.a	1,3	5,2	16,8	15,5	42,8	3
Bosque quemado una vez	3,0-5,0	n.a	3,3	11,8	36,8	124,9	180,8	3
Bosque quemado dos veces	3,0-5,0	n.a	6,6	16,9	40,1	106,1	173,7	3

Fuente:

1. Territorio del Amazonas, Venezuela (Kauffman *et al.* 1988)
2. Paragomina, Pará, Brasil (Uhl and Kauffman 1990)
3. Tailandia, Pará, Brasil (Cochrane *et al.* 1999)

tareas (Pyne 1997). Esto ha dado como resultado que haya una constante fuente de ignición, ajena a los eventos climáticos que ocasionalmente se presentan; sólo fue cuestión de tiempo para que el fuego penetrara en el bosque. Bajo las condiciones de extrema sequía de los eventos periódicos de *El Niño*, es probable que los incendios que penetraron de manera frecuente se hayan propagado y que hayan sido lo suficientemente severos como para influir en la distribución y la migración de los pueblos indígenas (Meggers 1994). Hoy en día, la extensa ganadería y la tala aunada a la agricultura de roza y quema, están provocando que el problema de los incendios tropicales se incremente de manera expedita. A

menos que se hagan cambios importantes en las técnicas del manejo de tierra, la cantidad de fuentes de ignición continuará aumentando así como la probabilidad de incendios forestales. Esto significa que, aunque la severidad de la temporada de incendios varíe, como siempre, con el clima anual, el riesgo del fuego tenderá a incrementarse cada año.

Cuestiones relacionadas con el uso de la tierra

El uso de la tierra es una cuestión determinante para el manejo de incendios en los trópicos. Los tres principales usos de tierra en esta zona son: agricultura, ganadería y extracción maderera, y cada uno de ellos incrementa las posibilidades de siniestros



El manejo típico del fuego

Los esfuerzos que se realizan por evitar que el fuego se propague —si los hubiese— a menudo dependen de la preferencia o criterio de cada colono, ya que hacen falta normas o el cumplimiento de las mismas. En muchos casos, el fuego simplemente se enciende para quemar las orillas del bosque, de donde por lo general saldrá sólo después de penetrar unos cuantos metros. Cuando las nuevas parcelas están adyacentes a las que ya existen o a los pastizales, regularmente se crea una barrera de fuego de uno o dos metros de ancho, removiendo toda la vegetación que haya entre la parcela a quemarse y las áreas que deseen protegerse. En operaciones de gran escala, se pueden utilizar tractores para limpiar las barreras de fuego aún más anchas. El fuego es el único medio con el que cuenta un agricultor para crear tierras de cultivo y, por ello, hace uso de esta herramienta para su beneficio, mientras que, por otro lado, trata de evitar el causar daños colaterales a otras propiedades importantes.

en los trópicos, siendo necesario modificarlos para reducir tanto el riesgo como la propagación de los incendios.

En los trópicos, la agricultura de roza y quema se ha practicado durante miles de años (Pyne 1997). Todos o casi todos los árboles de una determinada parcela se talan y luego se dejan secar varios meses. Las estaciones varían en los trópicos de América Latina y el Caribe, pero en la mayor parte de la región hay uno o más períodos de sequía que son los que determinan cuándo se puede llevar a cabo la práctica de roza y quema.

La temporada de sequía también es la temporada de incendios. Una vez que los materiales talados se hayan secado lo suficiente como para quemarlos, el agricultor prenderá fuego a la vegetación talada después del medio día o temprano por

la tarde. El objetivo es reducir al mínimo el cúmulo de desperdicios mientras que se liberan los nutrientes que contiene la tierra, para que puedan servir como fertilizantes de los cultivos que plantará en breve.

Las tierras recién abiertas se sembrarán con cualquier tipo de cultivo que sea apropiado para la región, y la parcela se labrará mientras sea productiva. Cuando la productividad disminuya, ésta podrá convertirse en pastizal para ganado o barbecharse durante algún tiempo. Si esto último ocurre, se le permitirá al bosque crecer y llenarse otra vez de muchos nutrientes del lugar, pero si los ciclos inactivos entre las podas son los suficientemente extensos, esto se convierte en una práctica sustentable. No obstante, en la medida en que incrementa la presión de la población, los ciclos de barbecho se reducen y la productividad disminuye.



La ganadería es muy extensa dentro de los trópicos, pero varía en cuanto a su tamaño e intensidad. Tal como se practica en esta región, la cría de ganado puede consistir en una o más vacas que pacen en unas cuantas hectáreas de tierra recién barbechada, o que varios miles de cabezas de ganado vayan de un lado a otro para pacer en diversos pastizales y en grandes extensiones de tierra. El proceso de desmonte para formar pastizales es muy parecido a la agricultura de roza y quema, pero a menudo éste se produce a mayor escala debido a que cada vez más grandes extensiones de tierra se utilizan para este fin. Un forraje de reciente creación puede haber sido sembrado con pasto, o simplemente se le permitió crecer otra vez. En ambos casos, el pastizal habrá crecido en exceso mientras que la siguiente vegetación del bosque comienza a desarrollarse. Este forraje se puede cortar con machete o, como es práctica común, se quema otra vez para acabar con el bosque que haya retoñado nuevamente (Mattos y Uhl 1995). Por lo general, este proceso se repite cada dos o tres años (Kauffman *et al.* 1998; Fearnside 1990).

En 1996 entre 1 000 000 y 1 500 000 hectáreas de bosque en la amazonia brasileña fueron afectadas por la extracción maderera selectiva (Nepstad *et al.* 1999). Lo mismo ocurre en muchos de los bosques tropicales de América Latina, aunque a menudo no se reporta el lugar, las cantidades que se extraen ni la intensidad con que se lleva a cabo. Todos los países que tienen bosques tropicales producen artículos de madera y combustible para los mercados nacionales, pero Brasil y Bolivia y, en menor medida, Nicaragua,

El efecto de la extracción maderera selectiva

Los impactos de la extracción maderera selectiva varían de acuerdo con la intensidad de la extracción, pero pueden ser importantes. Se espera que los bosques de tala selectiva acumulen carbono a lo largo del tiempo, y que se recuperen a niveles de precosecha de la biomasa, en caso de no haber sido alterada. Sin embargo, muchos bosques vuelven a ser perturbados en diversas ocasiones cuando los extractores de madera regresan a cosechar nuevas especies de árboles en la medida en que se desarrollan los mercados de la madera (Uhl *et al.* 1997; Veríssimo y Amaral 1998). Estos bosques se degradan mucho y el dosel puede haberse destruido entre un 40 por ciento y un 50 por ciento durante estas operaciones de tala (Uhl y Vieira 1989, Veríssimo *et al.* 1992). Los efectos de esta actividad incluyen el incremento de la susceptibilidad al fuego (Holdsworth y Uhl 1997), daño a los árboles y a los suelos cercanos (Johns *et al.* 1996), mayor riesgo de extinción de especies locales (Martín *et al.* 1994) y emisiones de carbono (Houghton 1995). Más aún, la falta de control en la explotación por parte de los taladores, cataliza la deforestación al abrir los caminos hacia tierras gubernamentales que aún no han sido ocupadas y hacia las áreas protegidas que posteriormente son colonizadas por rancheros y agricultores (Veríssimo *et al.* 1995).



Belice, Guyana y Surinam, también exportan maderas tropicales (FAO 1999).

Los métodos e intensidad de la extracción selectiva de la madera varían de un lugar a otro. En la amazonia brasileña se han identificado cinco formas principales de tala: dos en los bosques de Várzea inundados y tres más en bosques de tierra firme (Uhl *et al.* 1997). Tanto la cantidad de especies como la de árboles extraídos de un área se incrementan, mientras que la frontera madura y los mercados de tala se expanden. La extracción maderera selectiva puede darse en pequeña escala como un precursor de la deforestación, o puede ser una operación altamente mecanizada e industrial en un área grande. Esos bosques talados cercanos a las zonas de pastizales y agrícolas, son más susceptibles al fuego.

Fragmentación del terreno y cambio de la cubierta de la tierra

La fragmentación del terreno y el cambio de la cubierta de la tierra son elementos importantes al modificar el nivel de riesgo de incendios en los bosques de una región (Goldammer 1999). El alcance de los efectos de la fragmentación del bosque se puede apreciar en el bosque del Amazonas. Skole y Tucker (1993) estimaban que para 1988, la fragmentación y sus efectos asociados a los linderos (por ejemplo, exposición al viento, sequía excesiva, especies invasoras, etcétera) habían afectado un área de bosque 50 por ciento mayor a la que había sido deforestada. Dentro del bosque, la fragmentación puede dar como resultado un colapso de la biomasa y un aumento en la destrucción hasta por lo menos de 100 a 300 metros (Laurance *et al.*

1997; Laurance *et al.* 2000), lo cual puede hacer que estos bosques sean más susceptibles a incendios. Cada metro de bosque expuesto puede permitir que penetre el fuego e incrementa el riesgo, debido a que más lindero está expuesto a más fuego de manera más frecuente.

Dos lugares en el Amazonas oriental muestran la importancia de la fragmentación y la formación de linderos para los bosques de una región: Paragominas es una frontera muy antigua que se estableció entre mediados y finales de la década de 1960, dominada por grandes intereses de ganadería y extracción maderera; Tailandia es un área fronteriza más reciente que fue creada por el gobierno brasileño como un proyecto de asentamientos (INCRA) para pequeñas tenencias de tierra.

El patrón de fragmentación difiere en ambos lugares, pero el resultado final es el mismo. En las dos regiones, más del 50 por ciento del bosque remanente está dentro de los 300 metros del lindero. Por lo regular, el fuego penetra a más de un kilómetro en ambos sitios, y casi todos los bosques remanentes en estas áreas están siendo afectados (Cochrane 2001).

El cambio de la cobertura de la tierra también empeora el problema de incendios en los trópicos. El principal problema es el aumento de ecosistemas adyacentes inflamables (por ejemplo, los pastizales). En el pasado, las parcelas agrícolas y los pastizales existían como islas de vegetación fácilmente inflamable, en medio de un mar de bosque completamente inmune al fuego. Sin embargo, en la medida en que se fue desarrollando la región, sus bosques



remanentes se han fragmentado cada vez más y se han rodeado de enormes pastizales con forraje altamente inflamable. Esto puede conducir a que el fuego se escape a los pastizales aledaños, incrementando de manera directa los costos económicos y el área total del bosque expuesta al fuego.

La tala selectiva también ocasiona problemas al abrir el dosel y permitir que el bosque se seque. Los bosques talados, con sus pesadas cargas de combustible y sus doseles porosos, se convierten en vegetación fácilmente inflamable que más adelante se junta con los pastizales de la región, y expone a más área del bosque a incendios potenciales. Es muy probable que el fuego se deba a su proximidad con los pastizales de quema y que sean propensos a los asentamientos irregulares. Para iniciar la agricultura de roza y quema, la gente que busca terrenos accesibles sigue los caminos de la tala en estos bosques dañados y propicios al fuego (Veríssimo *et al.* 1992).

Los incendios forestales pueden dañar severamente el dosel de los bosques y hacer que reaccionen igual que aquellos que han sido talados y descritos anteriormente.

La fragmentación del terreno y el cambio de la cubierta de la tierra interactúan para exponer más a los bosques al fuego y, en consecuencia, incrementan el riesgo de los incendios que ocurren a lo largo del terreno, ya que se vuelve muy poroso y permite que el fuego se propague más fácilmente. Por lo tanto, los esfuerzos que se realicen para prevenir el riesgo de incendios o para responder de manera inmediata a los que ocurran, deberán tener en consideración tanto la

configuración del terreno como los tipos de la cobertura de la tierra.

La dinámica del fuego

Cuando se presentan las condiciones climáticas propicias, pueden quemarse incluso grandes extensiones de bosques primarios; tal es el caso de Roraima, Brasil, en 1997 y 1998, donde los incendios destruyeron un área entre 3 814 400 – 4 067 800 hectáreas, de las cuales 1 139 400 – 1 392 800 eran de bosque primario intacto (Barbosa y Fearnside 1999). A pesar de que la sequía causada por *El Niño* hizo que estos bosques se volvieran muy inflamables, los incendios en sí fueron causados por el rápido crecimiento de la población rural.

También se han observado incendios en extensas áreas de bosque que anteriormente habían sido taladas, incluyendo una quema de 100 000 hectáreas cerca de Paragominas (1998) y otra de 9,000 hectáreas alrededor de la comunidad de Del Rei (1991-1992) (Stone y Lefebvre 1998). Más allá de la cuestión del tamaño de los incendios, es inquietante saber que pueden comenzar un ciclo que incrementa la susceptibilidad al fuego (Cochrane y Schulze 1999), las cargas de combustible y la severidad de los incendios (Cochrane y Schulze 1999). Los bosques talados (Uhl y Kauffman 1990), particularmente aquellos que se encuentran a varios metros de los lindes deforestados (Cochrane 2001), están específicamente a riesgo de incendiarse. Tanto la tala recurrente como el fuego pueden cambiar considerablemente la estructura del bosque y conducir a una invasión extensiva de maleza y pastos inflamables (Uhl y



Kauffman 1990, Veríssimo *et al.* 1992, Cochrane y Schulze 1999).

El primer incendio en un bosque de dosel cerrado intacto no es grande. A excepción de las brechas formadas por árboles caídos y otras áreas que tienen una estructura inusual de combustible, el fuego se expandirá como una línea delgada de flamas de unos cuantos centímetros de altura que avanza lentamente (Cochrane y Schulze 1998). En gran parte del área quemada, además de las hojas muertas, el fuego consumirá muy poco. Sin embargo, al iniciarse dejará una apertura inferior muy peculiar de plantón y de arbustos muriendo con hojas marchitas, aunque el dosel de los árboles parezca relativamente intacto. A las 17-18.00 horas, cuando la temperatura cae y aumentan los niveles de humedad relativa, a menudo se apagan los fuegos; al anochecer, sólo quedan algunos troncos ardiendo que se prenderán temprano por la mañana o al medio día si las condiciones así lo permiten. Detrás de la línea del fuego, las hojas de los árboles que se hayan destruido comenzarán a caer, llenando el área de combustibles muy finos. Esta línea puede moverse sólo de 100 a 150 metros diarios, pero también puede mantenerse encendida así durante días, semanas o meses (Cochrane *et al.* 1999). Si el clima es fresco o cae una lluvia ligera, quizá el fuego no queme en lo absoluto; no obstante, muchas áreas volverán a encenderse una o más veces en la medida en que las hojas secas continúen cubriendo el suelo. La densidad de los grandes combustibles (troncos de árboles caídos, copas y ramas grandes) es un factor importante para determinar si el fuego volverá a encenderse.

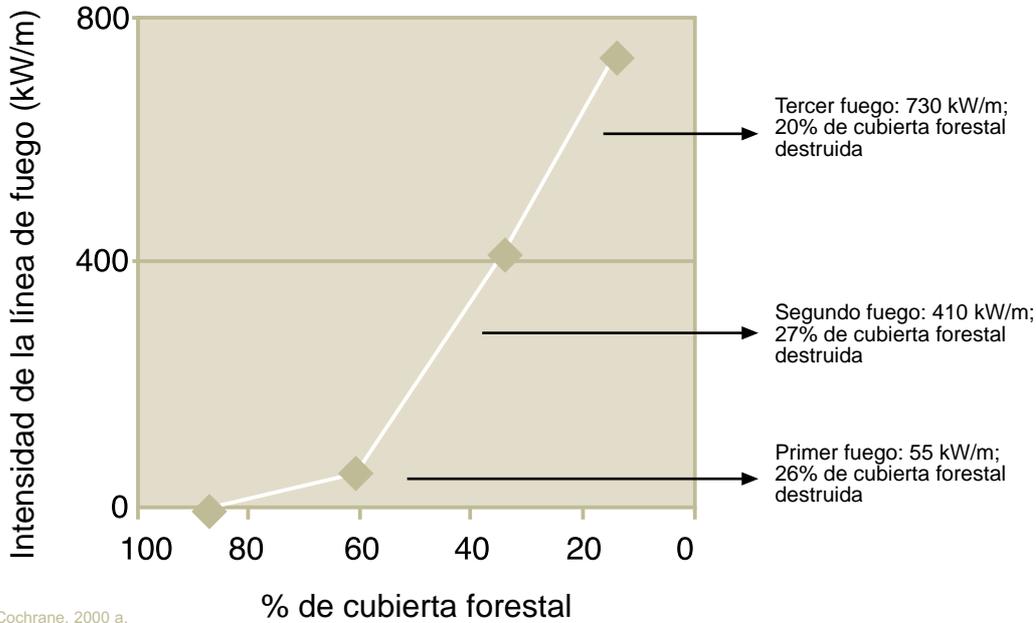
Será más probable que las áreas de bosques talados mantengan estos fuegos durante períodos más largos y que se vuelvan a quemar dentro de una misma temporada. Más aún, en los años posteriores a un incendio, los árboles que caen y se destruyen se convertirán en una carga mayor de grandes combustibles que se conservarán encendidos, aun cuando las condiciones del clima no sean propicias para la propagación de incendios.

Un fuego como el que se describió anteriormente no parece ser algo por lo que haya que preocuparse, pero es, de hecho, un gran problema. La intensidad de la línea de fuego es muy baja, similar a los fuegos mencionados en bosques templados (50 kW/m). Sin embargo, el lento avance de los incendios tropicales los hace mortales debido al tiempo que permanecen encendidas las llamas en la base de los árboles que estuvieron en contacto con el fuego. Imagínese la flama de una vela; se puede pasar la mano por ella rápidamente sin que ocurra ningún daño. Ahora, imagínese que se mantiene la mano sobre la llama durante uno o dos minutos. Es un fuego pequeño y aún así causará una quemadura grave. No es el tamaño de la llama lo que determina el daño, sino el período en que se está expuesto a ella. En el Amazonas, los árboles tienen cortezas muy delgadas y, por lo tanto, son muy susceptibles a dañarse por el fuego (Uhl y Kauffman 1990). El espesor de la corteza se incrementa con el diámetro de los árboles, lo cual explica el porque los más pequeños sufren más debido a estos incendios.

El fuego destruye muchos árboles y el bosque pierde gran parte del dosel (Figura 1); por ello, más luz solar alcanza el



Figura 1. Comparación de intensidad de fuegos y efectos sobre la cubierta forestal por incendios recurrentes en un bosque tropical.



Fuente: Cochrane, 2000 a.

suelo del bosque y este incremento eleva la temperatura. Un bosque intacto difícilmente excederá los 28°C aun en los días más calurosos, pero en la medida en que el fuego adelgace el dosel, el bosque podrá alcanzar hasta 38°C en días similares (Uhl y Kauffman 1990). Esto lo hace mucho más vulnerable a un nuevo incendio (Figura 2).

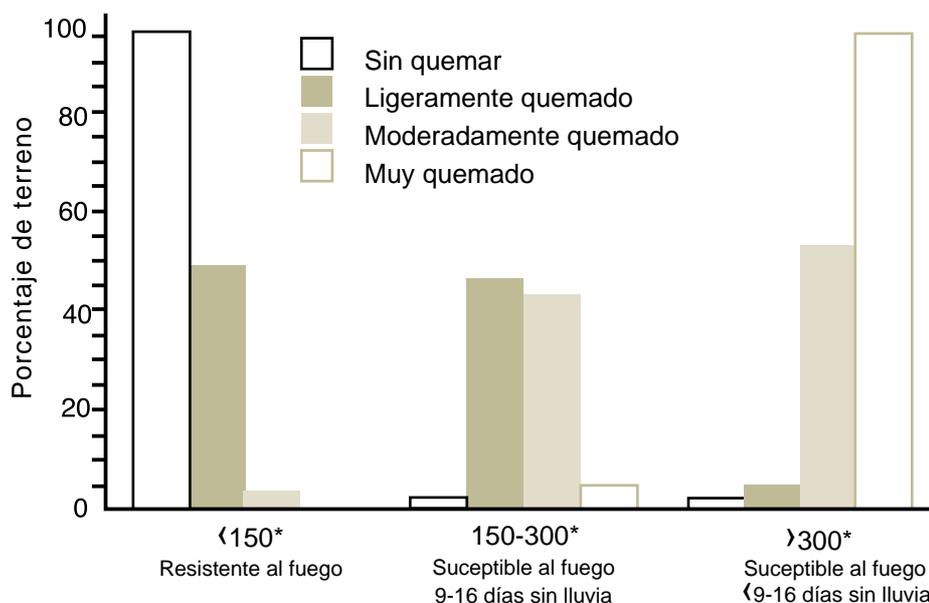
Antes de quemarse, la cobertura del dosel alcanza en promedio un 85 ó 95 por ciento y la humedad interna permanece alta aun durante período de sequía; sólo las pequeñas zonas abiertas (que por lo general son menos del cinco por ciento), tales como brechas formadas por árboles caídos, se vuelven susceptibles al fuego después de 16 días sin lluvia. Un año después del fuego, esta cobertura es de apenas 60 por ciento y la capacidad para mantener la humedad alta se ha reducido considerablemente, haciendo que la mitad del bosque se vuelva susceptible al fuego en las mismas condi-

ciones climáticas (Cochrane y Schulze 1999). Además, en la medida en que los árboles destruidos por el fuego comienzan a caerse o dejen caer sus ramas, la cantidad de materiales combustibles pequeños y grandes del suelo del bosque se incrementa (Cochrane *et al.* 1999). Un fuego como estos acabará con cerca del 40 por ciento de los árboles (>10 cm de diámetro), y reducirá la biomasa viva en tan sólo un diez por ciento, ya que morirán pocos de los árboles grandes que contienen la mayor parte de la biomasa (Cochrane y Schulze 1999).

Estos bosques son susceptibles a quemarse en el futuro; si uno de ellos se quema nuevamente pocos años después del primer incendio, el fuego será mucho peor. La longitud de las llamas, su profundidad, la velocidad de propagación, el tiempo de permanencia e intensidad de la línea de fuego, son considerablemente mayores. Un segundo incendio destruirá otro 40 por ciento de los árboles remanentes,



Figura 2. Efecto de los incendios forestales recurrentes en futuras susceptibilidades al fuego.



Nota: Los bosques más severamente quemados o aquellos que han sufrido incendios en múltiples ocasiones (ligeros = 1x, moderados = 2x, intensos = >2x) se vuelven más propensos a fuegos futuros. La gráfica muestra el porcentaje de un tipo de bosque que es factible de volverse susceptible al fuego después de 9 ó 16 días sin lluvia.

* Los números se refieren a la tasa de densidad de flujo de fotones (PFD en inglés, en minuto de mol/m²/d).

Fuente: Cochrane y Schulze, 1999.

que esta vez corresponderá al 40 por ciento de la biomasa viva. Los árboles grandes de los bosques que se vuelven a incendiar no tienen más ventaja de sobrevivir que los pequeños, porque los cambios de comportamiento del fuego trastornan las defensas aun de los árboles más grandes y con corteza más gruesa. En otras palabras, mientras que el primer incendio mató a la mayoría de los árboles pequeños, es muy probable que el segundo mate tanto a los grandes como a los pequeños (Cochrane *et al.* 1999).

La maleza y los pastos, que son bastante inflamables incluso cuando están verdes, se extienden vertiginosamente en los bosques que se hayan quemado en dos ocasiones; el dosel se reduce a menos del 35 por ciento; las cantidades de combustible vivo y muerto aumentan rápidamente, y casi todo el bosque será susceptible al

fuego cuando pasen 16 días sin lluvia. El proceso es muy claro: al quemarse estos bosques se vuelven más susceptibles al fuego. Esto significa que los incendios no sólo son más frecuentes, sino que también son cada vez más severos, y pueden terminar destruyendo el bosque.

Los incendios en los bosques de tala actuarán como los que se presentan en los bosques intactos; el primero puede ser muy intenso debido a la gran cantidad de combustibles de madera que quedaron por estas operaciones (Uhl y Kauffman 1990). Los bosques talados que se queman pueden no ofrecer ventajas de supervivencia a los árboles de mayor diámetro y corteza más gruesa en un incendio inicial (Kauffman 1991), tal y como se reportó en otros bosques tropicales (Woods 1989; Cochrane y Schulze 1999). Por lo tanto, el primer incendio en los



bosques talados degradará el lugar en gran medida y lo hará mucho más vulnerable a incendios recurrentes.

El régimen del fuego

Las alteraciones en cuanto a la frecuencia, intensidad y patrón de los incendios forestales en los trópicos representan un cambio en el régimen del fuego. El régimen natural de los bosques tropicales húmedos y fangosos, es de pocos o ningún incendio (Mutch *et al.* 1999). Los intervalos de recurrencia al fuego de cada mil años son bastantes comunes (Hammond y ter Steege 1998); la vegetación responde e influye en los regímenes de fuego de la zona. Es probable que a lo largo del tiempo la frontera entre los bosques tropicales y la vegetación de cerrado o de sabana se haya alternado una y otra vez bajo la influencia de las variaciones climáticas milenarias. En condiciones más secas los incendios empujarían los bosques hacia atrás, mientras que en los períodos más lluviosos el bosque invadiría la sabana y otras vegetaciones susceptibles al fuego. En áreas de temporales intensos, los bosques de dosel cerrado pueden mantener altos niveles de humedad interna durante el período de sequía (Moreira *et al.* 1997). No obstante, cuando los intervalos de recurrencia de incendios son menos de alrededor de 90 años, los bosques forestales se colapsan y son reemplazados por vegetación más tolerante al fuego (Jackson 1968).

Las condiciones a lo largo de los trópicos actualmente difieren de manera considerable de los patrones del pasado. Aunque muchas poblaciones indígenas hubiesen vivido dentro de estos bosques antes de que se iniciara el contacto europeo, la

mayoría de los asentamientos se concentraban a lo largo de las riberas (Pyne 1997) y no se llevaban a cabo operaciones de tala mecánica. Hoy en día los patrones de asentamientos se han abierto a poblaciones extensas en las altiplanicies de los bosques de tierra firme. Las operaciones a gran escala de ganadería y extracción maderera han cambiado más aún la forma en que la gente interactúa con el suelo. El resultado es un bosque que ha sido modificado por el fuego y que probablemente se vuelva a quemar.

La información que arrojan los estudios hechos al carbón muestran un intervalo de recurrencia al fuego de por lo menos 500 a 1 000 años (Cochrane 2000b). Las rotaciones del fuego que hay en los bosques tropicales de algunas partes del Amazonas oriental sugieren que más de la mitad de los bosques remanentes experimentarían un incendio cada cinco o diez años (Cochrane *et al.* 1999). La frecuencia de los incendios que se presenta actualmente en muchos bosques, es suficiente para evitar que haya una regeneración importante en el follaje con el que actualmente cuentan los árboles (Figura 3). Esto indica que los bosques tropicales siempreverdes podrían ser reemplazados por vegetación degradada, resistente al fuego, en gran parte del Amazonas que tiene temporadas de sequía (Cochrane *et al.* 1999; Cochrane 2001).

Los datos del Amazonas oriental muestran que a pesar de que la mayoría de las quemadas ocurren a varios cientos de metros de distancia de los linderos, los incendios relacionados con estos límites pueden penetrar por lo menos 2,5km. Además, las



graves. La deforestación puede contribuir a la sequía de la región, al reducir los niveles generales de evapo-transpiración durante los meses más secos. El vapor del agua de la evapo-transpiración es la principal fuente de humedad en los bosques tropicales siempreverdes durante el período de sequía (Moreira *et al.* 1997). La deforestación extensiva podría reducir la lluvia en el Amazonas hasta en un 20 por ciento (Salti y Vose 1984) y provocar sequías más frecuentes y más prolongadas (Shukla *et al.* 1990). Investigaciones llevadas a cabo recientemente también han demostrado que el humo de los incendios tropicales evita la lluvia regional al crear un exceso de núcleos de condensación de nubes que producen gotas de agua tan pequeñas las cuales no pueden precipitarse (Rosenfeld 1999; Ackerman *et al.* 2000). Asimismo, se

ha demostrado que la contaminación urbana e industrial tiene efectos similares en los patrones de lluvia locales (Rosenfeld 2000).

El humo liberado por los incendios de los bosques tropicales puede tener otras implicaciones para los siniestros que se presentan a escala regional y continental. Específicamente, además de reducir la precipitación, el humo provocado por los incendios del sur de México en 1998 incrementó la cantidad de relámpagos positivos nube-tierra hasta Nueva Inglaterra, los Estados Unidos y Ontario, Canadá (Lyons *et al.* 1998). Por lo general, este tipo de descargas positivas de los relámpagos nube-tierra es poco común, pero puede continuar durante meses cuando se presentan grandes nubes de humo. Más aún, la intensidad máxima de la corriente total de esas descargas

El efecto de los incendios frecuentes en los bosques tropicales

Si la incidencia del fuego se conserva en los niveles que hay actualmente o si incrementa su frecuencia, ésta hará que muchos bosques sean reemplazados con vegetación más tolerante al fuego en las próximas décadas. La regeneración de los árboles que se da después del fuego puede ser importante, y consiste en la vegetación que retoña de los árboles dañados (Kauffman 1991) y en la germinación de semillas principalmente pioneras (Uhl y Buschbacher 1985; Cochrane y Schulze 1998). Sin embargo, los frecuentes incendios evitan que estos árboles lleguen a edades reproductivas (Cochrane y Schulze 1999). El impacto del fuego será peor donde haya temporadas prolongadas de sequía. La extracción maderera selectiva puede interactuar con el fuego para ocasionar problemas de incendios similares, aún en bosques con menos temporadas de mayor humedad (Uhl *et al.* 1988). El cambio de un régimen de pocos incendios o ninguno, a uno de fuego más frecuente es consistente con el que se encontró en matorrales y sabana (Hammond y ter Steege 1998). Es probable que en los trópicos con más cambios estacionales, la destrucción de la cobertura de los bosques sea irreversible bajo las condiciones climáticas actuales (Mueller-Dombois 1981; Shukla 1990).



se duplica en las nubes contaminadas por el humo (Lyons *et al.* 1998), y es más probable que ocasionen incendios que otro tipo de relámpagos; asimismo, al aumentar su frecuencia e intensidad puede incrementar la cantidad de fuegos naturales en amplias regiones.

