

NÚMERO 3

GEO

CURIOSOS POR LAS CIENCIAS

MAX



MAX-PLANCK-GESELLSCHAFT

Entre septiembre de 1997 y mayo de 1998, gran parte del territorio que ocupa el Sudeste Asiático estaba envuelto en llamas. Así por lo menos referían los titulares de diarios: "Incendios infernales. No es la naturaleza, sino el hombre, el que destruye la selva virgen." – "Los incendios refuerzan el **efecto invernadero**" o "El *smog* es cada vez más espeso. Hay planes de evacuación". Tan sólo en Indonesia ardían descontroladamente o habían sido quemadas intencionalmente unas diez millones de hectáreas de bosque, equivalentes a toda la superficie que ocupan los bosques de Alemania. Más de 40 millones de personas en Indonesia, Malasia y Singapur sufrieron, en parte durante semanas, ante los efectos irritantes del humo. Aproximadamente 500 personas murieron, porque

TOLERANCIA CON LOS INCENDIARIOS

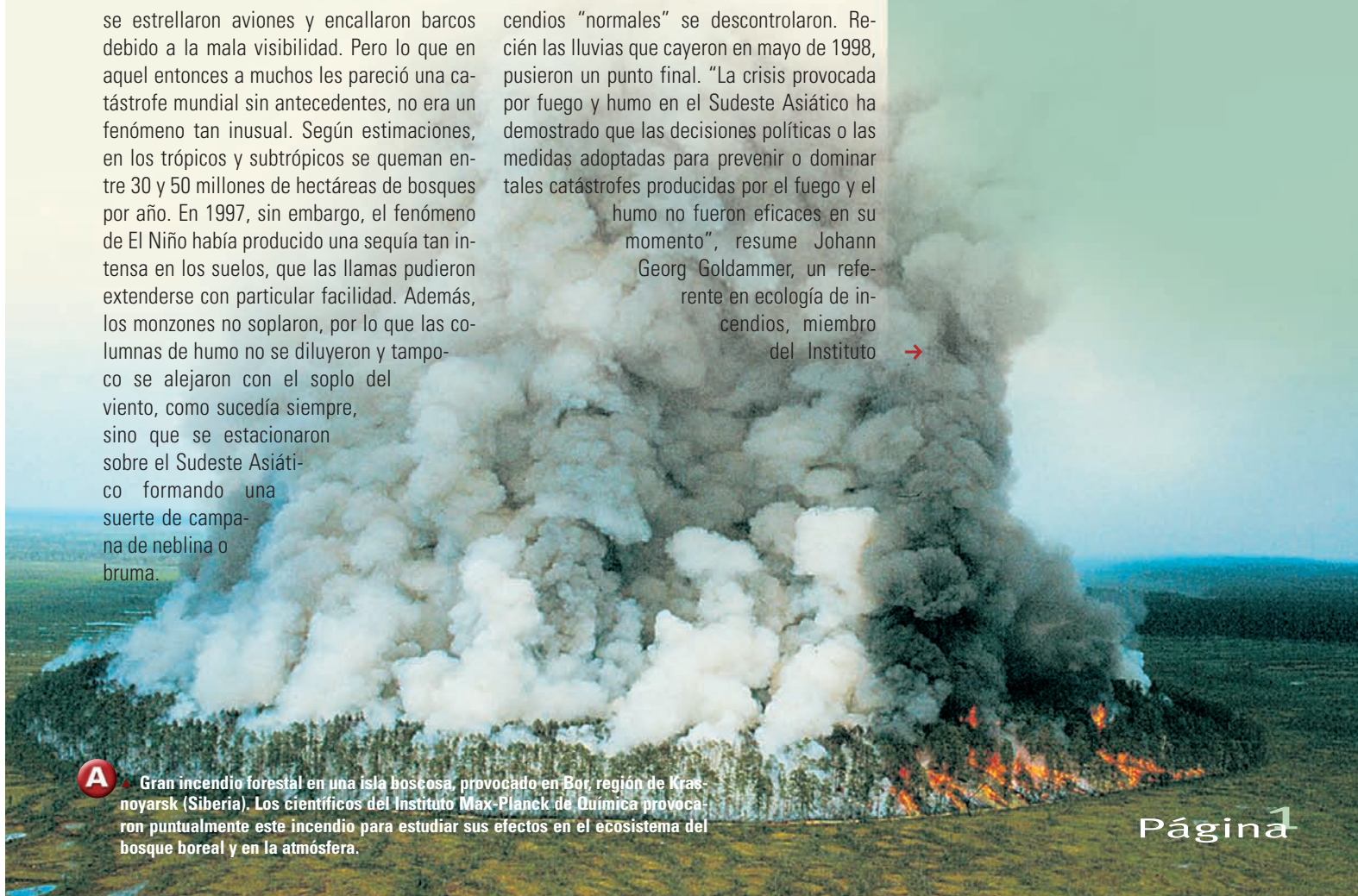
Los factores desencadenantes también son siempre los mismos cada año: en muchos países del Sudeste Asiático, en gran parte con autorización o con una actitud tolerante por parte de los gobiernos, primero se desmontan enormes superficies y luego se las prende fuego. Con este método se crean superficies de cultivo, en las cuales se plantan, ante todo, palmas oleíferas. Además, por la caída de rayos o por incendios provocados intencionalmente también se incendian varios millones de hectáreas de las llamadas selvas monzónicas o selvas tropicales estacionales. Y, finalmente, los campesinos del Sudeste Asiático queman enormes cantidades de paja de arroz y de otros residuos de plantas después de la cosecha. Pero en 1997, muchos de estos in-

Jugar con fuego

Porqué los incendios forestales recalientan la ciencia

se estrellaron aviones y encallaron barcos debido a la mala visibilidad. Pero lo que en aquel entonces a muchos les pareció una catástrofe mundial sin antecedentes, no era un fenómeno tan inusual. Según estimaciones, en los trópicos y subtrópicos se queman entre 30 y 50 millones de hectáreas de bosques por año. En 1997, sin embargo, el fenómeno de El Niño había producido una sequía tan intensa en los suelos, que las llamas pudieron extenderse con particular facilidad. Además, los monzones no soplaron, por lo que las columnas de humo no se diluyeron y tampoco se alejaron con el soplo del viento, como sucedía siempre, sino que