También es probable que el calentamiento mundial cambie las condiciones actuales de incendios en los trópicos. Los modelos basados en una duplicación de los niveles actuales de CO₂ muestran una tendencia general hacia el calentamiento, lo que trae consigo mayores cantidades de lluvia. Sin embargo, se espera que la evapo-transpiración de la vegetación causada a las temperaturas más cálidas exceda los beneficios de la precipitación (Price y Rind 1994), y que aumente la variación climática durante el año, así como la intensidad de las tormentas. Las interacciones entre el cambio de clima y el uso de la tierra, pueden dar como resultado modificaciones en el régimen de perturbación de regiones tropicales densamente pobladas (Goldammer y Price 1998), las cuales pueden acabar con los bosques y reemplazarlos con sabana de plantas herbáceas (Cochrane y Schulze 1999; Cochrane *et al.* 1999; Cochrane 2000b).

Además, bajo las condiciones de calentamiento global inducidas por la duplicación de los niveles de CO₂ en el ambiente, se espera que aumenten considerablemente las descargas de relámpagos. Los modelos muestran un 44 por ciento más en los Estados Unidos, con un incremento simultáneo del 78 por ciento en el área total quemada por fuegos inducidos por relámpagos. Sobre todo, se espera que las descargas de los relámpagos aumenten

sustancialmente en las regiones tropicales, aunadas a un cambio en el equilibrio total del agua de positivo a negativo (por ejemplo, precipitaciones, evapo-transpiración y escurrimiento). La conjunción de las condiciones de mayor sequía con más igniciones provocadas por relámpagos podrían aumentar los incendios en estos bosques cargados de combustible (Price y Rind 1994). Estos pronósticos concuerdan con los registros a largo plazo de las selvas tropicales templadas de *Nothofagus* en Sudamérica, que vinculan el incremento en la cantidad de incendios provocados por relámpagos y el área boscosa total afectada por los años de mayor sequía (Kitzberger *et al.* 1997). Esta situación podría empeorar si los eventos de *El Niño* se hacen más frecuentes e intensos junto con el calentamiento global (Federov y Philander 2000). Los períodos prolongados de sequía ocasionados por *El Niño*, pueden hacer que enormes extensiones de bosque tropical sempervirente virgen se vuelvan susceptibles a los incendios en el Amazonas (Nepstad *et al.* 1998; Nepstad *et al.* 1999). La acumulación de extensas áreas de bosques destruidos por las incursiones de fuego anteriores (Cochrane y Schulze 1999), también incrementa la posibilidad de que los relámpagos enciendan grandes cantidades de combustibles en bosques que mueren rápidamente y que están cargados de ellos. Bajo esas condiciones, el fuego puede persistir, a pesar de la lluvia, quemando mucho del combustible seco, y propagarse a los bosques aledaños cuando se sequen los que los rodean (Cochrane 2000a).

Las tendencias en los cambios climáticos a nivel regional y mundial pueden alterar



significativamente los regímenes de perturbación en los bosques fragmentados y transformados por el hombre (Laurance y Williamson, en imprenta). Dichos cambios sólo exacerbarán la retroalimentación positiva establecida en la dinámica de los incendios en los trópicos (Cochrane *et al.* 1999), especialmente a unos kilómetros dentro de los lindes deforestados (Cochrane 2001).

Rehabilitación de los bosques impactados por el fuego

¿Qué puede o debe hacerse con los bosques tropicales siempreverdes impactados por el fuego? ¿Deberán reforestarse, abandonarse, protegerse o cambiarse a

otros usos de la tierra? No hay una respuesta sencilla; las acciones que se tomen después de los incendios en cualquier bosque dependerán del área total afectada, del nivel de daño causado, y de la protección e importancia que se les dé.

La cantidad de bosque impactada por el fuego variará año con año. El tamaño e intensidad de los incendios será el resultado del clima y de las actividades de combate al fuego. Si los bosques que se queman no han sufrido perturbaciones anteriores, quizá los daños causados por el fuego sean ligeros y afecten principalmente los árboles pequeños que se encuentren debajo del dosel (Woods 1989; Cochrane y Schulze





1999; Peres 1999; Barbosa y Fearnside 2000; Nascimento *et al.* 2000). Las áreas taladas o quemadas anteriormente pueden incendiarse de manera muy intensa, destruyendo incluso los árboles más grandes y causando un daño muy grave al follaje del bosque (Kauffman 1991; Holdsworth y Uhl 1997; Cochrane y Schulze 1999).

Algo en común que tienen los bosques quemados es una mayor susceptibilidad a otras incursiones de fuego; por lo tanto, si se pretende detener el proceso de degradación causado por el fuego, será necesario en el futuro proteger estos bosques contra incendios de manera muy estricta. En el caso de los que ya hayan sido talados, se recomienda mantener a su alrededor una brecha contrafuego de cinco metros de ancho durante los diez años posteriores a la extracción maderera (Uhl *et al.* 1997), y los bosques quemados también deberán tener una protección similar. En caso de que los bosques talados se incendien o de que cualquier otro bosque se queme en repetidas ocasiones, serán necesarias varias décadas de protección para dejar que éstos se recuperen sustancialmente (Cochrane y Schulze 1999). La construcción y conservación de las brechas contrafuego deberá ser — junto con la protección que se dé después de la perturbación del fuego — parte integral en la prevención de incendios. Sin embargo, es poco probable que una simple legislación que demande la construcción de estas brechas sea efectiva, ya que el costo que tienen que pagar los propietarios de la tierra representa un porcentaje muy alto de sus ingresos anuales al no tener una ganancia evidente o inmediata. Quizá los propietarios podrían ser incentivados económicamente

con los beneficios externos que proporcionan sus bosques. Costa Rica ya ha vinculado el mantenimiento de servicios ambientales derivados de la cobertura del bosque, tales como la separación del carbón y los servicios hidrológicos, a su mercado nacional (Chomitz *et al.* 1999) y este tipo de programas podría aplicarse en toda América Latina.

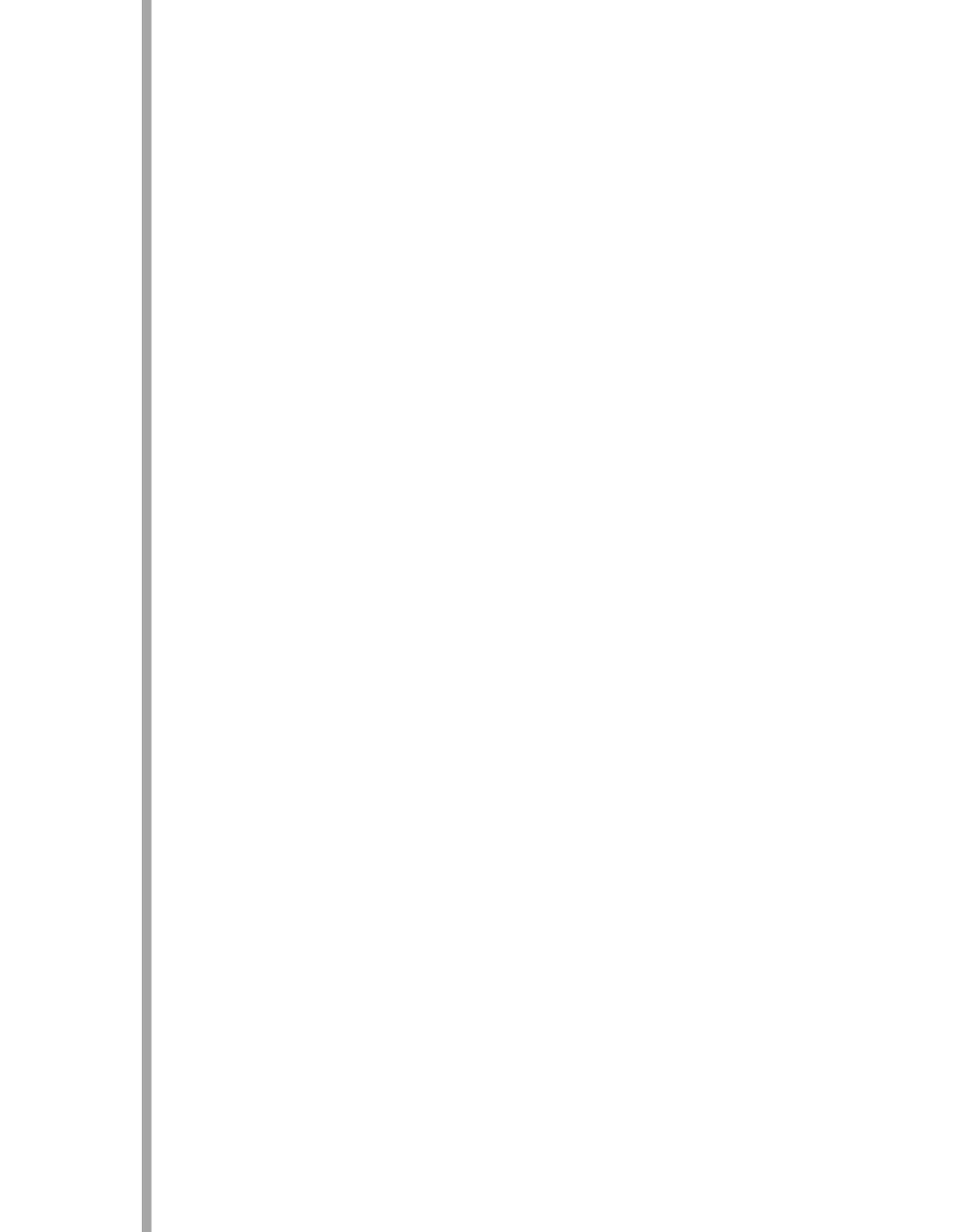
En el caso de muchos bosques impactados por el fuego, la regeneración natural de la vegetación que retoñe (Kauffman 1991) y los bancos de semillas que sobrevivan en el suelo, deberán ser suficientes para restaurar rápidamente el sotobosque. Los árboles de follaje maduro para su reproducción también continuarán proporcionando una fuente de semillas al bosque. Los bosques impactados por el fuego tendrán densidades de vegetación precursora sustancialmente más altas en las siguientes décadas (Cochrane y Schulze 1998), pero pueden recuperar su integridad estructural total en cinco o diez años.

A fin de acelerar el proceso de recuperación, es probable que sea necesario reforestar de manera más activa los bosques gravemente degradados. Sin embargo, una limitación importante para restaurar los bosques tropicales siempreverdes es la falta de conocimiento sobre cómo reconstruir estos ecosistemas tan complejos. Por lo general, estos bosques tropicales tienen docenas o incluso cientos de especies de árboles por hectárea. Para la mayoría de ellos no hay técnicas de propagación ni fuentes de semillas, e incluso se considera que en algunos bosques, como los Chimalapas de México, los esfuerzos de reforestación humana han causado más daños



potenciales que beneficios (Ferriss 1999). No obstante, en muchos casos la plantación enriquecida con especies de maderas finas puede proporcionar un incentivo adicional a los propietarios a fin de que continúen protegiendo contra el fuego. También deberían fomentarse los esfuerzos de reforestación en las pendientes pronunciadas y en otras zonas que representen un riesgo importante de erosión del suelo.

Si no se hace nada para proteger o restaurar los bosques dañados por el fuego, el resultado será una rápida degradación del bosque y una falta de capacidad enorme para controlar los incendios en el terreno. Entre más bosques degradados se acumulen, más comunes y extensos serán los incendios forestales. El aumento de la propagación del fuego impactará a los residentes de las regiones afectadas al dañar sus cultivos y propiedades. Si incrementa el riesgo de incendios, las inversiones en cultivos perennes o en plantaciones de árboles serán poco atractivas y se promoverán actividades más tolerantes al fuego, tales como la ganadería. Además de los efectos directos en la población, los incendios causarán daño indirecto por enfermedades severas ocasionadas por el humo. En las regiones donde los incendios no pueden controlarse, habrá grandes cantidades de deforestación inducidas por el fuego y los bosques tropicales siempreverdes serán reemplazados por más maleza y vegetación de sabana (Cochrane *et al.* 1999).



Impactos de los incendios en los bosques tropicales



Los incendios en los bosques han incrementado considerablemente en los últimos años en todo el mundo y ningún país ha sido capaz de enfrentarlos sin ayuda. Los que se han visto afectados son Indonesia, Papua Nueva Guinea, Australia, Mongolia, la Federación Rusa, Colombia, Perú, Kenia, Ruanda, Brasil, México, Nicaragua, Honduras, Estados Unidos y Canadá.

Aun en los Estados Unidos, la nación más rica del mundo, no pudieron enfrentarse solos a la temporada de incendios del año 2000. A pesar de haber movilizado todos los recursos con los que contaba para combatirlos, así como brigadas militares adicionales e incluso personal con experiencia ya retirado, se vieron en la necesidad de solicitar ayuda a diversos países: México, Canadá, Australia y Nueva Zelanda. El Centro Interagencial para el Control de Incendios de los Estados Unidos (NIFC por sus siglas en inglés) ha firmado acuerdos a largo plazo con varios países para trabajar conjuntamente en épocas de crisis, y en 1999 facilitó 800 bomberos a Canadá, así como apoyo técnico, financiero y de equipamiento a México durante 1998 (NIFC 2000).

Por lo tanto, no es de sorprenderse que los países menos desarrollados no respondan de manera eficaz a los incendios forestales de gran magnitud. En Indonesia, los intentos por reducir la carga de fuego en la región resultaron muy poco efectivos a pesar de los esfuerzos realizados por el gobierno, y del apoyo de voluntarios malasio y aeronaves de Australia y Estados Unidos para combatir los incendios.

Las razones que se manifestaron para explicar este fracaso incluyen (Barber y Schweithelm 2000):

- coordinación deficiente entre las fuerzas aéreas y las terrestres.
- falta de equipo.
- escasos fondos.
- falta de agua.
- insuficiente entrenamiento.
- ubicación remota de muchos de los incendios.
- necesidad de mapas exactos sobre la cubierta forestal.
- falta de infraestructura.
- renuencia de la población local a combatir los incendios en las tierras de otras personas.

Los problemas en América Latina fueron muy similares a los que se enfrentaron en el sudeste asiático.

Obviamente, es necesario que exista cooperación interagencial e internacional en los esfuerzos que se llevan a cabo para combatir los incendios. Sin embargo, las situaciones de crisis no son ni el momento ni el lugar para trabajar conjuntamente; la colaboración debe surgir de fuerzas permanentes, coordinadas e integradas para responder a los siniestros a nivel regional. Una coordinación y cooperación similar debería fomentarse en toda América Latina.

La situación de los incendios en América Latina y el Caribe

Sudamérica

En Sudamérica el problema de incendios ha sido igualmente grave. Brasil continúa teniendo cada año grandes cantidades de



sinistros en sus bosques tropicales (Cochrane y Schulze 1998). Tan sólo en 1998 (ver estudio de caso) los siniestros de gran magnitud que ocurrieron en Roraima, estado ubicado al norte de la amazonia, quemaron más de un millón de hectáreas de bosque virgen (Barbosa y Fearnside 1999). Principalmente, hay incendios en los estados de Matto Grosso y Pará, pero cada vez son más comunes a lo largo del Amazonas; se ha informado que grandes extensiones (100 000 hectáreas) de bosques inundados (igago) también se quemaron durante 1997 en la amazonia central (Nelson, en imprenta). Los fragmentos remanentes de las selvas del Atlántico de Brasil (Mata Atlántica) se han visto igualmente afectados por el fuego y se enfrentan a un gran riesgo de destrucción.

Entre el 6 y el 12 de octubre de 1999, 351 incendios devastaron más de 3 000 000 de hectáreas en Bolivia, y destruyeron más de 600 viviendas, lo cual afectó a por lo menos 7 000 personas (PNUMA 2000). El humo ocasionó un incremento en el número de casos de conjuntivitis y problemas respiratorios. Los siniestros destruyeron 100 000 hectáreas de campos de trigo y de semilla de soya, y dañaron grandes extensiones de bosque. Hubo que enviar alimentos básicos para mitigar el hambre (Muse 1999) en las regiones más afectadas. Los incendios forestales han invadido tanto los bosques tropicales xerofíticos como los húmedos; en estos últimos mueren más árboles que en los xerofíticos (Mostacedo *et al.* 1999) ya que en esos bosques la corteza de los árboles es más gruesa, lo que los hace (Pinard y Huffman 1997) más resistentes (Uhl y Kauffman 1990). En particular, los bosques talados se queman en

cantidades alarmantes, lo cual trae como consecuencia incendios recurrentes y, posteriormente, un exceso de plantas herbáceas (Pinard *et al.* 1999).

Otros incendios recientes en Sudamérica incluyen la compleja extensión de los siniestros de 1998, los cuales quemaron bosques en diversas partes de Brasil, Colombia, Venezuela, Guyana y Surinam. Los bosques tropicales húmedos de Venezuela, Colombia y Guyana se vieron particularmente afectados, al igual que los bosques pantanosos y los manglares de las costas de Surinam. En este país, las regiones más afectadas fueron Wageningen y las riberas del río Courantyne. En Guyana, las comunidades que más sufrieron los estragos del fuego fueron Marborough, Georgetown y New Amsterdam (Grégoire, J.M. *et al.* 1998), y otros fuegos impactaron las regiones rurales de la parte sur y oeste del país, incluyendo 2 000 hectáreas de bosque en el áreas de Mabura-Rockstone. Al gobierno le preocupaban de manera especial los incendios que ocurrían en los distritos alejados de las brigadas de combate (Wilkinson 1998), y éstos arrasaron la regiones aledañas a los bosques de sabana de Brasil y Venezuela. A pesar de la resistencia al fuego de estos bosques, la cual ha sido documentada (Biddulph y Kellman 1998), se quemaron más de un millón de hectáreas, y los incendios penetraron muchos kilómetros en su interior (Barbosa y Fearnside 1999). En estas regiones los bosques han sobrevivido a lo largo de miles de años a la variación climática, pero los árboles no se pueden restablecer sin una protección adecuada contra el fuego (Aide y Cavelier 1994; Cavelier *et al.* 1998) y una vez que estos bosques se



destruyen es poco probable que se vuelvan a formar, incluso si el clima es más húmedo (Rull 1992).

Otros incendios en los trópicos de América Latina ocurrieron en áreas tan diversas como las ruinas Inca en Machu Pichu (COP 1997), el Parque Nacional Manú en Perú (Prensa Asociada 999), y en las islas Galápagos de Ecuador (Haltenhoff 1999). Recientemente ha habido incendios en los bosques templados de Chile (Haltenhoff 1999) y Argentina (Tesolin 1993; Sipowicz 1994). A pesar de ser templadas, las selvas de *Nothofagus* de Chile y Argentina se quemaron sólo durante las sequías extensas, al igual que los bosques tropicales siempreverdes (Kitzberger *et al.* 1997) y, por lo tanto, pueden estar bajo una presión similar al fuego.

Centroamérica y México

Nicaragua tiene un problema de incendios muy serio debido a la falta de recursos humanos, materiales y financieros, y actualmente está reestructurando su programa de combate a los siniestros (Mutch *et al.* 1999). Entre diciembre de 1997 y abril de 1998, ocurrieron en Nicaragua más de 13,000 incendios, esta cantidad es mayor que en cualquier otro país de Centroamérica, y tan solo en el mes de abril de 1998, hubo 11 000 (FAO 1999). La situación de los incendios en este año empeoró debido a la sequía causada por *El Niño*. En 1998 ocurrieron el doble de incendios que en los dos años anteriores, causados por la sequía, y estos se concentraron en los bosques tropicales siempreverdes de la extensa planicie del Atlántico (Jacques de Dixmude *et al.* 1999).





A lo largo de Centroamérica, más de 2.5 millones de hectáreas se vieron afectadas por los incendios de 1998, que causaron mayores daños en Nicaragua, Guatemala y Honduras (900 000, 650 000 y 575 000 hectáreas respectivamente). En Panamá, el fuego destruyó más de 200 000 hectáreas, mientras que cerca de 100 000 se quemaron en Costa Rica, y menos de 50 000 en Belice y El Salvador.

Costa Rica y Honduras cuentan con brigadas bien organizadas para combatir el fuego; Guatemala estaba preparada moderadamente en 1998 (Mutch *et al.* 1999), pero la región de el Petén continúa sufriendo de una tala ilegal y de fuegos que penetran al bosque (González 2000).

Los mapas del Departamento Forestal de Belice que contienen las áreas de sabana quemadas de 1959 a 1982, muestran el efecto del combate al fuego. En las regiones que tenían control de incendios, los intervalos de retorno de los siniestros aumentaron a cerca de 100 años, mientras que en las regiones donde no lo tenían, fueron de 18 años. A pesar de que desde entonces estos incendios han disminuido sus intervalos a aproximadamente 50 años, los bosques tropicales en galería en los márgenes de la sabana se han quemado en intervalos promedio de tan solo 38 años (Kellman y Meave 1997).

México tuvo problemas graves por incendios en 1998, a pesar de contar con brigadas bien organizadas para combatir el fuego. La cantidad de siniestros en ese año fue del doble que el promedio a largo plazo, y el área quemada fue casi cinco veces mayor en relación con ese promedio.

En total se perdieron alrededor de 850,000 hectáreas en ese año (ver estudio de caso). Es de particular importancia que los incendios más severos ocurrieron en los bosques tropicales siempreverdes de Chiapas, Oaxaca y Veracruz, ya que los bosques que se quemaron son particularmente susceptibles a fuegos recurrentes. Para el 15 de julio de 1999, tanto Oaxaca como Chiapas estaban entre los diez estados con mayor cantidad de incendios; asimismo, ocuparon el tercer y sexto lugar, respectivamente, en términos del total del área forestal afectada por el fuego (SEMARNAP 2000). Es probable que estas áreas requerirán de una gran atención e importantes recursos en los próximos años.

El Caribe

Hay poca información publicada disponible que esté relacionada con la situación de los incendios. En Cuba, el 88 por ciento de los siniestros son causados por actividades humanas. Entre 1984 y 1998 hubo un promedio de 325 incendios anuales, que quemaron alrededor de 4 878 hectáreas. El tamaño promedio de estos incendios osciló entre 10 y 30 hectáreas. La temporada de 1999 parece haber tenido el peor récord. Inter Press (21 de mayo de 1999) informó que en mayo de 1999, 258 incendios afectaron 10 000 hectáreas de bosque. Un solo incendio que ocurrió en la reserva forestal más grande de Cuba, Pinar del Río, quemó más de 4 000 hectáreas (Acosta 1999). No obstante, se considera que Cuba no enfrenta un serio problema en este tipo de incendios (Rodríguez 2000).

En Trinidad y Tabago, una severa sequía causó la destrucción de 20,000 hectáreas de bosques en 1987, y esto sirvió



como estímulo para la elaboración del Plan de Protección contra Incendios Forestales para Trinidad al año siguiente. Desde entonces, la cantidad de incendios y el total del área quemada se ha reducido sustancialmente cada año. A pesar de que hubo un 50 por ciento más de siniestros durante la sequía provocada por *El Niño* en 1998 - en comparación con 1987 - sólo 10 289 hectáreas se quemaron (Mutch *et al.* 1999). En la República Dominicana, el fenómeno de *El Niño* de 1997 causó 225 incendios que impactaron 207 000 hectáreas de prados y bosques; no obstante, el promedio que hubo en los cinco años anteriores había sido de 68, quemando menos de 50 000 hectáreas por año (PNUMA 2000).

Impacto de los incendios en los bosques

Impacto económico

El total de los costos financieros provocados por los incendios fuera de control en los trópicos aún no ha sido cuantificado, y las estimaciones por lo general son conservadoras. En parte, esto se debe a la falta de datos o de análisis, pero también es difícil evaluar la causa y efecto, y dar a conocer todos los detalles es políticamente delicado. Los daños económicos de los incendios fuera de control abarcan todo, desde gastos médicos y cierre de aeropuertos, hasta pérdidas de madera y de suelo. Los impactos económicos a menudo son indirectos, y por lo tanto, las evaluaciones pueden ser conservadoras. En muchos casos, los incendios que afectan directamente un área pueden afectar de manera indirecta la salud y la economía de otras regiones o países. Es poco

probable que estos costos externos, incluyendo la pérdida de días laborales, bajas en la producción y pérdida de divisas por la reducción del turismo, aparezcan en la contabilidad de la región o nación responsable. Más aún, el vínculo entre un incendio y sus efectos puede ser a la vez confuso y posterior; la deforestación causada por un siniestro en una ladera puede colapsarla por un alud de lodo y destruir una comunidad muchos años después, o la producción de granos de una temporada puede verse afectada porque el fuego destruyó los agentes polinizantes el año anterior.

El impacto económico de los incendios puede resultar regionalmente grave y localmente catastrófico, incluso si no son significativos a escala nacional o global. Por ejemplo, se informó que los siniestros en Roraima, Brasil, de 1998 causaron daños en las cosechas que ascendieron a \$36 millones de dólares (CNN, 14 de marzo de 1998). Es probable que esto no suene tan mal hasta percatarse que se incluye el 80 por ciento de las cosechas de frijol, arroz y maíz básico del estado (Servicio de Noticias Kyodo, 14 de marzo de 1998). En México, el retraso en la producción industrial al tratar de reducir los índices de contaminación en la Ciudad de México, causado por el humo debido a los incendios forestales, se estima que haya causado pérdidas económicas de \$8 millones de dólares diarios (Gol-dammer 1999). De hecho, en toda América Latina se desconocen en gran medida los costos reales causados por los incendios tropicales. En cuanto a la liberación de carbono calculado en 42,06 TgC en el caso de Roraima (Barbosa y Fearnside 2000), su valor económico como un gas de invernadero (\$20 dólares/tonelada; Fearnside 2000)



asciende a un total de \$840 millones de dólares.

Los daños económicos causados por los incendios forestales en Indonesia han sido los mejor cuantificados. Los costos reales para combatirlos durante los años de 1997 y 1998 no fueron muy altos. El gobierno de este país gastó cerca de \$12 millones de dólares en esta labor, y recibió otros \$13 millones de ayuda exterior. El vecino país de Malasia, preocupado por el impacto que pudieran tener en su territorio esos incendios, proporcionó más del 74 por ciento de la ayuda (Ruitenbeek 1999). En comparación con los \$25 millones de dólares que se utilizaron para combatir el fuego durante 1997 y 1998, los Estados Unidos gastan anualmente alrededor de \$600 millones (Elvidge *et al.* 1999) y se espera que los gastos relacionados con esta actividad excedan los mil millones de dólares en el año 2000 (Prensa Asociada, 31 de agosto de 2000).

Los costos económicos provocados por los siniestros van mucho más allá de los gastos causados por el combate al fuego. Se calcula que se perdieron 2 445 352 días laborales en Indonesia debido sólo a enfermedades relacionadas con la neblina (Barber y Schweithelm 2000). Asimismo, se estima que los incendios de 1997 ocasionaron daños por más de \$4 mil millones de dólares (Ruitenbeek 1999). El resultado de una evaluación llevada a cabo recientemente sobre el monto total de los daños ocasionados por los incendios de 1997 y 1998 es que los problemas causados por el fuego y la neblina oscilan entre \$8,8 y \$9,7 mil millones de dólares, casi el 5 por ciento del producto interno

bruto (PIB) de Indonesia. Las pérdidas agrícolas representan el 30 por ciento de esta cantidad, pero el 67 por ciento de estas pérdidas se debe directamente a la





destrucción de la madera o de los servicios ambientales. El costo para combatir los incendios (\$12 millones de dólares) asciende a casi a un 0.1 por ciento de las pérdidas totales (Barber y Schwethelm 2000).

Aunque no se ha hecho un cálculo exacto de las pérdidas en América Latina, es muy probable que el total de éstas iguale o exceda a las de Indonesia, donde alrededor de ocho millones de hectáreas fueron afectadas por los incendios de 1997 y 1998. Un resumen de los datos disponibles sobre América Latina en 1998, muestra que se quemaron por lo menos 9.2 millones de hectáreas. Debido a que la información no es completa, es muy probable que el total de los siniestros no intencionales en esta región, excedan en gran medida los 10 millones de hectáreas, sin contar las quemaduras para el mantenimiento de los pastizales, que probablemente excedan los 20 millones de hectáreas sólo en la amazonia de Brasil. Tampoco hay datos para hacer un cálculo definitivo del total de los daños causados en América Latina durante los incendios de 1998; sin embargo, si se toman como referencia los de Indonesia para hacer un cálculo aproximado, se puede decir que los daños en América Latina oscilan entre los \$10 y los \$15 mil millones de dólares.

Temas de salud

El impacto que tienen los incendios forestales en la salud humana puede ser directo e indirecto. Hay muertes directas: por ejemplo, 70 bomberos murieron en México durante las operaciones para combatir los incendios de 1998 (Mutch *et al.* 1999), 14 bomberos murieron en los Estados Unidos

durante la temporada de siniestros del año 2000 (Jehl 2000), 33 en el campo en Chile entre 1970 y 1998 (PNUMA 2000), y hay más de 4 000 muertes asociadas a los siniestros en China entre 1950 y 1990 (Goddammer 1999).

La mayoría de los impactos sanitarios causados por incendios forestales se presentan de manera indirecta por las diferentes sustancias y partículas que libera el humo.

Los efectos en la salud por la inhalación del humo depende de sus componentes, de su concentración y del tiempo en que la víctima esté expuesta al mismo. El tipo y la eficacia del fuego determinan la compleja mezcla de partículas, líquidos y componentes gaseosos emitidos por la combustión de la biomasa. La mezcla tóxica de la materia incluye partículas de diferentes tamaños, bióxido y monóxido de carbono, hidrocarburos aromáticos polinucleares (HAP), aldehídos, ácidos orgánicos, componentes orgánicos volátiles y semivolátiles, y ozono (Ward 1999). El efecto que causa cada uno de estos componentes del humo en la salud humana aún es desconocido, pero se ha incrementado considerablemente el potencial de efectos adversos. Durante 1997 y 1998, en el sudeste asiático, decenas de millones de personas estuvieron expuestas a altos niveles de gases y partículas producidas por los incendios (PNUMA 1999). Otros tantos millones de personas estuvieron excesivamente expuestas al humo de los incendios tropicales en Centroamérica y México, algunas partes de los Estados Unidos y la región del Amazonas de Sudamérica.



Se ha vinculado la inhalación de materias de las partículas menores de diez micras al incremento en el riesgo de mortalidad tanto por enfermedades respiratorias como por problemas cardiovasculares, especialmente entre los niños y los ancianos. Tan sólo en Indonesia, se reportaron 527 muertes en ocho provincias afectadas por la neblina durante los incendios de 1997 y 1998, pero es poco probable obtener un cálculo exacto de las muertes debido a que no se guardaron registros y porque frecuentemente se dan diagnósticos equivocados o se pone otra causa de la muerte. Los datos sobre las densidades específicas que afectaron cerca de 12 millones de personas en esta región sugieren que la neblina causada por los incendios de este período puede ser responsable de la muerte de casi 31 000 personas (Kunii 1999). Se sabe poco y a menudo se desestima la dimensión de la mortandad asociada a la neblina en los trópicos; se informó que el humo de los incendios de 1998 en la amazonia brasileña causó 700 muertes debido a problemas respiratorios asociados (Linden 2000). Además de los problemas de salud, los de visibilidad causados por el humo liberado durante los siniestros de los bosques tropicales en Indonesia han sido la causa de 27 muertes al estrellarse dos barcos, y otras 222 muertes por un accidente aéreo de Sumatra (Barber y Schweithelm 2000; PNUMA 1999). No hay información sobre los muertos o heridos por accidentes automovilísticos causados por choques provocados por el humo cada año en los trópicos.

Los impactos en la salud ocasionados por los incendios van más allá de las estadísticas de mortandad. Un estudio sobre la población general que habita en regiones

afectadas por el humo en Indonesia mostró que virtualmente el 100 por ciento tenía algún síntoma negativo debido al humo, y que el 90 por ciento presentaba dificultades respiratorias. En algunas de las regiones afectadas con mayor severidad, la incidencia de neumonía era 33 veces mayor a los niveles normales; incluso en regiones con menor impacto de humo, los casos de asma y neumonía aumentaron en un 50 por ciento. Además, los casos de bronquitis, laringitis aguda y bronquiectasia subieron un 60, 800 y 390 por ciento, respectivamente. Una tercera parte de la población general tenía conjuntivitis, mientras que el 67 por ciento sufría de trastornos pulmonares constrictivos y el 27 por ciento de trastornos pulmonares obstructivos (Kunii 1999). Las estadísticas gubernamentales indican que casi 1.5 millones de casos de infecciones respiratorias agudas se reportaron entre los 12 millones de residentes de ocho provincias indonesias entre septiembre y noviembre de 1997 (Barber y Schwethelm 2000).

Las normas son necesarias para correlacionar los niveles de contaminación que puedan causar problemas de salud, a fin de evaluar el efecto potencial de la contaminación ambiental en la salud humana y tomar las acciones adecuadas. En el cuadro 5 se hace una comparación de varios índices de contaminación atmosférica, con un diagnóstico de la salud humana con respecto a la calidad relativa del aire. La contaminación atmosférica se mide de diferentes formas en diferentes países, un hecho que dificulta la comparación de los efectos de la contaminación. El Índice de Contaminación Atmosférica (ICA) utilizado en Malasia calcula el nivel de contaminación del momento basándose en la



Cuadro 5. El establecimiento de índices de contaminación atmosférica, Indonesia (IN) y Singapur (IEC) para niveles de contaminantes producidos por el humo.

MALAYSIA Índice de Contaminación Atmosf. (ICA)	INDONESIA Índice de Nubosidad (IN)	SINGAPORE Índice de Estándares Cont. (IEC)	Diagnósticos
0-50	1	0-50	Bueno
51-100	2	51-100	Moderado
101-200	3	101-154	Nocivo
201-300	4	155-221	Muy Nocivo
301-500	5	222-477	Peligroso
>500	6	>477	Muy Peligroso

Fuente: Tomado de Shahwahid y Toman 1999; y Ruitenbeek 1999.

cantidad de partículas finas (<10 micras), monóxido de carbono, dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno y ozono que haya en la atmósfera (Shahwahid y Toman 1999). Un índice similar, el Índice Estándar de Contaminación (IEC), se utiliza en Singapur (Hon 1999); Indonesia no reporta un valor de la contaminación atmosférica total, pero tiene un Índice de Niebla (IN) (Ruitenbeek 1999) que puede correlacionarse con otros índices de contaminación. En el ICA, los valores arriba de 300 se consideran peligrosos. Las lecturas del ICA en el estado de Sarawak, Malasia, rebasaban considerablemente los 300 puntos durante los meses de septiembre y octubre de 1997, e incluso alcanzaron niveles de 849 puntos. En Kalimantan Oriental, Indonesia, las lecturas del ICA registraron 1 000 puntos (Barber y Schweithelm 2000) en octubre de 1997. Las implicaciones que acarrea la exposición a altos niveles de contaminantes suspendidos en el aire aún están por determinarse.

Al parecer no existen índices similares para medir la contaminación atmosférica

que sean de uso extendido en la región tropical de América Latina; sin embargo, los niveles de peligrosidad de los contaminantes causados por el humo de los incendios forestales tropicales podrían medirse desde la Ciudad de México e, incluso, Texas en los Estados Unidos (Instituto Latinoamericano 1998). El incremento del 40 por ciento de enfermedades respiratorias relacionadas con el humo en Manaus (CNN, 9 de octubre de 1997) y las 10,000 visitas que se hicieron a hospitales relacionadas con esto mismo en toda la región del Amazonas (Linden 2000), muestran que es necesario establecer dichos índices.

Impactos ambientales

Los impactos ambientales causados por los incendios de los bosques tropicales varían de local a mundial. A nivel local, los bosques dañados por el fuego retendrán menos agua, exacerbando así las inundaciones, y provocarán escasez de agua estacional. La cubierta forestal que se reduce después del fuego también puede llevar a incrementar la erosión, particularmente en las pendientes pronunciadas que se hayan



quemado. Una investigación realizada en Colombia demostró que se han perdido hasta 50cm de suelo en las áreas donde los bosques han desaparecido por el fuego (Cavelier *et al.* 1998).

Otros efectos incluyen cambios climáticos regionales e impactos en la fauna silvestre y en la biodiversidad; asimismo, se acaba con una enorme cantidad del follaje en los bosques tropicales siempreverdes quemados (Cochrane y Schulze 1999). Ya que el agua de la evapo-transpiración representa en gran medida los altos índices de humedad - si no es que toda - de estos bosques (Moreira *et al.* 1997), si muere un alto porcentaje del follaje, la cantidad de agua transpirada se reduce, y aumentan los índices de sequedad en estos bosques (Holdsworth y

Uhl 1997). Dentro de la Cuenca del Amazonas, la humedad de la evapo-transpiración puede ser reciclada hasta en un 50 por ciento de la lluvia (Salati y Vose 1984), así que la pérdida de la vegetación debida al fuego puede volver más seco el clima regional. Los aerosoles causados por el humo empeoran esto, ya que interfieren con la formación de las gotas lluvia y reducen las precipitaciones (Rosenfeld 1999; Ackerman *et al.* 2000). Los cambios estructurales del bosque y los efectos del microclima pueden combinarse para hacer que los bosques sean más susceptibles a incendios recurrentes (Cochrane y Schulze 1999) y que al final el bosque sea reemplazado por maleza y vegetación de sabana (Cochrane *et al.* 1999). La destrucción de estos bosques libera grandes cantidades de carbono a



la atmósfera, en forma de varios gases de invernadero, contribuyendo con ello al cambio climático global.

Los efectos en la fauna silvestre podrían ser desastrosos a nivel local. Los animales que se mueven lentamente tienen mayor riesgo de morir por las llamas y el humo. En Indonesia (Kinnaird y O'Brien 1998) y en los bosques de la amazonia (observación personal de Cochrane) se cree que la mortalidad de los reptiles ha sido muy alta. Incluso es probable que los mamíferos, aves y muchos otros animales que al moverse sean capaces de escapar al fuego, no sobrevivan. Algunos aspectos de las ecologías de las especies individuales (dieta, territorialidad y requisitos para sus refugios (Kinnaird y O'Brien 1998)) hace que muchas de ellas sean vulnerables a las alteraciones indirectas producidas por el fuego. Huir del incendio es sólo el primer paso para sobrevivir. Si los animales desplazados ya no pueden encontrar alimento, tener sus propios territorios o conseguir un refugio, morirán de hambre o por depredación.

Los árboles son afectados de igual forma. Los primeros incendios destruyen de manera selectiva los árboles más pequeños y de corteza más delgada (Woods 1989), pero los siniestros subsecuentes más graves pueden acabar con la mayoría, si no es que con todos los árboles (Cochrane *et al.* 1999). Las especies más raras son las que tienen mayor posibilidad de desaparecer de una región (Cochrane y Schulze 1999), ya que los árboles sobrevivientes que se encuentran dentro o cerca de los bosques tropicales quemados tienen menor capacidad de florecer y producir frutos (Kinnaird y O'Brien 1998). El daño

producido por el fuego y la tala pueden llevar a un fracaso reproductivo total de los bosques en varios kilómetros a la redonda debido a que gran cantidad de animales frugívoros se ven forzados a regresar a los bosques remanentes que no se hayan quemado (Curran *et al.* 1999). El resultado es una biodiversidad pobre y un cambio hacia especies pioneras menos fuertes.

Quizás el mayor impacto en América Latina serán los millones de hectáreas de bosques tropicales dañados que ahora son incapaces de mantener a los animales o plantas que vivían en ellos, y por lo tanto tendrán menor valor para la gente del lugar. Estos bosques serán más vulnerables a los incendios recurrentes (Cochrane y Schulze 1999) los cuales se volverán más severos ya que habrá mayor cantidad de combustibles (Cochrane *et al.* 1999). Es probable que se quemen una y otra vez, y que las autoridades a cargo del manejo del fuego tengan que observarlos muy de cerca. En el cuadro 6 aparecen los datos de cada país de toda América Latina y el Caribe.



TOPHAM / PNUMA



Cuadro 6*. Datos promedio de incendios y datos de comparación durante el evento de *El Niño* de 1997 y 1998 en América Latina y el Caribe.

País	Promedio				1997 - 1998 Fenómeno de <i>El niño</i>				
	# incendios	Área quemada (hect.)	Tamaño de Quema promedio (hect.)	Período	# incendios	Área quemada (hect.)	Tamaño de Quema promedio (hect.)	Región o cobertura de tierra	Fuente
CARIBE									
Cuba	325	4 878	15	1984-1998	259	4 144	16	Toda la tierra	Rodriguez 2000
República Dominicana	68	49 400	724	1992-1997	225	207 000	920	Toda la tierra	UNEP 2000
Trinidad y Tabago	314	4 264	13,6	1987	764	10 289	13,5	Toda la tierra	Mutch <i>et al.</i> 1999
CENTROAMÉRICA									
Belice						<50 000		Toda la tierra	Mutch <i>et al.</i> 1999
Costa Rica						100 000		Toda la tierra	Mutch <i>et al.</i> 1999
El Salvador						<50 000		Toda la tierra	Mutch <i>et al.</i> 1999
Guatemala						650 000		Toda la tierra	Mutch <i>et al.</i> 1999
Honduras	2 701	64 282	23.8	1978-1989		575 000		Toda la tierra	Salazar 1990; Mutch <i>et al.</i> 1999
México	7 198	181 109	25	1992-1997	14 391	848 911	59	Toda la tierra	SEMARNAP 2000
Nicaragua	5 970	373 299	62,5	1988-1997	>13 000	911 760		Toda la tierra	Mutch <i>et al.</i> 1999
Panamá						>200 000 41 298		Toda la tierra Toda la tierra	Mutch <i>et al.</i> 1999 UNEP 2000
SUDAMÉRICA									
Argentina		1 308 713 55 370 1 101 760		1985-1989 1985-1989 1981-1990				Toda la tierra Boscoso Toda la tierra	Tesolin 1993 Tesolin 1993 Musse 1999
Bolivia		15 000 >3 000 000		1987				Desconocido Parcial	Musse 1999
	>351	0	>8 547	1999				Bolivia	UNEP 2000
Brasil		27 960		1981-1990				Desconocido	Musse 1999
	>45 000			1997		>5 500 000		Parcial Amazona	Laurance and Fearnside 1999; Barbosa and Fearnside 2000; Cochrane <i>et al.</i> en imprenta
Chile	5 359 3 414 5 260	48 227 42 822 53 192 55 333	9 12,5 10	1988-1997 1963-1998 1989-1998 1981-1993	5 329 5 329	90 888 90 888	17,1 17,1	Toda la tierra Toda la tierra Toda la tierra Toda la tierra	Haltenhoff 1999 Haltenhoff 1999 Mutch <i>et al.</i> 1999 Musse 1999
Colombia					>7 000			Desconocido	Brown 1998
Ecuador		12 750		1985; 1994				Desconocido	Musse 1999
Paraguay		60 000		1988				Desconocido	Musse 1999
Uruguay		8 240		1981-1990				Desconocido	Musse 1999
Venezuela	1 546	45 100 511	29	1982-1991 1981-1991				Toda la tierra Desconocido	Mutch <i>et al.</i> 1999 Musse 1999

*Este cuadro sólo menciona a los países que cuentan con información.



México

Durante el evento de *El Niño* de 1998, una bóveda de alta presión dominó los patrones del clima sobre México y Centroamérica en los meses de marzo a mayo. Las precipitaciones regionales disminuyeron a menos del 25 por ciento de su nivel normal, y las altas temperaturas empeoraron los efectos de la sequía extrema. Para mediados de mayo, la embajada de los Estados Unidos en México calificó como desastre los incendios que resultaron de la sequía. Declaraciones similares le siguieron muy pronto en Guatemala, Honduras, El Salvador, Nicaragua y Costa Rica (Le Comte 1999).

Para mediados de mayo, las condiciones de sequía y el uso indiscriminado del fuego ya se habían combinado para quemar más de 200 000 hectáreas de prados y bosques. Los incendios se presentaron en la mayoría de los estados de la República Mexicana, pero fueron más severos en los del sureste, que por lo general son húmedos. Durante el mes de abril, los bosques tropicales del estado de Chiapas tuvieron una precipitación no mayor de 0,2cm en vez de los 3,3cm que normalmente tenían. Al remontar las temperaturas a 35°C, se informó que los niveles de humedad en los bosques tropicales habían descendido hasta en un diez por ciento. Los combustibles de los bosques que eran típicamente húmedos se convirtieron en yesca. Los fuegos de roza y quema que por lo general se contenían, al igual que otros fuegos para el mantenimiento de la tierra, pronto se convirtieron en incendios forestales, pues los bosques que tradicionalmente servían como barrera vegetal contra incendios, se volvieron avenidas secas y cargadas de combustible.

En algunos estados, se culpó a los productores de marihuana y opio de haber causado muchos de estos siniestros. Informes del estado de Michoacán mencionan que los incendios fueron causados deliberadamente por los traficantes de drogas como una táctica para distraer la atención de las autoridades (Instituto Latinoamericano 1998).

En la medida en que continuaron, la situación se volvió una cuestión política. La Secretaría de medio ambiente de México fue muy criticada en el Congreso por haber minimizado la gravedad de los siniestros al decir que aunque SEMARNAP estaba preocupada por la severidad de la temporada de incendios, las condiciones estaban "dentro de los parámetros históricos". Los partidos políticos de oposición aprovecharon la oportunidad de atacar a la administración del Presidente por haber recortado 250 millones de pesos (\$29,3 millones de dólares) del presupuesto de 1998 para programas ambientales (Instituto Latinoamericano 1998).

Mientras tanto, las temperaturas continuaban incrementando hasta alcanzar nuevo récord, y grandes incendios forestales quemaban los estados de Oaxaca, Chiapas, Veracruz, Coahuila y Durango. Uno de los más grandes, quemó más de 1 500 hectáreas de bosque tropical húmedo en Oaxaca. El humo causado por muchos de los siniestros obligó a cerrar algunos aeropuertos en México. Nubes de humo muy densas taparon la luz del sol hasta Illinois, al norte de los Estados Unidos, y las autoridades de salud advirtieron a muchos residentes de Texas que deberían permanecer dentro de sus hogares y evitar el ejercicio hasta que el humo se desvaneciera (Newman 1998). En la ciudad de México, los



problemas de contaminación severa que ya existían, se exacerbaron por el humo de los grandes incendios forestales.

El 25 de mayo de 1998, los niveles de ozono de la Ciudad de México eran 251 Imeccas, en una escala en la que 100 se considera no satisfactoria y 200 representa una amenaza para la vida de los niños y de las personas con problemas respiratorios. Como resultado, las fábricas tuvieron que reducir la producción, las escuelas cancelaron las actividades al aire libre y se prohibió que circulara cerca del 40 por ciento del parque vehicular de la ciudad. Vientos poco comunes continuaron llevando el humo de los cientos de incendios que estaban fuera de control hacia el norte de las Montañas Rocosas y la Zona de las Praderas en los Estados Unidos (Associated Press, 25 de mayo de 1998).

A principios de junio, la Agencia Internacional para el Desarrollo estadounidense (USAID por sus siglas en inglés) había ofrecido \$5 millones de dólares con el objeto de coadyuvar con los esfuerzos mexicanos para combatir el fuego. Expertos técnicos de ese país también comenzaron a ayudar a controlar varios incendios que se hallaban fuera de control en los Chimalapas, reserva biológica de Oaxaca, y una de las selvas tropicales más importantes de las Américas. Los Estados Unidos estaban particularmente interesados en esos incendios debido a que esta selva contiene cerca de 1 500 especies de las plantas más amenazadas en el mundo; es el santuario de 90 por ciento de las aves migratorias de este país y sus plantas contribuyen con ingredientes a cerca de 130 de los productos farmacéuticos más utilizados en los Estados Unidos (Price 1998).

Los esfuerzos por combatir el fuego en los Chimalapas fueron difíciles (Prensa Asociada 1998) y mostraron los problemas inherentes al tratar de combatir incendios forestales en las selvas tropicales. La falta de equipo contra incendios accesible hizo que los habitantes del lugar trataran de apagar el fuego con ramas de árboles, cubriéndose la cara con pañuelos (Ferriss 1999). En muchos casos, el humo denso evitaba que tanto los bomberos como las aeronaves pudieran acercarse al fuego dentro de la reserva. Aun cuando los helicópteros pudieron hacerlo, las particularidades que presentan los incendios en los bosques tropicales de follaje denso dificultan la efectividad de los esfuerzos. El fuego estaba en el suelo del bosque separado de los helicópteros por el follaje de los árboles que aún era muy denso, lo cual no permitía tener una perspectiva directa de los fuegos, y dispersaban el humo. Los follajes densos esparcían el agua antes de que pudiera llegar al suelo (Price 1998), y la vegetación hizo que los bosques en llamas se volvieran impenetrables para los bomberos (Hanna 1998). Algunos pobladores de la localidad caminaron durante seis horas o más dentro del bosque para crear zonas de aterrizaje a fin de que los bomberos pudieran bajarse de los helicópteros (Ferriss 1999).

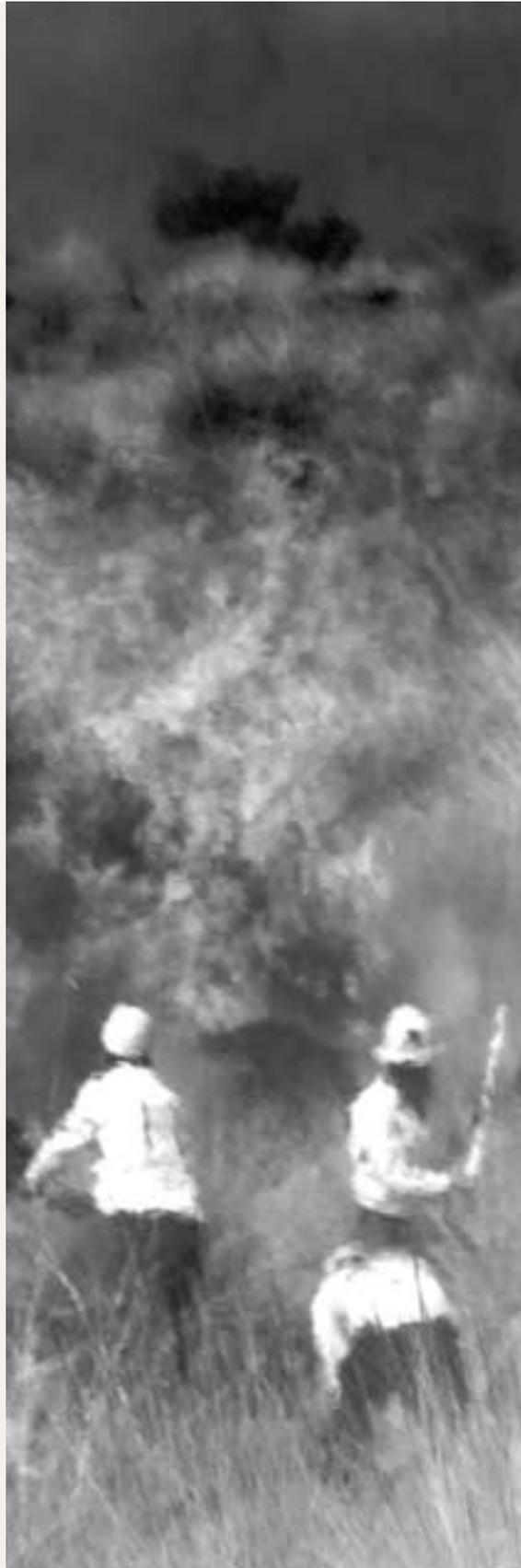
Para el 5 de junio, más de 60 bomberos mexicanos habían perdido la vida y, a pesar de las lluvias ligeras, 144 incendios continuaban prendidos, incluyendo 23 muy extensos (Price 1998). El 10 de junio, una nube de humo se extendió desde México hacia el norte hasta Dakota, y hacia el este hasta Florida (Gunson 1998).

Finalmente cambió el clima en gran parte de México, cuando un frente tropical que



se movía a lo largo de la costa este, se combinó con el Huracán Blas en la costa oeste, se produjeron las tan indispensables lluvias. Esto, aunado a los esfuerzos de más de 1 300 bomberos, redujeron a 34 el número de incendios forestales para el 26 de junio. El 18 de ese mismo mes, se reportaba que sólo 17 estaban fuera de control, de los cuales 11 eran de alta prioridad: cinco en Chiapas, tres en Tamaulipas y un incendio en cada uno de los siguientes estados: Nuevo León, Hidalgo y San Luis Potosí. La disminución del fuego también puso punto final a la intrusión de grandes nubes de humo a los Estados Unidos (Hanna 1998), cuyo gobierno dio a México más de \$8 millones de dólares en ayuda para casos de desastres y envió 50 asesores para compartir experiencias y proporcionar asistencia técnica (Edwards 1998).

Al final de la temporada de incendios de 1998, más de 70 personas, incluyendo muchos voluntarios locales, habían muerto tratando de controlar los incendios (Castilleja y Stedman-Edwards 1999). Los registros de la SEMARNAP muestran que 14 391 incendios, con un tamaño promedio de 59 hectáreas, habían quemado 848 911 hectáreas. Esto fue más del doble de la cantidad promedio a largo plazo de los incendios, y un incremento cuatro veces mayor del área total quemada (SEMARNAP 2000). En total, participaron 6 000 bomberos, más 139 000 elementos del ejército, y miles de voluntarios. En vez de los tres aviones y seis helicópteros que desplazó la SEMARNAP de 1995 a 1997, hubo un total de 57 aviones, 25 helicópteros, tres helicópteros grúa y un CL-415 de México. Los Estados Unidos y Canadá también participaron en estos esfuerzos. En 1998 el gobierno federal mexicano gastó un





total de 290 millones de pesos (\$33,3 millones de dólares), es decir, varias veces los 40 millones de pesos presupuestados para combatir los incendios. Estos montos no reflejan los gastos adicionales que fueron erogados por cada uno de los estados (Rodríguez-Trejo 1998; Rodríguez-Trejo y Pyne 1999).

En el México tropical, los incendios afectaron a los ocho estados del sudeste y se calcula que entre mayo y junio de 1998 se liberaron 4,6 TgC a través de la combustión, quemando 463 000 hectáreas, principalmente a lo largo de la frontera común que comparten los estados de Oaxaca, Chiapas y Veracruz. Los bosques tropicales siempreverdes estaban entre los tipos de cubierta de tierra más severamente afectados (Cairns *et al.* 2000). En las 560 000 hectáreas de la reserva biológica de los Chimalapas, se estima que por lo menos 35 por ciento de los bosques fueron dañados por el fuego, y un 4 por ciento se consumió completamente. Si estos bosques no se perturban, se requerirá de cien o doscientos años para que vuelvan a crecer (Ferriss 1999).

Desde que ocurrieron los incendios de 1998, el gobierno mexicano ha hecho enormes esfuerzos por mejorar su programa para combatirlos. El presupuesto anual para la SEMARNAP se duplicó a aproximadamente \$20 millones de dólares (Mutch *et al.* 1999), y han aumentado las inversiones de prevención y preparación en caso de que se den. La SEMARNAP ha desarrollado y difundido metas específicas para la prevención, detección y actividades de combate al fuego que se llevarán a cabo en los próximos años (SEMARNAP 2000).

Al finalizar la temporada de incendios de 1998 en los Chimalapas, era evidente que el gobierno mexicano estaba ansioso por hacer algo para enfrentar este problema; se construyeron más torres de observación y se equipó mejor a las brigadas contra incendios. La capacidad para su manejo mejoró con más entrenamiento, sistemas de comunicación de radio adicionales y campañas de información pública. El Servicio Forestal de los Estados Unidos dio seguimiento a los incendios al capacitar a la población en las áreas donde murieron los bomberos (Ferriss 1999).

A nivel nacional, México dio el paso inusual de lanzar una campaña posterior a los incendios junto con un decreto presidencial en septiembre de 1998; a esta campaña se le conocía como la Campaña Nacional para la Recuperación Ecológica y en Contra del Cambio de Uso de la Tierra. Su propósito fue evitar los cambios en el uso de la tierra en áreas clave afectadas por los incendios. Inicialmente, el programa estaba dirigido a alrededor de 200 000 hectáreas en 85 zonas, en 21 de los 30 estados de la República Mexicana. El criterio que se utilizó para la selección del sitio incluía:

- riqueza de la biodiversidad.
- importancia de los servicios ecológicos que proporcionaba.
- dimensión del daño causado por el fuego.
- riesgo por el cambio de uso de la tierra.

Los Chimalapas no se encontraban en la lista inicial de sitios, pero se esperaba que fueran añadidos (Castilleja y Stedman-Edwards 1999).



La complejidad que implica la reforestación de los bosques tropicales remotos, ricos en especies, ha sido considerada una barrera para los programas de reforestación (Ferriss 1999).

La necesidad de cambiar la actitud pública y las prácticas del fuego se mostró por medio de una valoración de las causas de los incendios de 1998. La evaluación preliminar hecha por SEMARNAP indicaba que casi todos los incendios en la vegetación natural fueron de origen antropogénico. Las causas reportadas de los siniestros mostraron que el 54 por ciento era atribuible a actividades agrícolas, 16 por ciento fueron provocados deliberadamente para promover un cambio en la designación del uso de tierra, y 30 por ciento fueron a causa de vandalismo o accidentes con cigarrillos, fogatas u otras fuentes de ignición (Castilleja y Stedman-Edwards 1999).

La ley forestal de México prohíbe el cambio de uso de tierra en áreas cubiertas por bosques tropicales maduros; no obstante, la población local a menudo elimina el bosque por medio de un fuego "accidental" para poder tener acceso a la tierra. Esta ley forestal (Código Penal, Art. 418) prohíbe expresamente dicha actividad (el castigo por causar un fuego intencional en los bosques alcanza una pena de seis años de cárcel sin derecho a fianza), pero se ha demostrado que el cumplimiento de esta cláusula es difícil. En el Estado de México, al centro de la República Mexicana, sólo un caso de los 3 649 incendios reportados en 1998 fue procesado. La tolerancia al uso de fuego por parte de la población y la reacción hostil del público para el cumplimiento de ley, han reducido su efectividad (Castilleja y Stedman-Edwards 1999).

Una de las notas al pie de página más interesantes relacionada con los incendios de 1998, tiene que ver con los bosques comunales. En México, aproximadamente el 80 por ciento de los bosques y de las zonas silvestres son propiedades comunales (*ejidos*). En las áreas forestales que están siendo explotadas por las comunidades, los residentes a menudo extinguen los fuegos de manera rápida y efectiva (Castilleja y Stedman-Edwards 1999).

Al escribir acerca de los incendios mexicanos de 1998, Pyne (1998) hizo la siguiente observación: "La política del fuego no difiere mucho a la de la ecología: en el





primer año, las oportunidades para lograr un cambio son muy grandes, en el segundo caen de manera significativa, y en el tercero prácticamente desaparecen..."

El gobierno mexicano parece que tomó este mensaje al pie de la letra; ha trabajado por incrementar su capacidad de prevención, detección y combate al fuego (SEMARNAP 2000). Las herramientas y los mapas para monitorear los incendios y la capacidad de pronóstico han mejorado y se pueden ver en Internet (<http://fms.nofc.cfs.nrcan.gc.ca/mexico/index.html>)

Otra de las lecciones aprendidas de los incendios de 1998 incluye los efectos adversos de la ley forestal en contra de la conversión de bosques maduros a otros usos de la tierra. El decreto presidencial de septiembre de 1998 para promover la regeneración y prohibir el cambio de uso de tierra ha sido un paso para frenar estos efectos, pero las leyes sirven de muy poco si no se cumplen. Los ejemplos de los bosques comunales muestran la importancia y el valor que les dan a los bosques locales al prevenir fuegos de manera espontánea y los esfuerzos que se realizan por combatirlos; dicho valor podría incluir servicios ambientales y no sólo el de la madera. Por ejemplo, cerca de una tercera parte del agua de la Ciudad de México se extrae de una serie de cuencas fuera del Valle de México (Castilleja y Stedman-Edwards 1999). Si esas comunidades forestales obtuvieran beneficios de los servicios ambientales que proporcionan los bosques, podría ser un incentivo mayor para la protección del bosque, reduciendo así la presión por la conversión a tierras agrícolas o la tala (Chomitz *et al.* 1999).

Con respecto al futuro, es poco probable que México enfrente un año como el de 1998 durante un tiempo, pero no hay garantía de que no se repita. Un estudio (Mora y Hernández-Cárdenas 2000) mostró que las condiciones inusuales de sequía de 1998, tenían un antecedente en la historia reciente. De los últimos 20 años, sólo 1982 fue comparable a 1998 en cuanto a las condiciones de sequía en todo el país, pero los años de 1983, 1987 y 1988 fueron potencialmente similares en cuanto a fuegos a nivel regional. Asimismo, el estudio mostró que la presencia de incendios forestales estaba muy ligada a la densidad de población. Las mejoras con respecto al manejo del fuego y a la capacidad de respuesta, y los acuerdos formalizados con países tales como los Estados Unidos para recibir asistencia técnica y financiera inmediata (Ferriss 1999) son un buen comienzo.

Es necesario hacer cambios fundamentales en las condiciones sociales y económicas; de otra manera, estas medidas parciales sólo retrasarán lo inevitable.

Brasil

En realidad los incendios de Roraima de 1998 comenzaron el año anterior. El intenso evento de *El Niño* provocó una sequía extensiva y la vegetación reseca de la región permitió que los fuegos agrícolas y de sabana se extendieran libremente por los bosques del estado. Los siniestros comenzaron en agosto de 1997 y estuvieron mucho tiempo sin ser reportados hasta enero de 1998, fecha en que el gobernador de Roraima declaró estado de emergencia (UNDAC 1998). Los incendios no fueron del todo una sorpresa, pues a principios de septiembre de 1997,



el Congreso Nacional de Brasil estableció un comité de emergencia para estudiar los efectos de *El Niño* y recomendar al gobierno medidas preventivas, después de que los incendios habían quemado 4,335 bosques, incluyendo bosques tropicales, en el estado de Río de Janeiro (Ferreira 1997).

Los incendios en Roraima no fueron los únicos en la amazonia brasileña. La dimensión del problema en el Amazonas fue evidente desde principios de octubre de 1997, cuando hasta los bosques húmedos que se encuentran alrededor de Manaus comenzaron a quemarse sin ningún control. Las quemas agrícolas típicas de cinco kilómetros se extendieron hasta 200 hectáreas (CNN, 9 de octubre de 1997). Al finalizar el mes, hasta el lecho del pantano de Balbina estaba quemándose. La sequía había disminuido los niveles del agua, por lo que el bosque que antes estaba inundado, se encontraba expuesto. Los árboles destruidos se secaron y se prendieron (Astor 1997). El humo de los incendios de toda la región cubrió a los 1,1 millones de residentes de Manaus, y como resultado hubo un incremento del 40 por ciento de problemas respiratorios (CNN, 9 de octubre de 1997).

Debido a que los grados de humedad en el Amazonas alcanzaron su nivel más bajo desde 1939, muchos incendios se propagaron fuera de control en esta zona. Los aeropuertos en las ciudades capitales de Porto Velho, Rondonia y Rio Branco, Acre, tuvieron que cerrar entre 20 y 30 veces en septiembre de 1997 debido a la densidad del humo (CNN, 9 de octubre de 1997). No llovió en el estado de Amazonas durante 70 días y éste fue un hecho sin precedentes.

Los incendios quemaron grandes áreas en la cuenca de Tapajos (Peres 1999), al sur del estado de Pará, e incluso los bosques relativamente mojados cercanos a Manaus, en el Amazonas (Nelson, en imprenta). Para octubre, algunas pruebas de incendios demostraron que aun los bosques primarios intactos cercanos a Paragominas Pará, no eran inmunes. En diciembre, los siniestros estaban quemando los bosques por ambos lados a lo largo de una sección de 40km de autopista (PA-150), al sur de Tailandia, Pará, que es un pueblo extractor de maderera (Cochrane y Schulze 1998).

En Roraima, los incendios empeoraron el resto del año de 1997. Las Naciones Unidas ofrecieron asistencia al gobierno brasileño tanto en noviembre como en diciembre, pero no recibieron respuesta del Ministerio del Medio Ambiente (CNN, 21 de marzo de 1988). El 22 de enero de 1988, el gobernador de Roraima declaró estado de emergencia y asumió poderes extraordinarios para combatir los incendios, que para





entonces ya estaban fuera de control (UN-DAC 1988). Sin embargo, Roraima no estaba bien equipada para enfrentarlos, pues tan solo tenía 80 bomberos y seis camiones en un estado que es casi del tamaño de Gran Bretaña (CNN, 14 de marzo de 1998). Durante enero, febrero y principios de marzo, sólo hubo un capitán y diez bomberos disponibles para combatir el fuego afuera de las ciudades (Mutch *et al.* 1999).

Para mediados de marzo, los incendios estaban totalmente fuera de control e invadían la reserva india de Yanomami. El gobernador de Roraima, Neudo Campos, decidió contratar una flota de 22 rusos y helicópteros estadounidenses especializados en combatir el fuego, que trabajaban para una compañía petrolera en Maturín, Venezuela. El gobierno federal aprobó una erogación de \$2,4 millones de dólares para la renta de estos aparatos, pero no liberó los fondos; a cambio, decidió enviar un equipo militar de 50 especialistas en combatir incendios en la selva (BBC Noticias, 15 de marzo de 1998).

Mientras tanto, los incendios habían destruido 12 000 cabezas de ganado y amenazaban a otras 90 000. El 30 por ciento de las cosechas de la región (\$36 millones de dólares) fueron destruidas y 15 poblados de los indios Yanomami estaban amenazados. A lo largo de Roraima, una nube de humo de 300km de diámetro empañaba el sol durante el día y, de manera inversa, en las noches las llamas iluminaban el cielo (CNN, 14 de marzo de 1998 y BBC Noticias, 15 de marzo de 1998). Los vientos de 35km/h continuaban empujando los incendios hacia las reservas ecológicas sensibles. El gobernador pidió provisiones de

alimentos de emergencia a otros estados para hacer frente a la escasez ocasionada por la destrucción del 80 por ciento de la cosecha de arroz, frijoles y maíz de la región. Se hizo una erogación adicional de \$3 millones de dólares para que los bomberos y el personal de ejército excavarán pozos, creando así 6 000 pequeñas reservas en el campo reseco para apoyar a las poblaciones indígenas y a los esfuerzos por combatir el fuego (Servicio de Noticias Kyodo, 14 de marzo de 1998; Prensa Asociada, 17 de marzo de 1998).

Para el 20 de marzo de 1998, una línea de fuego de 400km avanzaba al oeste hacia los bosques que no habían sido perturbados previamente. Varias poblaciones Yanomami fueron destruidas y se calcula que 15 000 familias perdieron sus cosechas y sus medios de subsistencia. En este punto, Argentina ofreció enviar 100 bomberos y cuatro helicópteros para apoyar en los esfuerzos humanitarios. El gobierno venezolano comenzó a formular planes de contingencia para ayudar a Brasil, pues los incendios se encontraban a 50km de la frontera (BBC Noticias, 20 de marzo de 1998). Al mismo tiempo, el gobierno brasileño planeaba enviar otros 300 bomberos para apoyar a los 200 que ya se encontraban luchando contra las llamas en el estado (Brown 1998).

Al igual que en México, las brigadas que combatían los incendios en Roraima, tenían dificultades para enfrentarse con las particularidades del fuego en los bosques tropicales. Cuando cientos de bomberos nuevos llegaron al Amazonas, a menudo se sorprendían al ver animales salvajes correr por los caminos para huir de los incendios, y a muchos les preocupaba que las



víboras venenosas los mordieran (Brown 1998). Las llamas estaban por todos lados, y de vez en vez crecían repentinamente y alcanzaban una palmera que ardía de inmediato (BBC Noticias, 23 de marzo de 1998). Para alcanzar muchos de los incendios más remotos, los bomberos tenían que caminar cuesta arriba hasta 50km cargando un equipo pesado, o descender de los helicópteros por medio de cuerdas para despejar lugares de aterrizaje. Las temperaturas cerca de los incendios eran de 50°C y los niveles de humedad habían caído por debajo del 30 por ciento. Las brigadas estaban mal equipadas y utilizaban contenedores de agua, espumaderas, palos y matamoscas (del tamaño de las palas) para golpear las llamas. Además, la espesa cubierta del bosque dificultó seguir la trayectoria del fuego desde el aire. Incluso cuando los incendios pudieron ser localizados, la densidad del follaje no permitió que los helicópteros echaran agua sobre ellos. Cuando se lograba contener un incendio, para apagarlo del todo era necesario hacer una inspección minuciosa de cada árbol para asegurarse que no hubiera restos ardiendo, y a menudo esto tenía que hacerse en el hueco de los troncos (BBC Noticias, 21 de marzo de 1998). Los 700 o 1 000 bomberos activos que finalmente trataban de combatir los incendios, estaban rebasados por una situación en la cual se estimaba que eran necesarios 10 000 o más dedicados exclusivamente a eso (Mutch *et al.* 1999).

Para el 21 de marzo, 120 bomberos y cuatro helicópteros argentinos equipados con contenedores de 500 litros de agua llegaron a la frontera de Roraima. El fuego

comenzaba a devastar la Estación Ecológica Maraca y el Parque Nacional Niquia. Los bomberos intentaron controlar los puntos focales de los principales incendios, pero estaban abrumados por 2 000 fuegos, separados unos de otros. Los comandantes de brigada calculaban que podrían controlar los siniestros dentro de algunas áreas en dos semanas, pero que las operaciones de limpieza posteriores al fuego para evitar un nuevo incendio tomarían otros 10 días o más (CNN, 21 de marzo de 1998).

El 25 de marzo, el gobierno brasileño aceptó la oferta de ayuda de las Naciones Unidas. En Roraima, las autoridades informaron que un gran incendio cercano a la comunidad de Apiau había sido controlado, pero que otros 1 000 aún estaban encendidos en la misma área (BBC Noticias, 25 de marzo de 1998). El 27 de marzo de ese mismo año, el gobierno brasileño hizo una solicitud oficial a las Naciones Unidas pidiendo asistencia para combatir los siniestros en Roraima. Ese mismo día, la ONU movilizó un equipo para la evaluación del desastre y la coordinación (UNDAC 1998).

Justo cuando el equipo de expertos de las Naciones Unidas estaba a punto de llegar a Roraima para evaluar la situación y determinar el nivel de asistencia internacional que se requería, comenzó a caer la primera precipitación significativa en seis meses. Las lluvias comenzaron horas después de que dos chamanes de los indios Caiapo de la reservación Xingu, que habían huido a la de los Yanomami, terminaron un ritual para atraerlas (CNN, 31 de marzo de 1998a; BBC Noticias, 1 de abril



de 1998). Las lluvias acabaron con muchos de los incendios, pero 1,500 bomberos continuaron luchando contra el fuego con la ayuda de los indios Yanomami (CNN, 31 de marzo de 1998b). Las imágenes de satélite mostraban una línea de 220 kilómetros de fuego que continuaba desplazándose hacia el sur, dentro del bosque (BBC Noticias, 31 de marzo de 1998).

Las continuas lluvias a principios de abril finalmente sometieron los últimos incendios (Cochrane y Schulze 1998). Las estimaciones iniciales que indicaban que los incendios en Roraima habían quemado un área de más de 3 300 000 hectáreas, incluyendo alrededor de 1 100 000 hectáreas de bosque virgen (Barbosa 1998), fueron impugnadas por el gobierno. No obstante, los estudios que se llevaron a cabo posteriormente en el sitio, incrementaron la estimación del área quemada a 3 814 400 – 4 067 800 hectáreas de sabana y 1 139 400 – 1 392 800 hectáreas de bosque primario intacto (Barbosa y Fearnside 1999). Un estudio independiente de las imágenes del satélite Landsat TM determinaron que alrededor de 1 173 000 hectáreas de bosque habían sido impactadas por el fuego con un 25 por ciento de incendios en zonas boscosas de follaje denso y cerrado, mientras que otros quemaban los bosques de follaje abierto en las regiones de sabana donde habían llegado (Shimabukuro *et al.* 2000). A lo largo y ancho del estado, los siniestros impactaron entre 2,5 y 3,1 por ciento de los bosques de follaje denso, entre 17,5 y 21,4 por ciento de follaje abierto, 38,5 por ciento de sabana y 48,1 por ciento de todas las zonas rurales (Barbosa y Fearnside 2000).

Los siniestros tuvieron diversos impactos en los bosques a lo largo de la región. Estudios de campo realizados poco después de los incendios mostraron que el fuego había tocado entre el 28 y el 78 por ciento de los árboles en pie en las áreas afectadas, y que había destruido entre el 5 y el 28 por ciento de todos los árboles que alcanzó de más de 10cm de diámetro a la altura del pecho (Nascimento *et al.* 2000). Estas cantidades concuerdan con los índices de destrucción ocurridos en otros sitios del Amazonas poco después de los incendios forestales (Peres 1999; Barbosa y Fearnside 2000), aunque quizá las estimaciones sean conservadoras, ya que es probable que mueran muchos árboles más después del primer año (Holdsworth y Uhl 1997; Cochrane y Schulze 1999). Puede ocurrir una destrucción significativa durante los siguientes dos años posteriores a los incendios, debida a los árboles que caen (Cochrane *et al.* 1999). Las emisiones de carbono estimadas por el daño causado sólo por los incendios en Roraima en 1998, indican que hasta 20 millones de toneladas métricas de carbono fueron liberadas en la atmósfera, y otros 22 millones de toneladas métricas se liberarán en los próximos años debido a la descomposición de los árboles destruidos (Barbosa y Fearnside 2000). Quedan enormes trechos de bosques dañados que no necesitarán de las extensas sequías causadas por *El Niño* para quemarse nuevamente (Cochrane y Schulze 1999). Los incendios en el futuro serán más severos debido al aumento de combustibles que dejaron los árboles quemados en el primer incendio (Cochrane *et al.* 1999; Cochrane 2000).



Lecciones aprendidas de Roraima

Con base en las entrevistas hechas a los bomberos (*bombeiros*) que participaron en los esfuerzos por sofocar los incendios de Roraima en 1998, se puede decir que se aprendieron las siguientes lecciones (la lista fue tomada directamente de Mutch *et al.* (1999).

Elementos positivos

- Los *bombeiros* que habían tenido una capacitación previa sobre incendios en zonas silvestres, habían sido particularmente eficientes al enfrentarse a esta situación tan compleja.
 - Aunque no había ningún acuerdo de antemano, muchas agencias y organizaciones integraron sus actividades de una forma muy positiva, incluyendo el gobierno del estado de Roraima, el ejército, la fuerza aérea, los *bombeiros*, el Instituto Brasileño de Medio Ambiente y de Recursos Naturales Renovables (IBAMA por sus siglas en portugués), la defensa civil, el servicio meteorológico, Argentina y Venezuela. El entrenamiento en operaciones aéreas en el Centro contra Incendios Interagencial Nacional llevado a cabo en Boise, Idaho, fue de gran ayuda para coordinar la operaciones del manejo de incendios.
 - El Sistema de Mando de Incidentes (ICS por sus siglas en inglés) que estaba a cargo del mando y control de funciones contra los incendios, trabajó bien, considerando que no había acuerdos previos para que este sistema fuera utilizado por todas las agencias.
- El gobernador y el general del ejército a cargo de Roraima apoyaron el proceso del ICS.
- Fue muy útil que IBAMA en Brasilia (PREVFOGO) solicitara que los *bombeiros* con experiencia en incendios en zonas silvestres llevaran a cabo una evaluación de los incendios en Roraima para describir la situación y recomendar las acciones necesarias para combatir el fuego. El Capitán Gilberto Mendes y el Capitán Wanius de Amorim de Río de Janeiro, junto con Giovanni Cornacchia de PREVFOGO, condujeron esta evaluación del 15 al 23 de marzo; hicieron vuelos de reconocimiento sobre un área de 400km, mapeando la ubicación y extensión de los fuegos con GPS y comparando los sitios con las imágenes de satélite. Por último, se hizo un mapa que mostraba de manera muy clara la extensión tan grave del problema de los incendios, que fue utilizado por el gobernador junto con un informe de su evaluación para solicitar fondos de emergencia a Brasilia, que en un principio liberó \$1,5 millones de reales para el combate del fuego y apoyo.
 - El ejército hizo un excelente trabajo al proporcionar apoyo logístico a los bomberos, incluyendo tiendas de campaña, alimentos, transportación, etcétera.
 - Los helicópteros de Minas Gerais y Venezuela trabajaron especialmente bien en los incendios forestales, pues tenían experiencia previa. Los pilotos se beneficiarán por la capacitación especial en



el uso de estos aparatos en caso de incendios en zonas silvestres.

- Los *bombeiros* de Río de Janeiro llegaron bien equipados para ser una unidad autosostenible de combate al fuego, que requiere de poco apoyo externo. En el avión C-130 que los transportó, llevaron una camioneta, una máquina para combatir el fuego, herramientas manuales, diez sierras de cadena nuevas, tiendas de campaña, cinco unidades GPS, luces de cabeza, pilas, botiquines de primeros auxilios, un médico y radios.
- El C-130 se movilizó de manera eficiente una vez que se recibió la orden de ir a Roraima.
- Algunas unidades desarrollaron planes de operaciones diarias para dirigir las acciones y proporcionar la información necesaria a otros.

Problemas específicos

- No se movilizaron recursos del exterior lo suficientemente rápido para alcanzar los incendios desde un principio y mantenerlos pequeños. La situación era abrumadora cuando los *bombeiros* llegaron de otros estados; trabajaron muy duro bajo estas difíciles circunstancias, pero fue la precipitación de marzo la que evitó que la situación empeorara.
- No hubo un sistema de comunicación integrada; cada organización tenía su propio sistema de comunicación interna, pero las distintas organizaciones necesitaban hablar unas con otras en un solo radio con canales múltiples

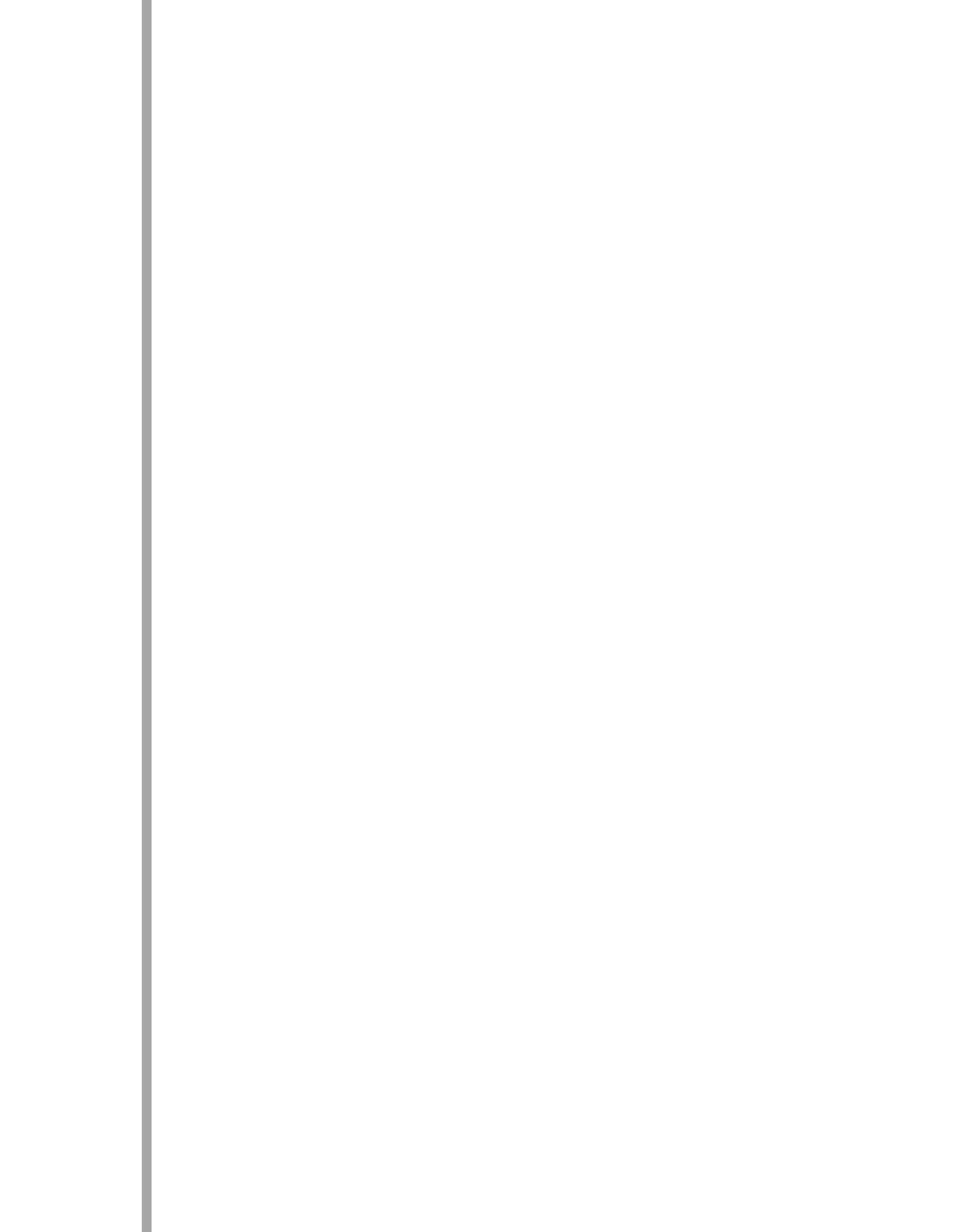
que cubrieran todas las frecuencias. Tampoco hubo un vínculo de comunicación efectivo entre el Centro de Mando Aéreo en Boa Vista, y los Centros de Comando en el campo.

- Los *bombeiros* no tenían el equipo adecuado —o no lo suficientemente— para las condiciones selváticas.
- No había suficientes bomberos para enfrentar las condiciones prevalecientes en Roraima. A pesar de que entre 700 y 1 000 personas participaban en las operaciones de lucha contra el fuego, se estimaba que eran necesarios 10 000 bomberos o más para mediados de marzo (los incendios habían comenzado desde enero). La llegada de una pequeña brigada de bomberos bien equipada y entrenada durante los meses de enero y febrero, pudo haber reducido considerablemente la gravedad de los impactos y de los costos.
- Es necesario entrenar muchos más bomberos para combatir fuegos en zonas silvestres antes de la temporada de incendios, incluyendo a los *bombeiros* de la región del Amazonas, y que su entrenamiento se adapte al combate estructural del fuego (i.e. apagar incendios en edificios). Las brigadas voluntarias a nivel local también necesitan estar equipadas y capacitadas para poder responder de manera inmediata a emergencias de incendios.
- No hubo apoyo aéreo continuo para enfrentar las necesidades que tenían los bomberos en el terreno. Los militares utilizaron los helicópteros para



llevar a cabo otras misiones en vez de ayudar a los bomberos.

- Los agricultores continuaron haciendo quemas aún cuando hubo una prohibición, hasta que fueron amenazados con arresto (Nota: Por otro lado, la tribu Yanomami dijo que ya no haría quemas hasta que los *bombeiros* le autorizara a hacerlas).
- El Centro de Mando de Boa Vista trató de producir planes diarios, pero el proceso de planeación tendía a reportar qué había ocurrido, en vez de considerar las prioridades directas para las operaciones futuras con el objeto de dirigir a los comandantes de campo. Ayudaría mayor experiencia y entrenamiento en el proceso del ICS; los puestos de este instituto dentro de los Centros de Comando deberían ser ocupados por personas con conocimiento de operaciones para el combate del fuego y no con base en su rango militar.
- Se deberían establecer y conducir evaluaciones diarias para asegurar que los bomberos estén logrando los objetivos planeados.



Enfrentar al fuego en los trópicos - prevención, prevención, prevención



Herramientas para prevenir incendios

Prevenir incendios es fundamental al elaborar cualquier estrategia para el manejo del fuego, ya que por lo general es mucho más económico que extinguirlos y reduce los costos de los daños.

Es necesario que la gente entienda por qué los incendios forestales le representan un problema. La población local, cuyo uso de la tierra depende en gran medida del fuego, debe estar involucrada sin importar cuántos bomberos capacitados existan (Troenegaard 1990).

Las campañas de prevención deberán ser diseñadas de acuerdo con cada cultura y cada comunidad en lo individual. No obstante, a pesar de las variaciones locales, la prevención tiene algunas características universales. Primero, para que el mensaje fructifique deberá transmitirse a la población de manera eficaz, ya que si se pretende que tengan éxito los esfuerzos para prevenir los incendios en los trópicos, es

necesario modificar la indiferencia cultural que existe actualmente frente ellos. Esto va a requerir de campañas constantes e innovadoras para educar y moldear las ideas que hay en el medio rural con respecto al fuego, y para que estos programas sean más eficaces, deberán realizarse a través de los sistemas escolares de la región. Mientras que la meta es incrementar de manera expedita los esfuerzos para prevenir incendios, capacitar a la siguiente generación para que tenga una actitud responsable frente al manejo del fuego rendirá los más altos dividendos.

El mensaje debe tener resonancia en la población. La gente en cuyas ideas se quiera influir con respecto al uso del fuego, tiene que entender por qué los incendios forestales son un problema para ella. Es necesario que se proporcionen ejemplos específicos de los problemas causados por los incendios, así como el darles un contexto humano. Sin duda que los casos como los siniestros de Roraima en 1997-1998 en Brasil, y los vastos incendios en México y Centroamérica proporcionarán excelentes ejemplos.





Los mensajes para prevenir incendios necesitan presentarse en diversas formas y por todos los medios de comunicación posibles, incluyendo radio, televisión, textos impresos, carteles, etcétera. Dichos mensajes se beneficiarían con frases que le recordaran a la gente la importancia de la prevención. Un ejemplo es el que se popularizó en los Estados Unidos en 1903, el cual decía: “Un árbol puede convertirse en un millón de cerillas - una cerilla puede destruir un millón de árboles”.

Por lo general, al transmitir cualquier mensaje en este sentido se deberá tomar en cuenta que las imágenes emotivas muy sencillas son mejores que los mensajes complicados, y los carteles y la televisión son los medios ideales para lograrlo. Se ha demostrado que la formación de grupos juveniles enfocados hacia la prevención de incendios y la administración ambiental, junto con una celebración y los premios pueden ser muy efectivos para incrementar la conciencia y la respuesta al fuego.

En un estudio llevado a cabo para determinar la efectividad de las medidas preventivas, se encontró que al aumentar en un 20 por ciento los fondos destinados a este rubro, se reduce el gasto total ocasionado por la extinción de incendios hasta en un 80 por ciento (Pyne 1982). La transmisión de programas de radio sobre las prácticas de quema adecuadas han sido efectivas para reducir la incidencia de siniestros ocasionados por la población local de Guinea, África Occidental (Brown 1998).

En Honduras, la incorporación de expertos técnicos en las comunidades locales ha

ayudado en gran medida. Las actividades específicas llevadas a cabo incluyen reuniones, cursos y seminarios públicos para los maestros de escuelas rurales, así como el fomento de clubes forestales. Asimismo, se ha puesto énfasis en mejorar la información en la enseñanza primaria y secundaria sobre los incendios en los bosques (Salazar 1990).

Este trabajo deberá incluir la formación de brigadas locales voluntarias en las que participen mujeres y hasta niños de todos los niveles socioeconómicos, y no simplemente el gobierno. En Brasil, el Grupo de Trabajo Amazonas (GTA), una red de más de 300 organizaciones, realizó un programa a gran escala de cursos de campo en 1998 que alentaban a los líderes de las comunidades en el campo a formar brigadas contra el fuego dentro de sus propias comunidades (Nepstad *et al.* 1999b). Esta es una excelente muestra en la que se hace uso de las organizaciones que ya existen para transmitir nuevos mensajes. En general, las agencias de extensión agrícola deberán dar capacitación técnica y apoyo para lograr un manejo responsable del fuego.

Los métodos para prevenir incendios son bastante directos y bien conocidos, e incluyen:

- crear brechas contrafuego removiendo todos los combustibles del suelo que se encuentren alrededor de cualquier área que vaya a quemarse.
- usar atajafuegos o fuegos perimetrales para que las brechas contrafuego se formen quemando hacia el centro en vez de hacia una orilla.



- cortar árboles muertos que pudieran traspasar la brechas contrafuego al caer y quemarse.
- consultar con los vecinos antes de quemar las tierras.
- monitorear la progresión y expansión de los incendios.

Todos esto puede resultar oneroso para los propietarios locales. En muchos casos, los incentivos financieros son más efectivos que las legislaciones punitivas (Nepstad *et al.* 1999b). El programa de Costa Rica para compensar a los propietarios de la tierra por proteger los servicios ambientales que proporcionan sus bosques, podría ser un modelo para América Latina (Chomitz *et al.* 1999).

Se entiende perfectamente que estos esfuerzos representan una forma rentable para enfrentarse al fuego. A menudo, en muchos países las estadísticas de incendios no están disponibles, no son exactas o no existen. Los datos que hay indican que la actividad humana puede causar el 97 por ciento de todos los siniestros (Rodríguez-Trejo y Pyne 1999), y que la inmensa mayoría de ellos son el resultado de fuegos que se escaparon de pastizales y tierras agrícolas (Rodríguez-Trejo y Briseo 1992; Rodríguez-Trejo y Pyne 1999; Mutch *et al.* 1999).

Es muy difícil - si no es que imposible - medir los esfuerzos para la prevención que llevan a cabo en diversos países. Por ejemplo, en Mesoamérica, el Secretario de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP) de México, es respon-

sable de prevenir y de enfrentar y extinguir los incendios, y cada oficina estatal es autónoma y responsable de mantener sus propios programas. En 1986 y 1996 se aprobó en Costa Rica una legislación para reforzar las leyes forestales contra incendios, y esto dio como resultado la formación de comités y brigadas voluntarias a nivel regional y local.

Guatemala recibe montos considerables de asistencia internacional debido al interés que existe por las ruinas mayas; no obstante, no cuenta con una autoridad nacional para la extinción del fuego y cada región es responsable de afrontar sus propios problemas al respecto. La capacitación internacional para responder a situaciones de emergencia ha sido particularmente efectiva para crear conciencia e incrementar la efectividad de la respuesta al fuego en la región de Petén (Mutch *et al.* 1999). Una revisión de las políticas forestales de 28 países y territorios en la región del Caribe (incluyendo algunos de Centro y Sudamérica) mostraron que sólo hay un plan explícito para el control de incendios (Bahamas) (FAO 1998).

En la región tropical sudamericana, el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales de Venezuela es el responsable de coordinar las actividades para prevenir y responder a incendios. Estas actividades varían a nivel regional, pero incluyen el uso de incentivos económicos para prevenir y controlar incendios en los bosques.

En Brasil, el programa nacional para el manejo del fuego (PREVFOGO) es administrado por la Dirección de Control y Supervisión de IBAMA, instancia del Ministerio del



Medio Ambiente. Sus actividades están orientadas a (Cornacchia y Pedreira 1998, como lo citó Mutch *et al.* 1999):

- administrar programas de extensión y educación rural con los agricultores a fin de reducir la cantidad de incendios en los bosques ocasionados por las quemas agrícolas.
- desarrollar planes relacionados con el manejo del fuego para las Unidades de Conservación de IBAMA, con el objeto de extinguir y usar el fuego prescrito para minimizar los impactos adversos en los ecosistemas.
- monitorear los puntos de calor por medio de satélites para proporcionar información acerca de las áreas problemáticas.
- proporcionar capacitación a pilotos para la prevención y la lucha contra el fuego, en métodos de combate aéreo de incendios y para determinar sus causas.
- preparar brigadas a fin de prevenir y luchar contra los incendios forestales en las Unidades de Conservación, y trabajar conjuntamente con las autoridades responsables, para asegurarse que los reglamentos se cumplan.

Asimismo, Brasil comenzó un programa de manejo del fuego focalizado para el Arco de Deforestación en el Amazonas. Esta es un región de aproximadamente 3 000km por 600km, que abarca las zonas oriental y meridional de la Amazonia brasileña. El 10 de septiembre de 1998, el Banco Mundial

le asignó \$15 millones de dólares al gobierno de este país para apoyar el proyecto, PROARCO, que tiene los siguientes componentes (Mutch *et al.* 1999):

- monitoreo de las quemas agrícolas y los incendios forestales (incluyendo el monitoreo de riesgo de fuego).
- puesta en vigor de las leyes relacionadas con el uso del manejo de la tierra.
- prevención de incendios forestales (incluyendo la capacitación de agricultores para que tengan las precauciones y los dispositivos de seguridad adecuados al realizar las quemas).
- combate a los incendios forestales.
- establecimiento de una fuerza operativa estratégica (que proporcione una coordinación general).

División en zonas del terreno y planificación del uso de la tierra

La división por zonas para el uso de la tierra a lo largo de los trópicos puede ser una medida efectiva para prevenir incendios. Por ejemplo, el desasociar las áreas agrícolas manejadas por medio del fuego de los bosques talados puede reducir la posibilidad de que haya incendios forestales y la gravedad de los daños causados por los siniestros accidentales: las fuentes de combustible que son fácilmente inflamables (por ejemplo, los bosques talados) no estarían expuestos a las frecuentes causas de ignición (como el mantenimiento de pastizales o nuevas quemas agrícolas).



Es probable que la división física del uso de la tierra no resulte económicamente viable. Los rendimientos obtenidos por la tala pueden planearse como intercambios entre las ganancias potenciales y los costos de extracción, transporte y procesamiento que implican (Stone 1998). Esto significa que si no hay modificaciones en el mercado, la tala se hará en los bosques que sean más fácilmente accesibles. El proceso actual de asentamientos en gran parte de los trópicos se debe a los caminos y a la deforestación, y ambos hacen que los bosques sean más accesibles a los taladores. Más aún, los propietarios a menudo utilizan la tala de sus tierras para financiar nueva deforestación.

Veríssimo *et al.* (1998) hizo un intento preliminar a fin de proporcionar los criterios para zonificar los sectores de extracción maderera en el Amazonas oriental. Sus recomendaciones estaban basadas tanto en criterios económicos como de conservación, y utilizaban un modelo multiubicador de datos GIS. La protección contra el fuego es una parte integral de la tala selectiva y de la agricultura dependiente del fuego. En una síntesis sobre la ecología y la economía de la tala selectiva en los bosques tropicales, Uhl *et al.* (1997) recomendó que se protegiera a los bosques de extracción selectiva por medio de una brecha contrafuego de cinco metros, por lo menos 10 años después de haber cortado la madera. La intensificación del uso de la tierra ha sido citada como una forma de incrementar el valor de la tierra y posiblemente de disminuir la deforestación (Uhl *et al.* 1997). Esto también ayudaría al problema del fuego porque en la medida en que la propiedad tenga más productividad y valor, la prevención contra los incendios y los esfuerzos de protección serán más rentables.

Herramientas para el manejo del fuego

Saber qué está ocurriendo

Es importante saber dónde, cuándo, por qué y cuánto se está quemando. Si se siguen con atención estas estadísticas, es posible evaluar año con año las variaciones de la ocurrencia del fuego. Este conocimiento es necesario por diversas razones. Primero, al saber cuándo y dónde se presentan los incendios es posible determinar las regiones que podrían presentar problemas en cierto momento. Esto puede ser crucial al tener que decidir cómo optimizar la distribución del equipo y del personal limitado.

Segundo, el conocer las razones por las que se presentan los incendios, ayuda a saber cuáles son las causas directas de cada uno, y proporciona la información necesaria para orientar de una manera más eficiente las medidas de prevención. A fin de poder juzgar la efectividad de estos esfuerzos, es necesario seguir con atención el número y la causa de las igniciones.

Tercero, el dar seguimiento a la distribución del tamaño de las quemaduras y de la vegetación afectada, permite evaluar las medidas adoptadas para extinguir los incendios. Una de las estadísticas más comunes que se utilizan para evaluar los esfuerzos dirigidos a combatir incendios, es el tamaño promedio del fuego año con año (calculando como área total quemada/número total de incendios). Es importante saber qué áreas han sido afectadas por el fuego; esto es particularmente importante en el caso de los bosques tropicales siempreverdes, debido a que los incendios que se hayan presentado anteriormente



afectan la susceptibilidad y gravedad de los subsecuentes (Cochranes y Schulze 1999; Cochrane *et al.* 1999). Los incendios anteriores incrementan el riesgo de incendios y es necesario que se consideren en la elaboración de mapas de riesgo.

Segundo, el conocer las razones por las que se presentan los incendios, ayuda a saber cuáles son las causas directas de cada uno, y proporciona la información necesaria para orientar de una manera más eficiente las medidas de prevención. A fin de poder juzgar la efectividad de estos esfuerzos, es necesario seguir con atención el número y la causa de las igniciones. Tercero, dar seguimiento a la distribución del tamaño de las quemaduras y en qué tipo de vegetación se están efectuando, permite evaluar y llevar a cabo con efectividad las medidas adoptadas para extinguir los incendios. Una de las estadísticas más comunes que se utilizan para evaluar los esfuerzos dirigidos a combatir incendios, es el tamaño promedio del fuego año con año (calculando como área total quemada/número total de incendios). Cuarto, es importante saber qué áreas han sido afectadas; esto es particularmente relevante en el caso de los bosques tropicales siempreverdes, debido a que los incendios que se hayan presentado anteriormente, afectan la susceptibilidad y gravedad de los subsecuentes (Cochrane y Schulze 1999; Cochrane *et al.* 1999). Por lo tanto, los incendios previos afectan el riesgo al fuego de la región y deben tomarse en cuenta para la elaboración de mapas de riesgo .

A fin de juzgar la efectividad de un programa general para la prevención de incendios,

es necesario contar con una base de datos exacta y actualizada regularmente de los que hayan ocurrido. Por lo general, los incendios mayores de 100–200 hectáreas se trazan en el mapa, mientras que los más pequeños se ponen como referencia por medio de coordenadas. El tipo y la cantidad de mapas puede variar dependiendo de la importancia que se le dé a un determinado incendio o bosque. Las opciones incluyen el bosquejo de un mapa aéreo, mapeo GPS por helicóptero y escaneo de líneas térmicas en aeronave (Lee *et al.* 2000). En zonas remotas con recursos limitados, el mapeo satelital de bosques quemados puede ser la única opción razonable. Las imágenes del modelado de mezcla espectral lineal del satélite Landsat TM (Cochrane y Souza Jr. 1998) y las del Synthetic Aperture Radar ERS-2 (SAR) han mostrado ser útiles para la elaboración de mapas de los bosques tropicales siempreverdes afectados por el fuego (Siegert y Ruecker 2000). En la práctica, las imágenes AVHRR han sido poco confiables para este fin (Ariño *et al.* 2000). El *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) con su resolución espacial (250m) y radiométrica mejorada en las bandas visibles y cercanas al infrarrojo puede ser una forma económica y exacta para calcular las huellas dejadas por los incendios (Goldammer 1999).

Encontrar incendios forestales

Para poder responder a los incendios forestales en los trópicos, es necesario poder ubicarlos en el momento en que ocurran; esto no sólo consiste en buscar humo, ya que la cultura de uso de fuego y las limitaciones que hay de infraestructura y tecnología satelital hacen que la ubicación de incendios sea más difícil de lo que parece.



En los trópicos, el fuego es una herramienta importante para el manejo de la tierra. Además de usarlo para desmontar nuevas tierras, se utiliza en las tierras de cultivo cada dos o tres años (Fearnside 1990; Kauffman *et al.* 1998). Sin considerar si hay o no incendios forestales, cada año se presentará una tremenda cantidad de fuego a lo largo del terreno. Por lo general no se entiende que la mayoría de los siniestros detectados año con año no son en realidad de deforestación o incendios forestales, sino que son simples fuegos de mantenimiento en los pastizales que ya existen (Miranda y John 2000). Los incendios forestales no sólo tienen que detectarse, sino que también deben distinguirse de los miles de incendios intencionales que se encienden anualmente.

El reconocer o tomar nota de los incendios forestales puede resultar difícil incluso

para las poblaciones locales, quienes están acostumbradas a la temporada de fuego anual y a la consecuente nube de humo que cada año dura semanas, y hasta meses. Esto hace difícil distinguir los incendios forestales de otros. Como el fuego es algo tan común - aun los incendios forestales activos - es probable que la población local no los considere lo suficientemente importantes como para reportarlos. Además, quizá los incendios ocasionados por los propietarios de la tierra no sean sancionados legalmente, por lo que ni siquiera tienen un incentivo para reportar el fuego que se escapa de sus propiedades. En muchas áreas forestales fronterizas de los trópicos, la infraestructura es tal que a menudo no hay un método fácilmente accesible para combatir el fuego. Como muchos lugares son muy remotos y hay una presencia gubernamental mínima, la gente no sabe a quién contactar o dónde hacerlo.





Tanto el uso de torres de observación como de aeronaves para localizar incendios requiere de una infraestructura, y esto no necesariamente garantiza la detección. Las torres cubren un área limitada, y en un complejo mosaico de bosque con deforestación y pastizales, quizá el personal a cargo de la observación no distinga entre los incendios forestales y los otros que hay en el terreno. La detección aérea es posible, pero puede resultar excesivamente cara y limitada por el humo denso o las nubes.

Actualmente y en un futuro previsible, los sensores satelitales son las herramientas a elegir en los trópicos para la detección de incendios. Algunos sistemas satelitales importantes para este fin son los siguientes: *Advanced Very High Resolution Radiometer* (AVHRR), *Geostationary Operational Environmental Satellite* (GOES) y *Defense Meteorological Satellite Program Operational Line Scanner* (DMSP-OLS), a pesar de que los tres fueron construidos para observar las nubes y no estaban programados para detectar incendios (Elvidge *et al.* 1999).

Los sensores AVHRR, GOES y DMSP-OLS poseen diferentes potencias para la detección del fuego. El DMSP-OLS tiene una resolución espacial de 2,7km con la capacidad de recopilación de datos limitada en una resolución de 0,55km.

En los análisis comparativos realizados entre los sensores, el DMSP-OLS tuvo la tasa más alta de detección por paso; no obstante, los datos de este satélite sólo pueden usarse para la detección nocturna de incendios, y permite únicamente uno o dos pases utilizables al día (Elvidge *et al.* 1999). Además, la filtración de píxeles utilizada por el

DMSP-OLS puede sumar hasta seis veces los fuegos individuales debido a la superposición espacial (Elvidge *et al.* 1996).

A la inversa, el GOES obtuvo la tasa más baja de detección por paso, pero la probabilidad general más alta para detectar incendios debido a que es capaz de captar imágenes cada media hora. Lamentablemente, para estos fines, el GOES sólo tiene una resolución espacial de 4km (Elvidge *et al.* 1999). Los productos del GOES han sido utilizados para detectar con éxito incendios forestales en Centro y Sudamérica (Prins y Menzel 1994; Alfaro *et al.* 1999). La tasa de detección de incendios por pase del AVHRR estaba entre la de GOES y la de DMSP-OLS, ya que es capaz de percibir el fuego a la luz del día y puede hacer cuatro o más observaciones útiles diarias en una resolución espacial de 1km (Elvidge *et al.* 1999). Las imágenes del AVHRR se han convertido en la fuente de datos más ampliamente utilizada para la detección de incendios en los trópicos y se han incorporado en diversos proyectos de monitoreo. Esto se puede ver en los sitios de Internet de los gobiernos mexicano, http://www.conabio.gob.mx/mapaservidor/incendios/clave_calor.cgi, y brasileño, <http://www.cptec.inpe.br/products/queimadas/queimap.html>.

Existen varias limitaciones para utilizar esta tecnología satelital en la detección de incendios en los trópicos. Primero, hay un problema de escala; aun en el caso del AVHRR, la mayor resolución que se logra es de 1km, pero la cubierta y uso de la tierra pueden variar enormemente en esta escala. Por lo tanto dentro de una sola imagen, el AVHRR no puede separar los



incendios forestales de los agrícolas. Además, los problemas de registro de imagen de hasta 3km entre imágenes sucesivas del AVHRR pueden conducir a multiplicar el mismo incendio y a una clasificación equivocada (Arino *et al.* 2000). En un taller llevado a cabo recientemente se abordó el tema del uso de la resolución AVHRR de 1km para detectar incendios en el que se concluyó que los datos proporcionados por este satélite tienen una utilidad muy limitada. Los problemas específicos citados incluían la adquisición limitada de imágenes (por lo general cuatro al día), baja exactitud geométrica, clasificación equivocada de suelos reflectores y problemas con la contaminación de nubes. En general, los datos del AVHRR se consideran inadecuados para proporcionar cálculos confiables en la actividad del fuego y la extensión geográfica de su impacto. Sin embargo, los datos son útiles para proporcionar la ubicación general y el tiempo en que ocurren los incendios (Eva y Gutman 2000).

Después está el tema de algoritmos de detección. Los umbrales de temperatura simples pueden ser utilizados para detectar incendios (Setzer y Pereira 1991) o los algoritmos contextuales que calculan los umbrales relativos basados en estadísticas extraídas de píxeles contiguos pueden ser utilizados para clasificar imágenes (Flasse y Ceccato 1996; Justice *et al.* 1996). Los clasificadores umbral y contextual tienden a detectar diversos fuegos (Fuller y Fulk 2000). Dentro de las clasificaciones contextuales, los diferentes métodos pueden llevar a distinguir entre las capacidades de detección de diferentes tipos y tamaños de los incendios (Giglio *et al.* 1999). En cuanto a la detección del fuego, las imágenes

AVHRR presentan una dificultad peculiar con los incendios más pequeños y fríos y los más grandes y calientes, debido a los límites de umbral de detección y la saturación detectora.

La intensidad de la línea de fuego de los incendios forestales tropicales puede ser otro factor de confusión para localizarlos. Mientras que no hay duda en que el AVHRR y otros satélites pueden utilizarse





para detectar incendios, no hay garantías de cuáles serán localizados. Los incendios de deforestación pueden ser muy calientes y arder durante una semana (Kauffman *et al.* 1998). Sin embargo, es probable que los fuegos en tipos de vegetación tanto abierta como *cerrado* y los potencialmente pastizales, tengan pocas posibilidades de detección debido al nivel en el que se queman y posteriormente se enfrían (Pereira Jr. y Setzer 1996). En el caso de la primeras quemaduras en zonas forestales, la intensidad de la línea de fuego, y por lo tanto la liberación de energía, puede ser muy baja (<50kw) (Cochrane *et al.* 1999) y quizá no lo capten los algoritmos de detección AVHRR. Localizarlos es aún menos probable en clasificadores contextuales más nuevos que a menudo no pueden identificar los incendios menos intensos. Cuando los incendios de baja intensidad se extienden a lo largo de una región, pueden influir incluso en las estadísticas de discriminación de los clasificadores contextuales de tal forma que evitan la detección de los fuegos más intensos que normalmente serían localizados (Giglio *et al.* 1999).

Los satélites de alta resolución, incluyendo el *Landsat Thematic Mapper* (TM) y el *Système Probatoire pour l'Observation de la Terre* (SPOT) pueden utilizarse para detectar incendios, pero sus costos relativamente altos, sus muestreos espaciales y temporales limitados y sus archivos temporales fragmentados limitan su utilidad para la detección activa del fuego (Giglio *et al.* 1999). Este problema se exagera en los trópicos, donde las nubes y el humo pueden dificultar la recopilación de imágenes útiles. Un estudio multitemporal de fuego en los bosques tropicales sólo pudo captar

imágenes aproximadamente cada dos años (Cochrane y Souza Jr. 1998). Estas fuentes de información pueden ser útiles para ubicar los lugares donde ocurrieron los incendios, pero tendrá un uso muy limitado en la detección de fuegos activos.

Localizar incendios forestales en los bosques tropicales es muy diferente a localizarlos en regiones templadas donde las herramientas como el AVHRR y las torres de detección pueden ser de gran utilidad, ya que un punto de calor repentino en una imagen, o en una columna de humo en el horizonte a menudo indicará un fuego que requiere investigarse. Sin embargo, en los trópicos los fuegos intencionales para la preparación y mantenimiento de la tierra dominan la época de incendios. El problema que esto representa se muestra claramente en los intentos de utilizar el AVHRR de Brasil para detectar incendios a lo largo de su vasto territorio. Entre julio y noviembre de 1999, se detectaron un total de 106 107 puntos de calor. Un gran número de ellos estaba ubicado en la Amazonia oriental y meridional, con muchas celdas cuadradas que registraban entre 574 y 2 639 incendios potenciales (Miranda y John 2000). Usar imágenes del AVHRR para localizar los siniestros en las regiones templadas es como buscar estrellas en un cielo nocturno diáfano, mientras que localizarlos en los bosques tropicales es como ver el mismo cielo cubierto por nubes.

Recursos humanos

Cualquier programa de manejo de incendios requiere de bomberos profesionales capacitados. La FAO ha proporcionado asistencia técnica a muchos programas de combate a incendios a lo largo de Latinoa-



mérica desde por lo menos 1970 (Troensegaard 1990). Dichos programas, así como los de intercambio de estos profesionales en varios países de la región y del Servicio Forestal de los Estados Unidos han ayudado a establecer un equipo de bomberos capacitados en muchos países.

En Honduras, la movilización de fuerzas voluntarias, junto con el Programa Mundial de Alimentos de las Naciones Unidas (PMA), ha sido particularmente efectiva. Los alimentos fueron un incentivo para que más de 8 000 personas participaran en los esfuerzos de conservación del bosque. Incorporar a los expertos técnicos en las comunidades locales, organizar reuniones informativas, capacitar a los maestros rurales y proporcionar material relacionado con este tema a las escuelas ha sido muy positivo para implementar una estrategia de manejo de fuego integrada (Salazar 1990).

La participación del sector privado puede contribuir a la formación de grupos profesionales de bomberos. En Chile, donde la plantación forestal es una parte importante de la industria de la madera, el gobierno hizo a las industrias privadas responsables de combatir los incendios en sus propias tierras. Las fuerzas del mercado han dado como resultado la integración de brigadas de bomberos bien capacitadas y equipadas, apoyadas por el sector privado (Haltenhoff 1999). A pesar de la importancia que tiene la capacitación de bomberos profesionales, es importante que quede claramente establecido que los esfuerzos para mitigar incendios, basados exclusivamente en las brigadas que luchan contra el fuego y las legislaciones punitivas, están

Encontrar bomberos

Aun en los países desarrollados pueden hacer falta bomberos capacitados, tal y como pasó en los Estados Unidos durante el verano del año 2000. La grave época de incendios requirió del apoyo de bomberos procedentes de México, Canadá, Australia y Nueva Zelanda (NIFC, 15 de agosto de 2000), así como de varias unidades militares estadounidenses. Se solicitó a las universidades que permitieran a sus estudiantes permanecer en las líneas de fuego incluso cuando el ciclo escolar había comenzado. La población local de las zonas afectadas por el fuego, e incluso las esposas del personal del departamento forestal fueron contratadas a fin de apoyar los esfuerzos para combatir el fuego, pero la falta de "jefes de brigadas" experimentados debilitó particularmente este esfuerzo. El Servicio Forestal de los Estados Unidos solicitó a todo su personal, sin importar el cargo que tuvieran, que colaboraran como voluntarios en esas operaciones, y para soslayar la falta de personal experimentado, se solicitó a muchos bomberos jubilados que regresaran a prestar sus servicios.



condenados al fracaso (Troensegaard 1990). La población local deberá involucrarse y participar en los esfuerzos que se lleven a cabo, ya que ella es la que causa y maneja la gran mayoría de los incendios.

Infraestructura

El manejo de incendios requiere de infraestructura. Las condiciones en que se encuentre todo, desde los caminos hasta los teléfonos, afectarán la eficiencia y la velocidad de respuesta a los incendios. Asimismo, es necesario que haya un sistema de centros de control para coordinar las actividades de combate al fuego y los centros de almacenamiento para el equipo de los bomberos. Dichos centros no necesariamente tienen que tener personal durante todo el año, pero si la infraestructura no está en su lugar, entonces la velocidad y eficacia de las operaciones se verán disminuidas.

Monitorear una región para ubicar incendios puede requerir la construcción y mantenimiento de un sistema de torres de observación para quienes ubican los puntos de calor, las bases aéreas para las aeronaves contra incendios y aun los centros de antenas y de datos para bajar y procesar la información satelital.

De preferencia, las brigadas voluntarias deberán reforzar los esfuerzos de combate y manejo de incendios. La creación de dichas brigadas requiere de planeación y capacitación efectiva, deben ser reconocidas por el gobierno, y capaces de contactar y establecer una buena comunicación con el personal de la instancia gubernamental responsable del manejo de incendios.

Las comunicaciones son un elemento clave para el manejo de incendios. En muchas regiones remotas, el tiempo de respuesta podría optimizarse si mejorara el acceso telefónico. Los teléfonos públicos y la información (radio, televisión, servicios de extensión) sobre cómo contactar a las autoridades en caso de incendios, sería extremadamente útil.

Mejorar la infraestructura de la región construyendo nuevos caminos o pavimentando los que ya existen puede agravar el cambio de la cubierta de la tierra y los problemas de incendios. Dichos cambios permiten un mayor acceso a los bosques y hacen que las actividades tales como la extracción maderera selectiva sean económicamente más viables en nuevas regiones (Stone 1998). Los proyectos de construcción de caminos a gran escala pueden dar como resultado inmediato cambios enormes en la cobertura y uso de la tierra (Laurance *et al.* 2001). Debido a que las condiciones externas del fuego cambiarán con el nuevo desarrollo, la infraestructura necesaria para el buen manejo de incendios deberá tener un lugar preponderante en la medida en que crezcan las comunidades.

Respuesta coordinada

En el combate a incendios, la meta debe ser proporcionar una respuesta rápida y económica. Cuando la situación es grave, es importante la coordinación entre las diversas agencias y otros grupos *ad hoc*. Para lograrlo, es necesario que las brigadas tengan una comunicación clara, que sea fácil la integración dentro de una estructura establecida, y que manejen terminología, tácticas, equipo y capacitación común.



El *Canadian Interagency Forest Fire Center* (CIFFC) (<http://www.cifff.ca/>) proporciona este servicio, mientras que el *Australasian Fire Authorities Council* (AFAC) (<http://ausfire.com/>) integra respuestas de emergencia para Australia, Nueva Zelanda y Hong Kong. El *National Interagency Fire Centre* (NIFC) (<http://www.nifc.gov/>) en los Estados Unidos es un buen ejemplo de lo que puede lograrse.

El NIFC, ubicado en Boise, Idaho, es el centro de apoyo en los Estados Unidos para combatir incendios; está integrado por varias agencias federales, que incluyen la Oficina de Asuntos Indios, la Oficina del Manejo de la Tierra, el Servicio Forestal, el Servicio de Pesca y Fauna Silvestre, el Servicio de Parques Nacionales, el Servicio Meteorológico Nacional y la Oficina de Servicios Aéreos. Su objetivo es trabajar conjuntamente y apoyar las operaciones de desastre y contra incendios forestales.

Cuando se agrava la situación de incendios a nivel nacional, el grupo MAC se activa. Este grupo lo integran los directores de cada una de las agencias federales de combate a incendios forestales, que está ubicado en NIFC. En algunas ocasiones participan representantes de la Administración de Servicios Generales, militares estadounidenses y grupos forestales estatales. Dependiendo de la situación de los incendios a nivel nacional, el grupo MAC ayuda a establecer las prioridades en cuanto al equipo, víveres y personal crítico y potencialmente escaso. La asociación con las agencias estatales, locales y rurales ayuda en el combate al fuego y a los desastres; asimismo, NIFC tiene un acuerdo de asistencia mutua con Canadá y solicitó apoyo

de México, Australia y Nueva Zelanda durante la época de incendios del año 2000. El NIFC proporciona apoyo a otros países cuando solicitan sus servicios a través de la Oficina del Departamento de Estado para la Asistencia en Desastres en el Exterior.

Las agencias federales en NIFC y la Asociación Nacional de Guardabosques Estatales son miembros del Grupo de Coordinación Nacional contra Incendios Forestales (NWCG por sus siglas en inglés). Las Secretarías del Interior y de Agricultura crearon este grupo en 1976 con el objeto de facilitar el desarrollo de prácticas, estándares y capacitación comunes.

Es necesario formar entidades similares a lo largo de Latinoamérica y el Caribe, ya que ni una sola nación cuenta con los recursos humanos, materiales y financieros para enfrentarse sola a incendios graves. Las entidades a cargo de la coordinación para combatir el fuego en estos países deberían establecer Memorandos de Entendimiento formales; además, los programas de interacción e intercambio/capacitación de personal deberán ser fomentados por medio de las agencias internacionales. Los países de la región también deben trabajar en el desarrollo de equipo intercambiable, así como estándares, prácticas y capacitación comunes.

Herramientas para el pronóstico de incendios

Herramientas para alerta temprana

Los sistemas de alerta temprana son los componentes esenciales de un sistema para el manejo del fuego. De preferencia,



éstos deberán integrar información acerca del clima, resequedad de la vegetación, detección y expansión de incendios, a fin de proporcionar una medida simple de la situación del fuego. Dependiendo de la complejidad del sistema, el índice puede incorporar información sobre la cubierta de la vegetación, valores en riesgo y resultados modelo para la ocurrencia y el comportamiento del fuego (Goldammer 1999).

Evaluación de riesgo de incendios

El poder evaluar el potencial de un incendio que va a comenzar o a expandirse es fundamental para un programa de manejo de siniestros. Muchos componentes, tales como las condiciones meteorológicas, climatológicas y de combustible se combinan para dar una amplia imagen de los riesgos actuales de fuego a lo largo del terreno.

Monitoreo de las condiciones climatológicas del fuego

Para entender la situación del fuego en una determinada región, se deben conocer las condiciones climatológicas actuales. En los sistemas de monitoreo meteorológico más comunes, los mapas se hacen basándose en los informes cotidianos de todas las estaciones meteorológicas. Las lecturas por lo general se realizan al medio día o temprano por la tarde, e incorporan esta información con la velocidad y dirección promedio del viento, el total de precipitaciones durante 24 horas, temperatura, humedad relativa y temperatura de condensación. La información de las diferentes estaciones meteorológicas se intercala para crear los mapas de las posibles condiciones a lo largo de la nación o de la región

de interés. La exactitud espacial de los mapas que de esto surjan será un reflejo directo de la densidad espacial de las estaciones meteorológicas.

Los Estados Unidos tienen 1 500 de estas estaciones que operan en su Sistema para el Manejo de Información Meteorológica (WIMS por sus siglas en inglés), el cual puede consultarse en <http://www.fs.fed.us/land/wfas>. Canadá muestra mapas similares relacionados con su sistema de peligro de incendios en Internet (<http://tms.nofc.cts.nrcan.gc.ca/cwfis/index.html>). En Latinoamérica, el sistema de México puede consultarse en <http://fms.nofc.cfs.nrcan.gc.ca/mexico/index.html> y el de Brasil en <http://www.cptec.inpe.br/products/queimadas/queimap.html>

La jerarquía de los servicios de pronóstico meteorológico de incendios forestales (Reifsnnyder 1978) incluye:

- Avisos meteorológicos de incendios: por lo menos una oficina de pronóstico meteorológico para proporcionar servicios de información sobre incendios, deberá ser capaz de emitir pronósticos sobre las condiciones de sequía y/o vientos que puedan ocurrir durante las épocas de incendios.
- Pronósticos de peligro de incendios: si la organización responsable del manejo del fuego de un país tiene un sistema operativo para la estimación del peligro de incendios, entonces los pronósticos meteorológicos deberían incluir todos los elementos específicos del clima que se utilizaron para hacer las estimaciones en este rubro. Esto



puede incluir los eventos climatológicos regionales especiales.

- Servicios de pronóstico en sitio: en las agencias para el manejo del fuego altamente desarrolladas, se puede requerir una unidad meteorológica de fuego dedicada para operar en el lugar donde haya fuegos encendidos o planeados. El personal puede utilizar equipo de observación móvil para hacer pronósticos sobre las condiciones en que se encuentran los lugares inmediatos alrededor del incendio.

Humedad del combustible muerto

Para poder pronosticar si un fuego puede encenderse o extenderse, es necesario conocer el contenido aproximado de humedad del combustible. La humedad del combustible muerto responde a las condiciones del medio ambiente circundante en función de su tamaño, forma y exposición. Por lo general, los combustibles se dividen en categorías de intervalos de 1 hora, 10 horas, 100 horas, y 1 000 horas, basados en el diámetro (0-0,62, 0,62-2,54, 2,54-7,62, >7,62 cm).

Los cálculos de la humedad del combustible se hacen de la siguiente manera:

1 hora:

combustibles finos – responden rápidamente a los cambios climatológicos. Los niveles de humedad se calculan con base en la temperatura, humedad y nubosidad durante el tiempo de observación.

10 horas:

la humedad se calcula con base en la temperatura, humedad y nubosidad durante el tiempo de observación.

100 horas:

los niveles de humedad se calculan con base en una condición límite promedio de 24 horas formada por la duración del día, las horas de lluvia y la temperatura diaria/rangos de humedad.

1 000 horas:

los niveles de humedad se calculan con base en las condiciones límite promedio de siete días formadas por la duración del día, las horas de lluvia y la temperatura diaria/rangos de humedad.

Humedad del combustible vivo

Para poder pronosticar cómo la vegetación verde contribuirá con un fuego, es importante conocer el contenido de humedad del combustible vivo. Para el pronóstico, esto significa la humedad de las hojas. El contenido de la humedad del combustible vivo se basa en el peso seco y generalmente varía de 50 a 250 por ciento. Debido a las grandes cantidades de aceite y resina que contienen los combustibles vivos, pueden volverse inflamables en valores por debajo del 120 por ciento y las llamas en las copas son posibles en valores de humedad por debajo del 100 por ciento (Agee 1998).

Verdor relativo

El verdor relativo lo establece el *Normalised Difference Vegetation Index* (NDVI) (Goward *et al.* 1990), el cual se calcula basándose en los datos obtenidos por el *Advanced Very High Resolution Radiometer* (AVHRR). La base para calcular el verdor relativo son los datos históricos NDVI (de 1989 a la fecha) que definen los valores NDVI máximos y mínimos observados en cada píxel. Así, el verdor relativo (VR) indica qué



tan verde está actualmente cada píxel en relación con el rango para este propósito de observaciones históricas NDVI. Los valores VR se miden en una escala de 0 a 100, con valores bajos indicando que la vegetación ya se encuentra o está cerca de su verdor mínimo.

Específicamente, el algoritmo es:

$$VR = (ND_o - ND_{mn}) / (ND_{mx} - ND_{mn}) \times 100$$

Las variables son:

ND_o = valor NDVI más alto observado durante el período compuesto de una semana.

ND_{mn} = valor NDVI mínimo histórico para un determinado píxel.

ND_{mx} = valor NDVI máximo histórico para un determinado píxel.

El propósito de utilizar el verdor relativo es definir la proporción de vegetación viva y muerta, y debido a que está basado en datos del AVHRR, el mapa de verdor relativo tiene una resolución de 1km (Burgan *et al.* 1998).

Los mapas NDVI para los bosques tropicales siempreverdes pueden tener un valor limitado, ya que los valores tienden a saturarse por encima de cuatro en los Índices de Área de Follaje (LAI por sus siglas en inglés). Los valores LAI típicos en estos bosques tropicales a menudo son de cinco a seis.

Mapas de sequía

Los índices de sequía responden a la falta de equilibrio en el flujo de agua durante períodos que comprenden días, semanas

o incluso años. El más simple de estos índices es una hoja de balance que muestra la diferencia de la precipitación total y la evapo-transpiración total durante un determinado período. El Índice de Sequía Keetch-Byram (KBDI por sus siglas en inglés) es el más utilizado. La base de la medida es la deficiencia de humedad relativa creada en las capas de la hojarasca profunda o del suelo superior cuando la evapo-transpiración excede la precipitación. El índice de sequía proporciona un valor numérico relacionado con la inflamabilidad del material orgánico en el suelo. El índice se calcula con base en la temperatura diaria máxima, la precipitación diaria, previa y anual, y está ligada a una supuesta capacidad de suelo de 20cm. El KBDI normalmente se presenta como un rango de 0 a 800 (Keetch y Byram 1968), el cual equivaldría de 0 a 2 000 en unidades métricas. Los valores pueden interpretarse aproximadamente así:

KBDI = 0-200 (0-500): La humedad del suelo y la de los combustibles grandes es muy alta y no contribuye mucho a la intensidad del fuego.

KBDI = 200-400 (500-1 000): Las capas de humus y hojarasca más bajas contribuyen de manera activa a la intensidad del fuego.

KBDI = 400-600 (1 000-1 500): Las capas de humus y hojarasca más bajas contribuyen en gran medida a la intensidad del fuego y se quemarán activamente.

KBDI = 600-800 (1 500-2 000): A menudo asociado con sequía grave e incremento de los incendios forestales. Se pueden espe-



rar incendios que queman profunda e intensamente con fuertes vientos. Asimismo, es de esperar que en estos niveles los combustibles vivos se quemen activamente.

Es probable que los índices tales como el KBDI no sean los más apropiados para los incendios en los bosques tropicales debido a su propiedad de raíces profundas. Se están haciendo pruebas con un modelo preliminar de balance del agua para los bosques de la Amazonia que utiliza profundidades de suelo de 10cm. (Nepstad *et al.* 1999). Hasta ahora no hay ningún índice definitivo asociado con el mapa generado por este modelo.

Mapas indicadores de peligro de incendios

Los mapas indicadores de peligro de incendios son la recopilación de la información climática actual y previa, los tipos de combustible y el estado en que se encuentra la humedad del combustible vivo y muerto. Estos mapas incorporan la información de muchos otros mapas e información secundaria (por ejemplo, tipo de combustible, niveles de fuerza de trabajo y su capacidad para combatir el fuego, etc.) para proporcionar un índice de riesgo o gravedad potencial de incendios. Un índice que ha sido utilizado en Australia es el Índice de Peligro de Incendios McArthur (Loane y Gould 1986). En los Estados Unidos, este índice se convierte en el Sistema Nacional para la Evaluación de los Indicadores de Peligro de Incendios (NFDRS por sus siglas en inglés); la versión canadiense es el Sistema Canadiense de Pronóstico del Comportamiento de los Incendios Forestales (FBP por sus siglas en inglés) (Hirsch 1996).

Mapeo de riesgo de incendios

A fin de evaluar la situación de los incendios, es necesario conocer el riesgo de ocurrencia de los siniestros, así como lo que en realidad está en riesgo. Los esfuerzos de prevención pueden ser dirigidos a las áreas que presentan un alto riesgo al fuego, mientras que los esfuerzos de combate pueden concentrarse donde los incendios amenacen regiones con un valor o importancia particular. La clave de este proceso es mantenerse informado acerca de la cantidad y el estatus de los combustibles potenciales que haya a lo largo del terreno.

En el caso de los bosques perturbados (por ejemplo, los que han sido previamente talados o quemados) y de los sistemas agrícolas, se puede utilizar una simple medida del número de días consecutivos sin lluvia para pronosticar la susceptibilidad al fuego (Uhl y Kauffman 1990; Holdsworth y Uhl 1997; Cochrane y Schulze 1999). Para el interior de los bosques vírgenes, se debería utilizar en los trópicos un índice de sequía similar al de Keetch-Byram a fin de pronosticar el riesgo de incendios. Dicha información no sería suficiente para pronosticar el riesgo de incendios en todos los bosques, pero en el caso de los tropicales, permitirá a las autoridades a cargo del manejo de incendios calcular el momento en que los bosques vírgenes pueden quemarse. Este conocimiento es necesario para saber cuándo están dadas las condiciones para incendios a muy gran escala, tales como los que ocurrieron en Roraima, Brasil y al sur de México en 1998.

En las regiones tropicales será importante conocer el estatus y la distribución de la



cubierta del terreno, ya que esto permite generar mapas razonablemente exactos y actualizados del terreno cambiante. Es importante saber dónde está la gente y para qué cultivo u otras actividades se utiliza la tierra. Más aun, es importante saber dónde está ocurriendo la deforestación y la tala. Aunque la deforestación aparece en las imágenes satelitales, los daños de la tala selectiva han sido difíciles de detectar. Recientemente se han desarrollado técnicas (Souza Jr. y Barreto 2000) y han sido aplicadas en áreas tan grandes como la Amazonia brasileña (Janeczek 1999). En Brasil, un escáner de línea y una cámara digital montados en un avión de la Fuerza Aérea Brasileña y han sido usados para elaborar con éxito mapas de la tala y la deforestación en la Amazonia (Sandberg 1998). Los mapas de la cubierta del terreno también deberían incluir cualquier área boscosa que se sepa que ya ha sido quemada.

Los mapas de la cobertura de la tierra pueden utilizarse como un recurso tanto para la prevención como el combate de incendios. Por ejemplo, en áreas donde se planea hacer nueva deforestación o mantenimiento de pastizales, se puede tomar en consideración la proximidad y estatus de los bosques para determinar cuántos esfuerzos de prevención contra incendios son necesarios. Si la quema que se planea llevar a cabo es cerca de los bosques talados o quemados previamente, entonces se deberán tomar precauciones adicionales para prevenir incendios. A la inversa, un mapa de la cobertura del terreno puede ayudar a combatir los incendios al ilustrar las áreas que estén en riesgo. Por ejemplo, con pocos recursos para el combate al fuego, un coordinador podría elegir

cuáles cultivos perennes o plantaciones amenazadas protegería, o evitar que un fuego entre en una extensa área de bosques talados. Los mapas de la cobertura de la tierra son una fuente de información que puede ayudar a los profesionales a manejar mejor el fuego a lo largo del terreno.

Herramientas para la detección y el monitoreo de los incendios

La detección y monitoreo de los incendios es una parte esencial para el manejo del fuego. En la forma más simple, el monitoreo del fuego activo puede realizarse patrullando sistemáticamente una región; en muchos casos, las patrullas son respaldadas por torres dedicadas a la observación de incendios. Por lo general, éstas se colocan de tal manera que se pueda aprovechar la topografía local (por ejemplo, colinas y cerros). El personal que monitorea una región buscando posibles incendios, generalmente cuenta con equipo para determinar la dirección y distancia aproximada a cualquier columna de humo que se ubique. El equipo de comunicaciones también es necesario para que la información se transmita a un centro de control de incendios. Tanto como sea posible, las torres de observación deberán proporcionar campos visuales entrecruzados de tal manera que se pueda dar más de un apoyo para resolver cualquier fuego individual. La gente local, con poca capacitación, puede atenderlas.

El uso de aeronaves y helicópteros para la detección aérea de incendios es otra opción que es particularmente útil para hacer observaciones iniciales de las condiciones



Cuadro 7. Capacidades y costos comparativos en las diferentes opciones que existen para combatir incendios.

Método de combate al fuego									
	Cuadrilla terrestre		Aeronaves						
	Cuadrillas Herramientas manuales	Cuadrillas máquinas	Helicópteros				Aeroplanos		
Bell 206 (agua)			Bell 212 (retardador)	Thrush Commander (retardador)	Canadair CL-215 (agua)	Grumman Tracker (retardador)	DC-6 (retardador)	Hércules MAFFS (retardador)	
Incendio a distancia retardadora (km)			6	10	25	25	75	150	150
Volumen del tanque retardador (litros)		4 000	340	1 362	1 500	5 455	3 545	11 365	11 355
Longitud neta de la línea de fuego (m)			71	217	166	135	241	490	460
Tiempo entre descargas (min)			10.5	17.6	28.7	19	45.4	72.1	65.6
Velocidad de construcción de la línea de fuego (m/hr)	350	1000	405	740	347	426	318	408	420
Costo relativo * cost/hr	1.0	3.3	4.3	23.9	9.5	32.8	27.4	54.7	79.7
cost/m de línea de fuego	1.0	1.1	3.6	11.2	9.7	26.7	30.0	46.7	66.1

Fuente: Adaptados de Loane y Gould (1984). Herramientas para el combate y evaluación de los siniestros.

Nota: Cuadrillas de trabajadores manuales: seis hombres. Cuadrillas con maquinaria: nueve hombres con *bulldozer*, tanque y unidades ligeras de apoyo. Todos los costos de comparación para aeronaves y cuadrillas en tierra incluyen gastos de viaje a y desde el sitio del incendio.

* Los costos relativos se basan en información de Loane y Gould (1984) que mostraban cifras en dólares por hora y metro de línea de fuego, en dólares australianos de 1983. Los costos relativos se calcularon dividiendo todos los costos originales entre el costo de cuadrillas de trabajo manual, a fin de obtener tarifas proporcionales (por ejemplo, usando un helicóptero *Bell 212* con costos retardantes 23,9 veces el equivalente de una cuadrilla de manuales por hora, pero solamente 11,2 veces el equivalente por metro de línea de fuego).

del fuego. También muchas aeronaves pueden apagar incendios; sin embargo, son muy costosas y es necesario que se construya una infraestructura adecuada. El personal para pilotear y mantener la nave necesita estar muy bien capacitado. En el cuadro 7 se muestra un ejemplo que compara los costos para combatir los incendios en la tierra y en el aire (Loane y Gould 1986). Aunque los valores pertenecen a incendios en matorrales, dan una idea de

los gastos relativos para combatir el fuego en el terreno *versus* en el aire. Cabe señalar que en la mayoría de los países en desarrollo los costos de la mano de obra serán mucho más bajos, y los de mantenimiento de los aviones bastante más altos de lo que se muestra se el cuadro. Además, los costos aéreos se calculan sobre la base de que existen una gran infraestructura que incluye bases aéreas a una distancia de 40-60km de los incendios, y



fuentes de agua disponibles en un radio de 10-30km de todos los incendios. La eficacia de esta técnica será menor en los bosques tropicales siempreverdes debido a su denso follaje y a la dificultad de ver las líneas de fuego. Quizá sea posible obtener una máxima utilidad y rentabilidad si se utilizan aeronaves tales como helicópteros que pueden usarse para la detección, combate y transporte de bomberos. Las brigadas de tierra por lo general son más económicas, pero el apoyo aéreo puede ser muy útil para dar una respuesta inicial a incendios más remotos.

Entre los sistemas satelitales, los sensores AVHRR, el GOES y DMSP-OLS tienen diferentes capacidades para detectar incendios. El DMSP-OLS cuenta con una resolución espacial de 2,7km, pero está limitado a la detección nocturna del fuego (Elvidge *et al.* 1999); además, la filtración de píxeles utilizada por el DMSP-OLS puede sumar hasta seis veces los fuegos individuales debido a la sobreposición espacial (Elvidge *et al.* 1996) y conducir a un conteo adicional (Fuller y Fulk 2000). A la inversa, GOES es capaz de recopilar imágenes cada media hora. Desafortunadamente, para los fines de detección de incendios, el GOES sólo tiene una resolución de píxeles de 4km (Elvidge *et al.* 1999). El AVHRR es capaz de detectar el fuego a la luz del día y puede hacer cuatro o más observaciones al día en una resolución espacial de 1km (Elvidge *et al.* 1999).

Asimismo, el *Tropical Rainfall Measuring Mission Visible and Infrared Scanner* (TRMM-VIRS) ha demostrado recientemente ser similar al AVHRR para los estos propósitos. Las imágenes del TRMM-VIRS

pueden ser muy útiles para detectar incendios extraordinariamente grandes o intensos (Giglio *et al.* 2000).

Otro nuevo sensor que promete ser adecuado para detectar y monitorear incendios es el *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS). Este sensor tiene una capacidad incrementada para imágenes de resolución gruesa, con 36 bandas espectrales individuales entre 0,4m y 14,3m en resoluciones espaciales de 250m a 1 000m. Las plataformas MODIS deberían proporcionar de dos a cuatro pases al día y tener niveles de saturación incrementados a fin de que puedan mejorar sus capacidades para monitorear incendios. Además, la resolución espacial (250m) y radiométrica de MODIS mejorada en las bandas visibles y cercanas a infrarrojos, aumentarán la exactitud de los cálculos sobre las huellas que hayan dejado los incendios anteriores (Goldammer 1999).

Los sensores futuros para la detección incluyen el BIRD y el FOCUS (Goldammer 1999; Oertel *et al.* 2000). El *Bi-Spectral Infrared Detection Mission* (BIRD) utilizará un pequeño satélite para probar una nueva generación de sensores de matriz infrarrojos que proporcionen mejor capacidad de análisis para eventos de Alta Temperatura (HTE por sus siglas en inglés). El FOCUS estará en la Estación Espacial Internacional del 2003 al 2005 como una plataforma montada al exterior para observar latitudes altas (40 - 52). Se espera que tanto BIRD como FOCUS proporcionen información acerca de la temperatura de la superficie, el área y la ubicación geográfica de los incendios con una exactitud espacial de 300m. Además, el FOCUS deberá proporcionar:



- temperatura del gas.
- relación CO/CO₂ como un indicador de la eficiencia de la combustión y del tipo de fuego.
- contenido en la columna de gases del incendio, tales como CO, NO, CH₄, H₂O, CO₂, SO₂.
- CH₄/CO, NO/CO₂ y relaciones aerosol/CO.
- perfiles de temperatura y humedad, profundidad óptica, aerosol del humo y columnas más grandes.

Herramientas de combate y evaluación de incendios

Comportamiento del fuego y modelos de propagación

El FARSITE (Finney 1998) y el BEHAVE (Burgan y Rothermel 1984, Andrews 1986, y Andrews y Chase 1989) proporcionan métodos para simular el comportamiento del fuego en áreas de hasta varios miles de hectáreas.

El BEHAVE es la combinación de un modelo de combustible y de uno de pronóstico de comportamiento del fuego. El programa es modular y puede ser utilizado para una gran variedad de tareas, desde el pronóstico de tiempo real del comportamiento de los incendios, hasta el envío de ataque inicial de las brigadas contra incendios (Andrews 1986). Cada módulo requiere la información acerca de las condiciones ambientales (por ejemplo, modelo de combustible, humedad del combustible, etcétera) para que éste a su

vez dé salida al comportamiento del fuego o las opciones de respuesta. El modelo y la literatura del BEHAVE están disponibles en el Servicio Forestal de los EE.UU. Actualmente se está revisando el Pronóstico de Comportamiento del Fuego y el sistema de Modelo de Combustible de BEHAVE. El nuevo modelo ha expandido las capacidades y ahora se denomina Sistema de Modelo de Fuego BehavePlus. La información más reciente sobre este modelo se puede encontrar en <http://fire.org/>.

El FARSITE incorpora los modelos existentes de fuego de superficie, fuego en las copas de los árboles, aceleración del fuego en la fuente de radiación puntual, ubicación y humedad del combustible. El modelo utiliza datos de entrada sobre elevación, inclinación, aspecto estacional, modelo de combustible, cobertura de las copas de los árboles, altura de las copas, altura desde la base de las copas y densidad aparente, con el objeto de parametrizar y pronosticar el comportamiento del fuego y la propagación bidimensional (Finney 1998). El software de FARSITE y la guía para los usuarios están disponibles para bajarse gratuitamente en <http://www.montana.como/sem>.

Mapeo satelital de las quemadas forestales

Es fundamental hacer mapas de los bosques quemados con el objeto de poder calcular las estadísticas de incendios y entender de manera general qué tan importante es la perturbación del fuego en una región. En los países en desarrollo, existe una cantidad de opciones para elaborar mapas de los fuegos activos y hacer evaluaciones. Los incendios de más de 100-200



hectáreas por lo general se trazan en el mapa, mientras que se hace referencia a los más pequeños por medio de coordenadas de punto. El tipo y la calidad de mapas de incendios varían dependiendo de la importancia del fuego o del bosque, pero las opciones incluyen mapeo de bocetos aéreos, mapeo en helicóptero GPS y escaneo de la línea térmica aérea (Lee *et al.* 2000). En áreas remotas, particularmente en los países en desarrollo donde los recursos humanos y físicos (por ejemplo, aviones) son escasos, el mapeo satelital de dichos acontecimientos es deseable y necesario.

Determinar qué bosques forestales se han quemado y dónde se encuentran, no es un ejercicio sencillo. De preferencia, los incendios serían trazados en mapas por medio de imágenes satelitales de bajo costo, recopiladas frecuentemente. Hay varios algoritmos que han intentado calcular el área quemada con la imágenes del AVHRR, pero estas evaluaciones han mostrado ser difíciles debido a que el área quemada atribuible a un punto de calor no puede determinarse con seguridad (Arino *et al.* 2000).

Las huellas de los incendios en imágenes de resolución más alta de los bosques tropicales han sido reconocidas y reportadas (por ejemplo, Gir y Shrestha 2000). No obstante, estas huellas a menudo son muy pasajeras en estas imágenes debido a la rápida regeneración del bosque (Stone y Lefebvre 1998). Se ha desarrollado una aproximación del modelo de mezcla espectral lineal de subpixel que puede ubicar y clasificar con exactitud los bosques tropicales que han sido impactados, basándose en la fracción de la vegetación no fotosintética (por ejemplo, hojas muertas, ramas,

etcétera) (Cochrane y Souza Jr. 1998). La técnica está limitada a detectar incendios que tienen uno o dos años y ha permitido valoraciones de impactos causados por el fuego en los análisis integrados de imágenes múltiples en la misma región durante varios años (Cochrane *et al.* 1999). Más recientemente se ha demostrado la eficacia de las imágenes del ERS-2 *Synthetic Aperture Radar* (SAT) para elaborar mapas de las zonas quemadas en los bosques tropicales siempreverdes (Siegert y Rucker 2000). De alguna manera, el método confunde la humedad, así que la información climatológica de las regiones de estudio es crucial, y aún no se sabe durante cuánto tiempo las marca de los incendios en la imágenes del SAR pueden ser aparentes. Sin embargo, el muestreo del SAR ocurre cada mes y hace que esta técnica sea muy prometedora para el mapeo periódico de las huellas de incendios en los bosques tropicales.

Las técnicas de fusión de datos, combinando la información de la detección de incendios activos (por ejemplo, el AVHRR) con datos de alta resolución óptica y del SAR pueden ser la mejor forma para determinar las huellas de los incendios utilizando la tecnología actual (Arino *et al.* 2000). La necesidad de muestreo de alta frecuencia que utiliza imágenes de alta resolución hace que el mapeo de los incendios forestales en los trópicos sea caro y de intenso trabajo. Cuando sea posible, dicho trabajo deberá combinarse con el uso actual y las clasificaciones de la cobertura de la tierra (por ejemplo, deforestación, extracción maderera selectiva, retoño del bosque, etcétera). La necesidad de información auxiliar actualizada para mejorar la interpretación



adecuada de la información sobre incendios de las imágenes satelitales, ha sido advertida previamente (Jacques de Dixmude *et al.* 1999).

Materiales estacionarios

Es importante que los materiales contra el fuego que se requieren estén listos en los lugares apropiados durante la época de incendios. Los encargados de los suministros necesitan poder determinar aproximadamente cuánto material será necesario, así como dónde estará ubicado y a partir de qué fecha. Habrá una cierta cantidad de errores dentro del proceso, pero es probable que en muchos lugares ya exista la información. En la mayoría de las regiones de Latinoamérica, la época de incendios está bien definida y es bastante conocida, de tal manera que en países o regiones administrativas más pequeñas, esto puede ser lo único necesario para la planeación. En regiones y países más grandes que tienen diversos climas y épocas de incendios a lo largo de su territorio, esta información no será suficiente. Las herramientas tales como base de datos históricos de los puntos de calor del AVHRR pueden utilizarse para trazar la distribución típica de los eventos de ignición tanto en espacio como en tiempo dentro del terreno. Los índices de sequía, los mapas de la cobertura de la tierra y la información climatológica del fuego pueden mejorar aún más esta información al indicar las regiones más susceptibles al fuego. El riesgo de incendios puede estimarse combinando la información histórica sobre dónde pueden ocurrir los eventos de ignición, con el conocimiento de cuáles bosques son actualmente más vulnerables al fuego. Entonces, los materiales para combatir el fuego pueden estar

disponibles en las regiones en las que se considere que tienen mayor riesgo de incendios. Los pronósticos de riesgo de incendios también pueden utilizarse con fines de prevención o para proscribir el uso del fuego en una determinada localidad.

La efectividad de los programas nacionales contra incendios en los países en desarrollo se ha reducido a menudo por el costo y la disponibilidad limitada de equipo para





combatir el fuego. Hasta las herramientas manuales más básicas se vuelven extraordinariamente caras cuando deben importarse de los países desarrollados y pagarse con moneda extranjera. Las demoras son otro factor que debe tomarse en consideración. El desarrollo de la capacidad de la producción a nivel local es crucial para que el programa de manejo de incendios de una nación tenga éxito. Debe convertirse en una prioridad de asistencia técnica a fin de que esas herramientas puedan fabricarse en el país (Troensegaard 1990).

Los materiales deberán estar a la mano en las regiones susceptibles al fuego para poder dar una respuesta rápida y efectiva a los incendios. Esto requiere de cierta habilidad para pronosticar cuándo y dónde ocurrirán los incendios, de tal manera que las personas a cargo de la toma de decisiones puedan asignar a los pocos bomberos capacitados y el equipo especial para combatir el fuego (por ejemplo, helicópteros y aviones) para dar una respuesta a nivel nacional durante todo el año.

Limpieza

La logística para el manejo del fuego y las respuestas coordinadas a los incendios han sido desarrolladas y probadas hasta cierto punto por diversos países como Canadá, Estados Unidos, Australia. Hasta donde sea posible, dicho conocimiento deberá adaptarse y aplicarse en las regiones tropicales de los países en desarrollo, teniendo siempre presente sus realidades físicas y culturales.

Para cualquier programa relacionado con el manejo del fuego, las prioridades en el trópico deben ser la prevención y la educación.

Es necesario que las capacidades de detección de incendios puedan localizar el fuego, así como discriminar los fuegos (como los de manejo de la tierra) de aquellos que han escapado y los incendios forestales. La detección satelital puede ser particularmente efectiva en las áreas más remotas si se cuenta con el apoyo de la gente de la localidad.

Localizar los incendios en los bosques tropicales puede resultar difícil aun en el caso de que se sepa que existen. Es probable que la vegetación de los bosques tropicales sea muy densa y relativamente impenetrable para las fuerzas terrestres que no conozcan esos bosques. En muchos casos, especialmente cuando se emplean bomberos de otras regiones, habrá un miedo considerable a enfrentarse con la fauna salvaje, a desorientarse o a perderse. Además se preocuparán por las enfermedades causadas por los insectos (como malaria y dengue) y por el agua (como el cólera y la hepatitis). Estas son posibilidades reales y deben tomarse en consideración en los planes de capacitación y de contingencia.

La detección y el combate aéreo del fuego en los bosques tropicales puede ser determinante, pero problemático. En las regiones que tienen nubes de humo muy extensas y pocas bases aéreas potenciales, el uso de las fuerzas aéreas estará muy limitado en las condiciones de fuego más severas. En muchos casos, la detección desde el aire será de gran utilidad, pero esas fuerzas necesitan poder registrar de manera efectiva las posiciones y comunicarse con las unidades en tierra y las entidades a cargo de la coordinación. Además, las fuerzas capacitadas deberán poder descender y penetrar en las copas



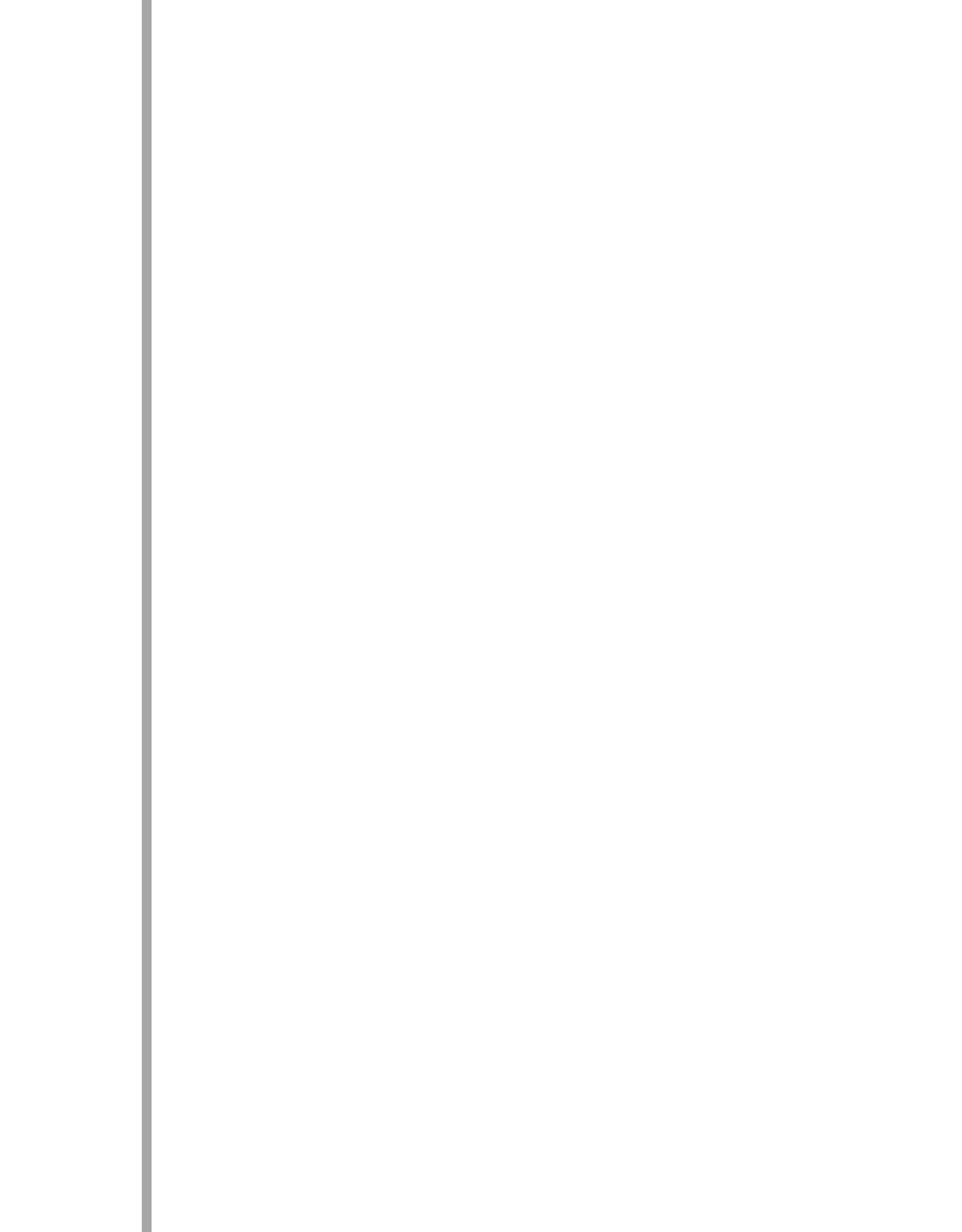
de los árboles a fin de poder abrir los sitios de aterrizaje para desplazar y reabastecer las fuerzas terrestres a cargo del combate al fuego. Los esfuerzos para combatir el fuego desde el aire a menudo se verán obstaculizados por las copas de los árboles, que pueden dispersar el humo y oscurecer la línea directa de la vista; además, interceptarán gran cantidad del agua y de los agentes extintores.

Tanto para las fuerzas aéreas como para las terrestres, el acceso al agua puede ser un problema importante en estas operaciones. Tal como se vio en México y en Roraima, es muy probable que los incendios en los bosques tropicales siempreverdes ocurran durante períodos de sequía extensa, cuando muchos de los pozos, arroyos y otros recursos acuíferos estén secos. Se dedicaron grandes cantidades de recursos y de tiempo a desarrollar fuentes de agua accesible al tratar de extinguir los incendios en Roraima, Brasil.

La velocidad de respuesta es crítica. El hecho de que los incendios en los bosques tropicales se extiendan de manera relativa, no debería conducir a la complacencia. En la misma medida en que crece el área quemada, aumenta la posibilidad de que los incendios contacten grandes cantidades de material combustible. Las operaciones de limpieza después de todos los incendios son importantes para asegurarse que no se volverán a encender. Esto es particularmente importante en los bosques tropicales y puede consumir mucho tiempo.

Los fuegos pueden arder durante semanas o incluso meses, y surgir cuando se pensaba que se habían extinguido por

completo. El hecho de que los incendios en los bosques tropicales tienden a consumir la capa de humus del bosque y a dejar una base de combustible discontinua, lleva a pensar que las operaciones de limpieza sólo necesitan concentrarse en los troncos que cayeron y los árboles cercanos al perímetro exterior donde quemó el fuego y las secciones no quemadas del bosque cercano. Esta es una buena respuesta inicial, pero no es suficiente. Hasta los combustibles que estén ardiendo y que se encuentran lejos de otras fuentes inflamables pueden llevar a la reignición. El crecimiento de la vegetación en los bosques tropicales a menudo es exuberante; el follaje de los árboles destruidos durante el fuego inicial puede comenzar a cubrir el terreno con una nueva capa de combustible en pocos días (Cochrane *et al.* 1999). Este proceso ha dado como resultado hasta tres incendios en una sola área en un determinado año (Cochrane y Schulze 1999) pues los fuegos van y vienen en las capas humus acumuladas. La única forma de evitarlo es hacer una búsqueda detallada de toda el área, verificando cada tronco caído y cada árbol de pie, y buscando particularmente en los árboles huecos evidencia de cualquier indicio de fuego. Si éste se contiene rápidamente, entonces las operaciones de limpieza serán mínimas, pero si se permite que quemen áreas importantes de bosques tropicales siempreverdes, entonces el tiempo y los recursos humanos para llevar a cabo esta labor se incrementan sustancialmente.



Conclusiones

La situación de los incendios es grave en muchos de los bosques tropicales siempreverde de América Latina y el Caribe.

La propagación de los fuegos en 1998 dañó la tierra en extensas áreas boscosas cercanas a ecosistemas humanos. Todos estos bosques - como los talados selectivamente y los afectados por huracanes - se encuentran en riesgo de fuegos recurrentes en la próxima década.

Los daños en la tierra afectada permanecen a lo largo del tiempo. La degradación anual del bosque (por tala, quema, fragmentación, eventos naturales) se transfiere al futuro. Los bosques tropicales se transforman constantemente de pequeños terrenos de incendios controlados a vastas áreas de bosques expuestas a fuegos cercano. De esta forma se crea un vínculo progresivamente vulnerable y proclive al fuego. Esto significa que la situación de los incendios en cualquier lugar habitado puede empeorar cada año. Es relativamente fácil alejar los incendios de los bosques vírgenes, pero una vez iniciado el proceso de avance dentro del bosque, será difícil detenerlo. El fuego tiene un momentum en los bosques tropicales siempreverdes. Este hecho es subestimado por la población local, los que toman las decisiones, los controladores de incendios y por los científicos.

Los controladores de incendio y quienes toman las decisiones deben enfrentar la realidad de los fuegos en los bosques tropicales. El problema para los controladores es que el material combustible (por ejemplo, el humus de la tala, los bosques dañados por incendios) y el calor (como el

del inicio del fuego, o el de la reducción de la humedad) aumentan a lo largo y ancho del terreno. Para impedir que el fuego avance, será necesario reducir la conjunción de calor y combustible, tanto en el espacio como en el tiempo. La clave para ello, independientemente de otras medidas, es el concepto que la población local tiene del fuego.

El problema de los incendios necesita ser atacado de muchas y diferentes maneras, desde una mejor educación y control del fuego hasta con incentivos económicos y planificación del uso de la tierra, pero se requiere que los habitantes de estas regiones apoyen cada propuesta de solución.

El problema es severo, pero no imposible de enfrentar. Si existe un compromiso de parte de los gobiernos y de los líderes comunitarios para educar e influir en su gente acerca de los incendios y su prevención, entonces podrá reducirse su creciente impacto en estas regiones y la naturaleza ayudará a su recuperación.

Referencias

- Ackerman, A.S., O. Toon, D. Stevens, A. Heymsfield, V. Ramanathan, y E. Welton. 2000. Reduction of tropical cloudiness by soot. *Science* 288:1042-1047.
- Acosta, D. 1999. Environment-Cuba: Fires threaten reforestation program. *Inter Press Service* 21 de mayo de 1999.
- Agee, J.K. 1993. *Fire ecology of Pacific Northwest forests*. 493p. Island Press, Washington, D.C.
- Aide, T.M. y J. Cavelier. 1994. Barriers to lowland tropical forest restoration in the Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia. *Restoration Ecology* 2: 219-229.
- Andrews, P.L. 1986. BEHAVE: fire behavior prediction and fuel modeling system-BURN subsystem, Part 1. United States Department of Agriculture, Forest Service, General Technical Report INT-194, Intermountain Forest and Range Experiment Station, Ogden, Utah. 130 páginas.
- Andrews, P.L. y C.H. Chase. 1989. BEHAVE: fire behavior prediction and fuel modeling system-BURN subsystem, Part 2. United States Department of Agriculture, Forest Service, General Technical Report INT-260, Intermountain Forest and Range Experiment Station, Ogden, Utah. 93 páginas.
- Alfaro, R., W. Fernández, y B. Connell. Detection of the forest fires of April 1997 in Guanacaste, Costa Rica using GOES-8 images. *International Journal of Remote Sensing* 20: 1189-1195.
- Anonymous. 1999. Less Fire. *Business Mexico*, junio 1999.
- Arino, O., I. Piccolini, F. Siegert, H. Eva, E. Chuvieco, P. Martin, Z. Li, R.H. Frsaer, E. Kasischke, D. Roy, J. Pereira, y D. Stroppiana. Burn scar mapping methods. 2000. Pp. 198-223. In Ahern, F., J.M. Grégoire y C. Justice (eds) *Forest Fire Monitoring and Mapping: a component of global observation of forest cover*. Report of a workshop, noviembre 3-5 de 1999, Joint Research Centre Ispra, Italy.
- Associated Press. 1998. Rising smog forces emergency measures in Mexico City. 25 de mayo de 1998.
- Associated Press. 1998. Raging fires threaten Stone Age tribe: Remote regions of Amazon devoured by blaze that's burning out of control. *The Toronto Star* 17 de marzo de 1998.
- Associated Press. 1999. Fire threatens Peru National Park. 2 de septiembre de 1999.
- Associated Press. 2000. Cost of fighting fires in the west is expected to pass \$1 billion. *The New York Times*, 31 de agosto de 2000.
- Astor, M. 1997. Brazil's Amazon ablaze: Drought, farmers' burning destroys rain forests. *The Toronto Star* 30 de octubre de 1997.
- Barber, C.V. y J. Schweithelm. 2000. Trial by fire: Forest fire and forestry policy in Indonesia's era of crisis and reform. *World Resources Institute* 76páginas.
- Barbosa, R.I. y P.M. Fearnside. 1999. Incendios na Amazonia Brasileira: estimativa da emissão de gases do efeito estufa pela queima de diferentes ecossistemas de Roraima na passagem do evento El Niño (1997/98). 1999. *ACTA AMAZONICA* 29: 513-534.
- Barbosa, R.I. y P.M. Fearnside. 2000. As lições do fogo. *Ciencia Hoje* 27(157) 35-39.
- Barbosa, R. I. 1998. Avaliação preliminar da área dos sistemas naturais e agroecossistemas atingida por incêndios no estado de Roraima. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazonia (INPA), reporte no publicado.
- BBC News. World: Americas – Amazon fires rage on. 15 de marzo de 1998
- BBC News. World Americas – Governor appeals to save Amazon. 20 de marzo de 1998
- BBC News. World Americas – Plea to tackle Amazon inferno. 21 de marzo de 1998

- BBC News. World Americas – Helicopters fight Amazon fires. 23 de marzo de 1998
- BBC News. World Americas – UN helps fight Amazon fires. 25 de marzo de 1998
- BBC News. World Americas – Rains fall on Brazil's burning forests. 31 de marzo de 1998
- Biddulph, J. y M. Kellman. 1998. Fuels and fire at savanna-gallery forest boundaries in southeastern Venezuela. *Journal of Tropical Ecology* 14:445-461.
- Brown, P. 1998. Analysis: Forest fires: Setting the world ablaze. *The Guardian* 20 de marzo de 1998.
- Burgan, R.E. y R.C. Rothermel. 1984. BEHAVE: fire behavior prediction and fuel modeling system-FUEL subsystem. United States Department of Agriculture, Forest Service, General Technical Report INT-167, Intermountain Forest and Range Experiment Station, Ogden, Utah. 126 paginas.
- Burgan, R.E., R.W. Klaver y J.M. Klaver. 1998. Fuel Models and Fire Potential from Satellite and Surface Observations. *International Journal of Wildland Fire* 8: 159-170.
- Cairns, M.A., W.M. Hao, E. Alvarado y P. Haggerty. 2000. Carbon emissions from spring 1998 fires in tropical Mexico. Pages 242-247. In Volume 1: L.F. Neuenschwander, K. C. Ryan, G. E. Gollberg, and J. D. Greer, editors, *Proceedings from, The Joint Fire Science Conference and Workshop, June 15-17, 1999, "Crossing the Millennium: Integrating Spatial Technologies and Ecological Principles for a New Age in Fire Management."* University of Idaho and the International Association of Wildland Fire. Moscow, Idaho.
- Castilleja, G. y P. Stedman-Edwards. 1999. After the smoke clears. *Forum for Applied Research and Public Policy*; Knoxville, Spring 1999.
- Cavelier J., T.M. Aide, C. Santos, A.M. Eusse y J.M. Dupuy. 1998. The savannization of moist forests in the Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia. *Journal of Biogeography* 25: 901-912.
- Chomitz, K.M., E. Brenes y L. Constantino. 1999. Financing environmental services: the Costa Rican experience and its implications. *The Science of the Total Environment* 240: 157-169.
- CNN. Amazon burning worst in memory, another casualty of *El Niño*. 9 de octubre de 1997.
- CNN. Brazil to send helicopters to battle Amazon fires. 14 de marzo de 1998.
- CNN. Reinforcements enter battle against Amazon fire. 21 de marzo de 1998
- CNN. Strong rains fall on fire-ravaged Amazon state. 31 de marzo de 1998
- CNN. U.N. team assesses Amazon fires. 31 de marzo de 1998
- Cochrane, M.A. 2000 a. Compreendendo o Significado das Queimadas na Floresta Amazônica. *Ciencia Hoje* 27(157) 26-31.
- Cochrane, M.A. 2000 b. Forest fire, deforestation and landcover change in the Brazilian Amazon. Pages 170-176. In Volume 1: L.F. Neuenschwander, K. C. Ryan, G. E. Gollberg, and J. D. Greer, editors, *Proceedings from, The Joint Fire Science Conference and Workshop, June 15-17, 1999, "Crossing the Millennium: Integrating Spatial Technologies and Ecological Principles for a New Age in Fire Management."* University of Idaho and the International Association of Wildland Fire. Moscow, Idaho.
- Cochrane, M.A. 2001. Synergistic Interactions Between Habitat Fragmentation and Fire in Tropical Forests. *Conservation Biology*.
- Cochrane, M.A., Alencar, A., Schulze, M.D, Souza Jr., C.M., Nepstad, D.C., Lefebvre, P., y Davidson, E. 1999. Positive feedbacks in the fire dynamic of closed canopy tropical forests. *Science* 284: 1832-1835.
- Cochrane, M.A. y M.D. Schulze. 1999. Fire as a recurrent event in tropical forests of the eastern Amazon: effects on forest structure, biomass, and species composition. *Biotropica* 31(1): 2-16).

- Cochrane, M.A. y Laurance, W.F. (en prensa) Fire As A Large-Scale Edge Effect In Amazonian Forests. *Journal of Tropical Ecology*.
- Cochrane, M.A. y M.D. Schulze. 1998. Forest fires in the Brazilian Amazon. *Conservation Biology* 12(5) 948-950.
- Cochrane, M.A. y C.M. Souza Jr. 1998. Linear mixture model classification of burned forests in the eastern Amazon. *International Journal of Remote Sensing* 19: 3433-3440.
- Cochrane, M.A., Alencar, A., Schulze, M.D., Souza Jr., C.M., Lefebvre, P. y Nepstad, D.C. Investigating Positive Feedbacks in the Fire Dynamic of Closed Canopy Tropical Forests. In: *Patterns and Processes of Land Use and Forest Change in Amazônia*. Center for Latin American Studies, University of Florida. (en prensa).
- Curran, L.M., I. Caniago, G.D. Paoli, D. Astianti, M. Kusneti, M. Leighton, C.E. Nirarita, y H. Haeruman. 1999. Impact of El Niño and logging on canopy tree recruitment in Borneo. *Science* 286:2184-2188.
- Edwards, B. 1998. U.S. helps Mexico combat forest fires. *Trailer Life*. septiembre 1998, pg. 28.
- Elvidge, C.D., H.W. Kroel, E.A. Kihn, K.E. Baugh, E.R. Davis y W.M. Hao. 1996. Algorithm for the retrieval of fire pixels from DMSP Operational Linescan System. In *Global Biomass Burning* edited by J.S. Levine (Cambridge, Massachusetts: MIT Press), pp. 73-85.
- Elvidge, C.D., D.W. Pack, E. Prins, E.A. Kihn, J. Kendall y K.E. Baugh. 1999. Wildfire Detection with Meteorological Satellite Data: Results from New Mexico During June of 1996 Using GOES, AVHRR, and DMSP-OLS. Chapter 7 in Lunetta, R.S. and Elvidge, C.D., *Remote Sensing Change Detection: Environmental Monitoring Methods and Applications*. Ann Arbor Press, pp. 74-122.
- Eva, H. y G. Gutman. 2000. Towards a global system for forest fire monitoring and mapping: Breakout recommendations and priorities, Breakout 2.3: Securing the future remote sensing needs for fire monitoring. Pp. 47-48. In Ahern, F., J.M. Grégoire and C. Justice (eds) *Forest Fire Monitoring and Mapping: a component of global observation of forest cover*. Report of a workshop, November 3-5, 1999, Joint Research Centre Ispra, Italy.
- FAO 1998. *Forestry policies in the Caribbean: Reports of 28 selected countries and territories (volumes 1 and 2)* FAO Rome 1998.
- FAO 1999. *State of the World's forests*. (<http://www.fao.org/forestry/FO/SOFO/SOFO99/sofo99-e.stm>)
- FAO. *Forest Fire - The Situation* (<http://www.fao.org/montes/fon/fonp/fire/firesit.stm>)
- Fearnside, P.M. 2000. Greenhouse gas emissions from land use change in Brazil's Amazon region. Pp. 231-249. In *Global Climate Change and Tropical Ecosystems*. R. Lal, J. Kimble, R. Steward, (Eds.) CRC Press, Boca Raton, Florida.
- Fearnside, P. 1990. The rate and extent of deforestation in Brazilian Amazonia. *Environmental Conservation* 17: 213-216.
- Fedorov, A.V. y S.G. Philander. 2000. Is El Niño changing? *Science* 288: 1997-2002.
- Ferreira, L. 1997. El Niño fuels droughts and fires in Brazil. *Kyodo News Service* septiembre 12, 1997.
- Ferriss, S. 1999. Slash-and-burn farming threatens forests. *InfoLatina* 16 de mayo de 1999.
- Finney, M.A. 1998. FARSITE: Fire area simulator—Model development and evaluation. United States Department of Agriculture, Forest Service, Research Paper RMRS-RP-4, Rocky Mountain Research Station, Ogden, Utah. 47 páginas.
- Flasse, S.P. y P. Ceccato. 1996. A contextual algorithm for AVHRR fire detection. *International Journal of Remote Sensing* 17: 419-424.

- Fuller, D.O. y M. Fulk. 2000. Comparison of NOAA-AVHRR and DMSP-OLS for operational fire monitoring in Kalimantan, Indonesia. *International Journal of Remote Sensing* 21: 181-187.
- Gascon, C., G.B. Williamson, y G.A.B. Fonseca. 2000. Receding edges and vanishing fragments. *Science* 288:1356-1358.
- Giglio, L., J.D. Kendall, y C.O. Justice. 1999. Evaluation of global fire detection algorithms using simulated AVHRR infrared data. *International Journal of Remote Sensing* 20: 1947-1985.
- Giglio, L., J.D. Kendall y C.J. Tucker. 2000. Remote Sensing of fires with the TRMM VIRS. *International Journal of Remote Sensing* 21: 203-207.
- Giri, C., y S. Shrestha. 2000. Forest fire mapping in Huay Kha Khaeng Wildlife Sanctuary, Thailand. *International Journal of Remote Sensing* 21:2023-2030.
- Goldammer J.G. 1999. Early warning systems for the prediction of an appropriate response to wildfires and related environmental hazards. *Health Guidelines for Vegetation Fire Events*, Lima, Peru, 6-9 de octubre de 1998. Background papers. WHO.
- Goldammer J.G. y C. Price. 1998. Potential impacts of climate change on fire regimes in the tropics based on MAGICC and a GISS GCM-derived lightning model. *Climate Change* 39: 273-296.
- Gonzalez, D. 2000. Guatemalan Squatters Torching Park Forests. *New York Times* mayo 20.
- Goward, S.N., B. Markham, D.G. Dye, W. Dulaney, y J. Yang. 1990. Normalized difference vegetation index measurements from the advanced very high resolution radiometer. *Remote Sensing Environment* 35: 257-277.
- Grégoire, J.M., B. Glénat, P. Janvier, E. Janodet, a. Tournier y J.M.N. Silva. 1998. Fire activity in the Guyana shield, the Orinoco and Amazon Basins during March 1998. *International Forest Fire News* 19.
- Gunson, P. 1998. Unique species wiped out as fires rage in the heart of Mexico's last great virgin jungle. *Guardian* 1,14:1 10 de junio de 1998.
- Haltenhoff H. 1993. Forest fires: An evil that Chile controls. *International Forest Fire News* 8.
- Haltenhoff, H. 1994. Forest Fires in Chile. *International Forest Fire News* 11.
- Haltenhoff, H. 1999. The Chilean Forest Service and its Fire Management Program. *International Forest Fire News* 20.
- Hammond, D.S. y H. ter Steege. 1998. Propensity for fire in Guianan rainforests. *Conservation Biology* 12: 944-947.
- Hanna, B. Texas finally free of smoke from Mexico. *InfoLatina* 26 de enero de 1998.
- Hirsch, K.G. 1996. Canadian Forest Fire Prediction (FBP) System: user's guide. *Nat. Resour. Can., Can. For. Serv., Northwest Reg., North. For. Cent., Edmonton, Alberta. Spec. Rep.* 7.
- Holdsworth, A.R., y C. Uhl. 1997. Fire in Amazonian selectively logged rain forest and the potential for fire reduction. *Ecological Applications* 7:713-725.
- Hon, P.M.L. 1999. Singapore. In Glover, D. y T. Jessup (eds.) *Indonesia's Fire and Haze: the cost of catastrophe*. International Development Research Centre, Ottawa Canada.
- Houghton R.A. 1995. Land-use change and the carbon-cycle. *Global Change Biology* 1: 275-287.

Jacques de Dixmude, A., S. Flasse, I. Downey, P. Navarro, C. Searm, P. Ceccato, J. Williams, R. Alvarez, F. Uriarte, A. Ramos, I. Humphrey y Z. Zúniga. 1999. A Survey of Three Successive Fire Seasons. *International Forest Fire News* 20.

Jacques de Dixmude, A., S. Flasse, I. Downey, P. Navarro, L. Valerio, F. Uriarte y N. Sepúlveda. 2000. The use of NOAA/AVHRR remotely sensed data for fire monitoring in Nicaragua. Pages 233-235. In Volume II: L.F. Neuenschwander, K. C. Ryan, G. E. Gollberg, and J. D. Greer, editors, *Proceedings from, The Joint Fire Science Conference and Workshop, June 15-17, 1999, "Crossing the Millennium: Integrating Spatial Technologies and Ecological Principles for a New Age in Fire Management."* University of Idaho and the International Association of Wildland Fire. Moscow, Idaho.

Jackson, W.D. 1968. Fire, air, water and earth – An elemental ecology of Tasmania. *Proc. Ecol. Soc. Aust.*, 3, 9-16.

Janecek, D.J. 1999. *Detection and Measurement of Amazon Tropical Forest Logging Using Remote Sensing Data.* M.A. Thesis. Michigan State University. 100 páginas.

Jehl, D. 2000. A time of fires, fatigue, cash and the U.S.O. *The New York Times*, 26 de agosto de 2000.

Johns, J.S., P. Barreto, y C. Uhl. 1996. Logging damage in planned and unplanned logging operations in the eastern Amazon. *Forest Ecology and Management* 89:59-77.

Justice, C.O., J.D. Kendall, P.R. Dowty y R.J. Scholes. 1996. Satellite remote sensing of fires during the SAFARI campaign using NOAA-AVHRR data. *Journal of Geophysical Research* 101: 23851-23863.

Kauffman, J.B. 1991. Survival by sprouting following fire in tropical forests of the eastern Amazon. *Biotropica* 23: 219-224.

Kauffman J.B., D.L. Cummings, y D.E. Ward. 1994. Relationships of fire, biomass and nutrient dynamics along a vegetation gradient in the Brazilian cerrado. *Journal of Ecology* 82: 519-531.

Kauffman J.B., D.L. Cummings, y D.E. Ward. 1998. Fire in the Brazilian Amazon 2. Biomass, nutrient pools and losses in cattle pastures. *Oecologia* 113: (3) 415-427.

Kauffman, J.B. y C. Uhl. 1990. Interactions of anthropogenic activities, fire, and rain forests in the Amazon basin. Pages 117-134, in J.G. Goldammer (ed.) *Fire in the tropical biota.* Springer-Verlag Berlin 1990.

Kauffman, J.B., C. Uhl, y D.L. Cummings. 1988. Fire in the Venezuelan Amazon 1: Fuel biomass and fire chemistry in the evergreen rainforest of Venezuela *Oikos* 53: 167-175.

Keetch, J.J. y G. Byram. 1968. A drought index for forest fire control. Research Paper SE-38. Asheville, NC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southeastern Forest Experiment Station. 32 páginas. (revisado 1988).

Kellman, M. y J. Meave. 1997. Fire in the tropical gallery forests of Belize. *Journal of Biogeography* 24: 23-34.

Kinnaird, M.F., y T.G. O'Brien. 1998. Ecological effects of wildfire on lowland rainforest in Sumatra. *Conservation Biology* 12: 954-956.

Kitzberger, T., T.T. Veblen y R. Villalba. 1997. Climatic influences on fire regimes along a rain forest-to-xeric woodland gradient in northern Patagonia, Argentina. *Journal of Biogeography* 24: 35-47.

Koop, D. 1997. Forest fire threatens Incan ruins in Peru: Firefighters attempt to save ancient Machu Picchu ruins. *Daily Kent Stater*, 10 de septiembre de 1997, pp. 2.

Kunii, O. 1999. Basic fact – Determining downwind exposures and their associated health effects, assessment of health effects in practice: A case study from the 1997 forest fires in Indonesia. *Health Guidelines for Vegetation Fire Events*, Lima, Peru, 6-9 October 1998. Background papers. WHO.

Kyodo News Service. Amazon state launches operation to fight forest fires. 14 de marzo de 1998.

Latin American Institute. 1998. *Environmental News in Brief: Forest fires causing national crisis.* Economic News & Analysis on Mexico. 13 de mayo de 1998.

- Laurance, W.F. y B. Williamson (en prensa). Positive feedbacks among forest fragmentation, drought, and climate change in the Amazon. *Conservation Biology*.
- Laurance, W.F., Cochrane, M.A., Bergen, S., Fearnside, P.M., Delamônica, P., Barber, C., d'Angelo, S. y Fernandes, T. 2001. The Future of the Brazilian Amazon: Development Trends and Deforestation. *Science* 291: 438-439.
- Laurance, W. F., y P. M. Fearnside. 1999. Amazon burning. *Trends in Ecology and Evolution* 14:457.
- Laurance, W. F. 2000. Do edge effects occur over large spatial scales? *Trends in Ecology and Evolution* 15:134-135.
- Laurance, W. F., S. G. Laurance, L. V. Ferreira, J. Rankin-de Merona, C. Gascon, y T. E. Lovejoy. 1997. Biomass collapse in Amazonian forest fragments. *Science* 278: 1117-1118.
- Laurance, W. F., P. Delamonica, S. G. Laurance, H. Vasconcelos, and T. E. Lovejoy. Rainforest fragmentation kills big trees. *Nature* 404:836.
- Le Comte, D. 1999. Weather around the world: A year of epic disasters. *Weatherwise* magazine. (<http://www.weatherwise.org/99ma.lecomte.int.html>)
- Lee, B.S., C.W. Dull y A. Sasitwari. 2000. Information requirements of the fire management community. pp. 73-78. In Ahern, F., J.M. Grégoire and C. Justice (eds) *Forest Fire Monitoring and Mapping: a component of global observation of forest cover*. Report of a workshop, November 3-5, 1999, Joint Research Centre Ispra, Italy.
- Linden, E. 2000. A Estrada do desastre. *Time Latina* 20 de septiembre de 2000. (<http://cnnbrasil.com/2000/time/09/20/amazon/>).
- Loane, I.T. y J.S. Gould. 1986. Aerial suppression of bushfires: Cost-benefit study for Victoria. National Bushfire Research Unit, CSIRO Division of Forest Research, Canberra ACT.
- Lyons, W.A., T.E. Nelson, E.R. Williams, J.A. Cramer y T.R. Turner. 1998. *Science* 282: 77-80.
- Martini, A., N. Rosa, y C. Uhl. 1994. An attempt to predict which Amazonian tree species may be threatened by logging activities. *Environmental Conservation* 21:152-162.
- Mattos, M.M. y C. Uhl. 1995. Economic and ecological perspectives on ranching in the eastern Amazon. *World Development* 22: 145-158.
- Meggers, B.J. 1994. Archeological evidence for the impact of Mega-Niño events on Amazonia during the past two millennia. *Climate Change* 28, 321-338.
- Middleton, B.A., E. Sanchez-Rojas, B. Suedmeyer, y A. Michels. 1997. Fire in a Tropical Dry Forest of Central America: A natural part of the disturbance regime? *Biotropica* 29: 515-517.
- Miranda E.E. and L. John. 2000. Monitoring and mapping fires in Brasil current products and information networks pp.159-169. In Ahern, F., J.M. Grégoire and C. Justice (eds) *Forest Fire Monitoring and Mapping: a component of global observation of forest cover*. Report of a workshop, 3-5 de noviembre de 1999, Joint Research Centre Ispra, Italy.
- Mistry, J. 1998. Fire in the cerrado (savannas) of Brazil: an ecological review. *Progress in Physical Geography* 22: 425-448.
- Mora, F. y G. Hernández-Cárdenas. 2000. Modeling and mapping wildfire potential in Mexico based on vegetation and drought conditions using remote sensing and GIS technology. Pages 25-38. In Volume II: L.F. Neuenschwander, K. C. Ryan, G. E. Gollberg, and J. D. Greer, editors, *Proceedings from, The Joint Fire Science Conference and Workshop, June 15-17, 1999, "Crossing the Millennium: Integrating Spatial Technologies and Ecological Principals for a New Age in Fire Management."* University of Idaho and the International Association of Wildland Fire. Moscow, Idaho.
- Moreira, M.Z., L.D.L. Sternberg, L.A. Martinelli, R.L. Victoria, E.M. Barbosa, L.C.M. Bonates, and D.C. Nepstad. 1997. Contribution of transpiration to forest ambient vapour based on isotopic measurements. *Global Change Biology* 3: 439-450.

Mostacedo, B., T.S. Fredericksen, K. Gould and M. Toledo. Comparacion de la respuesta de las comunidades vegetales a los incendios forestales en los bosques tropicales secos y humedos de Bolivia. Documento Técnico 83. 1999. Contrato USAID: 511-0621-C-00-3027, Chemonics International, USAID/Bolivia noviembre de 1999.

Mueller-Dombois, M. 1981. Fire in tropical ecosystems. Proceeding of the conference – Fire regimes and ecosystem properties. GTR WO-26, 137-176.

Musse, J.L. 1999. Bolivia Arde: Grave temporada de incendios en América del Sur. (http://members.xoom.com/_XMCM/jmusse/incendiobolivia.html).

Mutch, R.W., B. Lee y J.H. Perkins. 1999. Public policies affecting forest fires in the Americas and the Caribbean. Pp. 65-111. Proceedings FAO Meeting on Public Policies Affecting Forest Fires. Rome, Italy 28-30 October 1998. FAO Forestry Paper 138.

Nascimento, M.T., J.M. Felfili, A.T.O. Filho, M.A.L. Fontes, J.T. França, J. Hay y R. Gribel. 2000. Efeitos do fogo nas florestas. *Ciencia Hoje* 27(157) 40-43.

National Interagency Fire Center (NIFC) August 15 2000. National Interagency Fire Center receives international assistance to combat wildland fires. (www.nifc.gov).

Nelson B.W. (en prensa). In: Anais, X Simposio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (21-26 de abril de 2001). Foz do Iguaçu, PR, Brasil. Publicado em CD-ROM pelo INPE, Sao Jose dos Campos, SP, Brasil.

Nepstad D.C., Veríssimo A., Alencar A., Nobre C., Lima E., Lefebvre P., Schlesinger P., Potter C., Moutinho P., Mendoza E., Cochrane M.A., y Brooks V. 1999. Large-scale Impoverishment of Amazonian forests by logging and fire. *Nature* 398, 505-508.

Nepstad, D. C., C. R. de Carvalho, E. Davidson, P. Jipp, P. Lefebvre, G. H. Negreiros, E. D. da Silva, T. Stone, S. Trumbore, y S. Vieira. 1994. The role of deep roots in water and carbon cycles of Amazonian forests and pastures. *Nature* 372: 666-669.

Nepstad, D. C., A. Moreira, A. Verissimo, P. Lefebvre, P. Schlesinger, C. Potter, C. Nobre, A. Setzer, T. Krug, A. Barros, A. Alencar, y J. Pereira. 1998. Forest fire prediction and prevention in the Brazilian Amazon. *Conservation Biology* 12: 951-955.

Nepstad, D. C., A. G. Moreira, y A. A. Alencar. 1999b. Flames in the rain forest: origins, impacts, and alternatives to Amazonian fires. Pilot Program to Preserve the Brazilian Rain Forest, Brasília, Brazil. 161 páginas.

Newman, S. 1998. Earthweek: Diary of the planet Fire Pollution. *The Toronto Star*. 16 de mayo de 1998.

Oertel, D., F. Lanzl, B. Zhukov, K. Briess, H.P. Roeser, H. Jahn, J. Gonzalo, I.F. Tourné y G. Gutman. 2000. Upcoming sensors for spaceborne fire observation. Pp. 224-228. In Ahern, F., J.M. Grégoire and C. Justice (eds) *Forest Fire Monitoring and Mapping: a component of global observation of forest cover*. Report of a workshop, November 3-5, 1999, Joint Research Centre Ispra, Italy.

Peres, C.A. 1999. Ground fires as agents of mortality in a Central Amazonian forest *Journal of Tropical Ecology* 15: 535-541.

Pimm, S.L., y P. Raven. 2000. Extinction by the numbers. *Nature* 403:843-845.

Pinard, M.A. y J. Huffman. 1997. Fire resistance and bark properties of trees in a seasonally dry forest in eastern Bolivia. *Journal of Tropical Ecology* 13: 727-740.

Pinard, M.A., F.E. Putz y J.C. Licona. 1999. Tree mortality and vine proliferation following a wildfire in a subhumid tropical forest in eastern Bolivia. *Forest Ecology and Management* 116: 247-252.

Price, C. y D. Rind. 1994. The impact of a 2 X CO₂ climate on lightning-caused fires. *Journal of Climate* 7: 1484-1494.

Price, N. 1998. U.S. officials: Major environmental disaster in Mexico. *Associated Press* 5 de enero de 1998.

- Prins, E.M. y W.P. Menzel. 1994. Trends in South America biomass burning detected with the GOES visible infrared spin scan radiometer atmospheric sounder from 1983 to 1991. *Journal of Geophysical Research* 99: 16719-16735.
- Pyne, S.J. 1997. *World Fire: The culture of fire on Earth*. University of Washington Press, Seattle WA. 384 páginas
- Pyne, S.J. 1998. The political ecology of fire: Thoughts prompted by the Mexican fires of 1998. *International Forest Fire News* 19.
- Pyne, S.J. 1982. *Fire in America: A cultural history of wildland and rural fire*. University of Washington Press, Seattle. 654 páginas.
- Pyne, S.J. 1984. *Introduction to wildland fire*. John Wiley and Sons, New York). 455 páginas.
- Reifsnyder, W.E. 1978. Special Environmental Report No. 11: Systems for evaluating and predicting the effects of weather and climate on wildland fires. WMO – No. 496. World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland.
- Rodríguez, M.P.R. 2000. An overview on forest fires in Cuba. *International Forest Fire News* 22.
- Rodríguez-Trejo, D.A. y S.J. Pyne. 1999. Mexican Fires in 1998. *International Forest Fire News* 20.
- Rodríguez-Trejo, D.A. 1998. A brief history of forest fires in Mexico. *International Forest Fire News* 19.
- Rodríguez-Trejo, D.A. y M.A.M. Briseño. 1992. Incendios forestales provocados. *Agociencia serie recursos naturales renovables Vol. 2: 75-85*.
- Rosenfeld, D. 1999. TRMM observed first direct evidence of smoke from forest fires inhibiting rainfall. *Geophysical Research Letters* 26: 3105-3108.
- Rosenfeld, D. 2000. Suppression of Rain and Snow by Urban and Industrial Air Pollution. *Science* 287: 1793-1796.
- Rothermel, R.C. 1983. How to predict the spread and intensity of forest and range fires. U.S. Forest Service, General Technical Report INT – 143.
- Rull, V. 1992. Successional patterns of the Gran Sabana (southeastern Venezuela vegetation during the last 5,000 years, and its response to climate fluctuations and fire. *Journal of Biogeography* 19: 329-338.
- Ruitenbeek, J. 1999. Indonesia. Pages 88-112, in Glover, D. y T. Jessup (eds.) *Indonesia's Fire and Haze: the cost of catastrophe*. International Development Research Centre, Ottawa Canada.
- Salati, E. y P. B. Vose. 1984. Amazon basin: a system in equilibrium. *Science* 225: 129-138.
- Salazar, M. 1990. Forest fire control in Honduras. *Unasyuva* 162 Vol. 41: 13-16.
- Saldarriaga, J.G. y West D.C. 1986. Holocene fires in the northern Amazon Basin. *Quaternary Research* 26, 358-366.
- Sandberg, D.V. 1998. Brazil Report International Programs USDA Forest Service, junio de 1998. (<http://www.fs.fed.us/pnw/fera/brazil/bzusaid3.html>).
- Sanford, R.L., Saldarriaga J., Clark K., Uhl C., and Herrera R. 1985. Amazon rainforest fires. *Science* 227, 53-55.
- SEMARNAP. 2000. Programa de Trabajo 2000. (<http://www.semarnat.gob.mx/programa2000/documento>)
- Setzer, A.W. y M.C. Pereira. 1991. Operational detection of fires in Brazil with NOAA/AVHRR. In *Proceedings of the 4th International Symposium on Remote Sensing of Environment*, Rio de Janeiro, RJ, Brazil (Ann Arbor, MI: ERIM), pp.469-482.
- Shahwahid, H.O. y J. Othman. 1999. Malaysia. In Glover, D. y T. Jessup (eds.) *Indonesia's Fire and Haze: the cost of catastrophe*. International Development Research Centre, Ottawa Canada.

Shimabukuro, Y.E., T. Krug, J.R. dos Santos, E.M. Novo, y J.L.R. Yi. 2000. Roraima: o incêndio visto do espaço. *Ciencia Hoje* 27(157) 32-34.

Shukla, J., C. Nobre y P. Sellers. 1990. Amazon deforestation and climate change. *Science* 247, 1322 – 1325.

Siegert, F. y G. Ruecker. 2000. Use of multitemporal ERS-2 SAR images for identification of burned scars in south-east Asian tropical rainforest. *International Journal of Remote Sensing* 21: 831-837.

Sipowicz, A.H. 1994. Fire in the Caldenal Region (Central Argentina). *International Forest Fire News* 10.

Skole, D., y C.J. Tucker. 1993. Tropical deforestation and habitat fragmentation in the Amazon: satellite data from 1978 to 1988. *Science* 260: 1905-1910.

Souza Jr. C. y P. Barreto. 2000. An alternative approach for detecting and monitoring selectively logged forests in the Amazon. *International Journal of Remote Sensing* 21: 173-179.

Stone, S. W. 1998. Using a geographic information system for applied policy analysis: the case of logging in the Eastern Amazon. *Ecological Economics* 27: 43-61.

Stone, T., y P. Lefebvre. 1998. Using multi-temporal satellite data to evaluate selective logging in Pará, Brazil. *International Journal of Remote Sensing* 19: 2517-2526.

Tesolin, O. 1993. Improving the national wildland fire statistics of Argentina. *International Forest Fire News* 9.

Troensegaard, J. FAO's role in forest fire protection: an overview of activities 1970-89. *Unasylva* 162:17-20.

Turcq, B., A. Sifeddine, L. Martin, M.L. Absy, F. Soubies, K. Suguio, y C. Volkmer-Ribeiro. 1998. Amazonia rainforest fires: a lucustrine record of 7000 years. *Ambio* 27:139-142.

Uhl, C., y R. Buschbacher. 1985. A disturbing synergism between cattle ranch burning practices and selective tree harvesting in the Eastern Amazon. *Biotropica* 17: 265-268.

Uhl, C., K.E. Clark, H. Clark y P. Murphy. 1981. Early plant succession after cutting and burning in the upper Rio Negro region of the Amazon Basin. *Journal of Ecology* 69: 631-649.

Uhl, C. y Kauffman J.B. 1990. Deforestation, fire susceptibility, and potential tree responses to fire in the eastern Amazon. *Ecology* 71, 437-449.

Uhl C., P. Barreto, A. Verissimo, E. Vidal, P. Amaral, A.C. Barros, C. Souza, J. Johns, J. Gerwing. 1997. Natural resource management in the Brazilian Amazon *Bioscience* 47: (3) 160-168.

Uhl, C., J.B. Kauffman, y D.L. Cummings. 1988. Fire in the Venezuelan Amazon 2: Environmental conditions necessary for forest fires in the evergreen rainforest of Venezuela. *Oikos* 53: 176-184.

Uhl, C., A. Verissimo, M.M. Mattos, Z. Brandino, y I.C.G. Vieira. 1991. Social, economic, and ecological consequences of selective logging in an Amazon frontier: the case of Tailândia. *Forest Ecology and Management* 46: 243-273.

Uhl, C., y I.C.G. Vieira. 1989. Ecological impacts of selective logging in the Brazilian Amazon: A case study from the Paragominas region of the State of Para. *Biotropica* 21:98-106.

United Nations Disaster Assessment Coordination (UNDAC). 1998. Brasil, Incendios no estado de Roraima, agosto de 1997 – abril de 1998. United Nations, reporte no publicado.

PNUMA 1999. Levine, J.S., T. Bobbe, N. Ray, R.G. Witt y A. Singh. *Wildland fires and the environment: a global synthesis*. PNUMA/DEIAEW/TR.99-1.

PNUMA 2000. *GEO Latin America and the Caribbean: environment outlook 2000*, United Nations Environment Programme, Mexico City, Mexico.

Veríssimo, A., y P. Amaral. 1998. Forestry in the Amazon: current situation and prospects. Pages 265-276 in D.E. Leihner and T.A. Mitschein, editors. Proceedings of the Conference, A Third Millenium for Humanity? The search for paths of sustainable development. Belém, Brazil 26 - 29de noviembre de, 1996.

Veríssimo, A., C.M. Souza Jr., S. Stone, y C. Uhl. 1998. Zoning of timber extraction in the Brazilian Amazon. *Conservation Biology* 12: 128-136.

Veríssimo, A., P. Barreto, M. Mattos, R. Tarifa, y C. Uhl. 1992. Logging impacts and prospects for sustainable forest management in an old Amazonian frontier: the case of Paragominas. *Forest Ecology and Management* 55: 169-199.

Veríssimo, A., P. Barreto, R. Tarifa, y C. Uhl. 1995. Extraction of a high-value natural source from Amazon: the case of mahogany. *Forest Ecology and Management* 72:39-60.

Ward, D.E. 1999. Smoke from wildland fires. Health Guidelines for Vegetation Fire Events, Lima, Peru, 6-9 de octubre de 1998. Documentos de respaldo. WHO.

Wikelski, M. 1995. Setting a World Heritage ablaze – the 1994 fire in the Galápagos. *International Forest Fire News* 13.

Woods, P. 1989. Effects of logging, drought, and fire on structure and composition of tropical forests in Sabah, Malaysia. *Biotropica* 21(4): 290-298.

World Resources Institute. 1998. World resources, 1998-99 : a guide to the global environment : environmental change and human health. Oxford University Press, Oxford, England.

Actual capacidad de respuesta a los incendios forestales en los países seleccionados de América Latina y el Caribe

Actualmente, la capacidad que tiene América Latina para dar una respuesta organizada a los incendios forestales es muy variable. A continuación se presenta un resumen de los recursos y de la organización conocidos de algunos países de la región:

Chile

En Chile, las actividades gubernamentales para el manejo del fuego son responsabilidad de la Corporación Nacional Forestal (CONAF), que pertenece al Servicio Forestal Chileno (Haltenhoff 1994). El sector privado y el gobierno federal invierten alrededor de \$20 millones de dólares anuales en los esfuerzos de prevención, combate y entrenamiento. Los recursos humanos de este país incluyen personal dedicado a estas tareas de 2,500 personas dentro del programa combinado para el manejo de los siniestros (privado y federal). Los recursos adicionales para combatir incendios incluyen (Mutch *et al.* 1999):

- 30 centros de operaciones
- 209 torres de observación
- 187 técnicos de prevención
- 151 unidades para el combate a incendios (de 8 a 15 bomberos por unidad)
- 19 camiones cisternas
- 22 brigadas paracaidistas transportadas en helicóptero (de acuerdo con Haltenhoff 1999, sólo 14)
- 22 helicópteros (de acuerdo con Haltenhoff, 1999, sólo 20)
- 14 tanques aéreos
- 7 aeronaves coordinadas

Costa Rica

Después de varios incendios forestales grandes, Costa Rica desarrolló un programa de manejo de siniestros con base en la legislación de 1986 cuyo objetivo era desalentar el uso del fuego que pudiera salirse de control. La ley estableció multas por el uso inapropiado de este elemento, y posteriormente esta ley se reforzó en 1996. El programa para el manejo de incendios en Costa Rica se basa en comités locales y regionales. Estos comités están integrados por voluntarios que reciben asistencia profesional y técnica por parte del gobierno, y cada uno es responsable de prevenir y combatir el fuego en su región. El gobierno busca descentralizar las actividades relacionadas con el manejo de incendios proporcionando incentivos económicos a las comunidades provinciales y locales a fin de que se involucren. El gobierno central otorga fondos para la adquisición de herramientas, equipo, entrenamiento y educación, y el Instituto de Seguridad Nacional (seguros) da

fondos adicionales para este programa. El combate al fuego recae en gran medida en las brigadas voluntarias (Mutch *et al.* 1999). En 1996, la ley forestal de este país (Ley número 7575) reconocía explícitamente cuatro servicios ambientales externos que proporcionan los bosques:

- fijación del carbono.
- servicios hidrológicos.
- protección de la biodiversidad.
- belleza del paisaje.

En 1997, las leyes que se implementaron posteriormente han sido utilizadas para remunerar a los propietarios de las tierras con base en los acuerdos establecidos a fin de proporcionar protección a sus bosques (Chomitz *et al.* 1999), dando así un incentivo adicional a fin de que éstos controlen y combatan los incendios.

Cuba

La Comisión de Guardabosques (CGB) del Ministerio del Interior, es responsable de prevenir, controlar y combatir los incendios en Cuba. Durante los períodos de sequía, la mayor parte de los trabajadores de la CGB se dedican a la protección de los bosques. Entre sus responsabilidades se encuentran la difusión de información en las comunidades rurales acerca de riesgo que representan los incendios, así como realizar patrullajes terrestres. Además, Cuba tiene más de 30 Unidades para el Control de Incendios Forestales, las cuales son brigadas contra incendios que trabajan durante todo el año y están ubicadas en las regiones con mayor riesgo. Estas unidades están bien entrenadas y equipadas con aparatos de comunicación, equipo manual y camiones cisterna. Las torres de observación y los aviones cisterna AN-2 (Antonov) —durante la temporada de incendios pico (de febrero a mayo)— se utilizan para la detección de incendios. Cuando es necesario, el control aéreo del fuego se realiza con tanques aéreos PZL-M18 (Dromader); además, las fuerzas terrestres aumentan con brigadas de voluntarios (Rodríguez 2000).

Guatemala

Guatemala no tiene una autoridad federal para combatir incendios. Las actividades para el manejo del fuego están descentralizadas: cada región es responsable de prevenir los incendios, enfrentarlos y combatirlos. La respuesta inicial a un siniestro viene de los voluntarios locales o del personal del gobierno, si éste ocurre en tierras estatales. En situaciones de incendios severos, el gobernador regional asume la responsabilidad del control de la emergencia. Si hay una declaración presidencial de desastre, la agencia de defensa civil nacional participa. Las actividades para el manejo de incendios en

Guatemala recaen en gran medida en la participación internacional, y el uso de herramientas para combatir el fuego está incrementando (Mutch *et al.* 1999).

Honduras

En 1974, el Gobierno de Honduras creó la Corporación Hondureña para el Desarrollo Forestal (COHDEFOR) y una de sus responsabilidades es el combate a los incendios en los bosques. Hasta 1990, COHDEFOR tenía 43 unidades de manejo que abarcaban nueve regiones forestales a lo largo del país. Cada unidad consiste en una cuadrilla de diez personas, una o dos torres de observación, guardias móviles y auxiliares voluntarios para combatir incendios. COHDEFOR cuenta con un presupuesto anual de alrededor de \$3 millones de dólares (estimación de 1990). Las campañas contra incendios incorporan recursos humanos de múltiples lugares para integrar una fuerza de más de 11 000 personas. La misma Corporación asigna 4 550 personas, el Programa Mundial de Alimentos (PMA) de la ONU apoya con otras 4 850 personas, 800 más son de cooperativas agroforestales, 550 de las fuerzas armadas, 350 de la industria maderera y otras 550 de diferentes lugares.

México

México tiene un cuerpo de bomberos para combatir incendios forestales bien entrenado y eficiente. La SEMARNAP mantiene una infraestructura extensa y una gran cantidad de brigadas bien equipadas. Los recursos específicos con que cuenta incluyen:

- 64 torres de observación.
- 150 brigadas contra incendios (incluyendo 400 tripulaciones municipales, voluntarias y estatales adicionales).
- 6 helicópteros (4 contratados y 2 de SEMARNAP).
- 2 aeronaves de detección.
- 651 radios.
- Vestimenta de protección personal para las 150 brigadas contra incendios y herramientas para combatir incendios, con bombas–mochila para las brigadas.

En 1997, el entrenamiento abarcó lo siguiente:

- 516 cursos.
- 15 480 personas fueron capacitadas.

Nota: La cantidad de equipo que aparece en la lista es de 1998, año en que se duplicó el presupuesto para el combate contra incendios de aproximadamente \$10 a \$20 millones

de dólares anuales (Mutch *et al.* 1999). Desde entonces, el nivel de recursos aparentemente ha incrementado de manera considerable. De acuerdo con Rodríguez-Trejo (1998), el gobierno federal tiene 1 800 bomberos, 133 torres de detección y 145 vehículos con 4 000 bomberos adicionales, 96 torres de observación y 313 vehículos que son operados por los propietarios de bosques privados. Un alto porcentaje de bomberos ha recibido entrenamiento avanzado.

Reciente información proporcionada por la SEMARNAP (2000) indica que el programa de manejo contra incendios en todo el país está creciendo y volviéndose más sofisticado en respuesta a la severa temporada de incendios de 1998. En 1999, los recursos y las actividades relacionadas con la prevención y combate a incendios aumentaron considerablemente. Ahora son:

- 268 centros de control de incendios.
- 122 torres de observación.
- 1 395 brigadas contra incendios (5,845 bomberos).
- 150 brigadas totalmente equipadas.
- 59 aeronaves para la detección.
- 12 bases aéreas de operación.

Las metas para el año 2000 incluían:

- 280 centros operativos para el control de incendios.
- 181 torres de observación.
- 805 brigadas especializadas.
- Adquisición de materiales para equipar perfectamente 805 brigadas contra incendios.
- 36 helicópteros para las operaciones de combate a incendios.
- 79 aeronaves de detección.

Asimismo, México ha estado invirtiendo en medidas para la prevención de incendios en todo el país, las cuales incluyen materiales impresos informativos, cursos de capacitación, servicios de extensión, formación de brigadas voluntarias para combatir el fuego, tratamiento de quemaduras y educación a la población sobre el fuego mediante obras de teatro y programas de radio y televisión en donde se escenifica cómo prevenir incendios en aquellos lugares cuyas condiciones sociales así lo requieran.

La SEMARNAP también tiene mapas actualizados muy sofisticados de todo el territorio que contienen la temperatura, humedad relativa, velocidad de los vientos, precipitaciones, humedad del combustible y del suelo, índices de sequía, velocidad de expansión del fuego, niveles de combustión, peligro de incendios basados en el clima, pronósticos

de la intensidad y posibles tipos de fuego (por ejemplo, fuego de superficie o comportamiento del follaje). Esta información se basa en los datos proporcionados por diversas estaciones meteorológicas, y una gran variedad de modelos para pronosticar y monitorear las condiciones y comportamiento del fuego han sido implementados con la asistencia del Servicio Forestal Canadiense. Los mapas se pueden ver en <http://fms.nofc.cfs.nrcan.gc.ca/mexico/maps/current>.

Nicaragua

Hay un serio problema de incendios en Nicaragua debido a la falta de recursos humanos, materiales y financieros. En la actualidad, Nicaragua está reestructurando su programa para el manejo de incendios (Mutch *et al.* 1999). Recientemente, el país comenzó a usar información sobre incendios para la detección temprana derivada del AVHRR. El Proyecto de Monitoreo (de incendios) de Recursos Terrestres de Nicaragua lo está llevando a cabo el Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales (MARENA) y el Instituto de Recursos Naturales (IRN). Una unidad detectora remota a pequeña escala se mantiene ahora en el MARENA para beneficio de las autoridades a cargo del manejo de los bosques y de los cuerpos locales o nacionales responsables de la toma de decisiones (Jacques de Dixmude *et al.* 2000).

Trinidad y Tabago

Trinidad y Tabago implementó el Plan de Protección contra Incendios Forestales para Trinidad en 1988, como respuesta a la severa temporada de incendios del año anterior. El programa hace énfasis en la prevención; el gasto anual en este rubro incluyó \$500 000 dólares trinitarios para inversiones de capital en vehículos, comunicaciones, herramientas para combatir incendios y equipo. Una erogación adicional de \$1 286 000 dólares trinitarios se gastaron en gastos recurrentes, tales como la extinción de rastros de fuego y patrullas para la detección y el combate contra incendios (Mutch *et al.* 1999).

Uruguay

El combate a los incendios se dirige principalmente a las plantaciones forestales. Las primeras respuestas vienen de los propietarios de estas plantaciones, con ayuda adicional proporcionada por el Departamento de Obras Públicas y el Ministerio de Defensa en caso de que los incendios sean severos. Uruguay utiliza la detección aérea de incendios, pero no tiene capacidad para combatirlos por este medio, y mantiene una fuerza contra incendios de alrededor de 1 500 personas (Mutch *et al.* 1999).

Venezuela

Venezuela tiene oficinas operativas centrales que apoyan a la organización local de respuesta a los incendios; asimismo, utiliza un sistema de torres de observación, detección aérea, patrullas terrestres y brigadas entrenadas para combatir los siniestros. Los helicópteros se usan para transportar este personal, y más de una docena de profesionales en este ramo han tenido un entrenamiento internacional (Mutch *et al.* 1999).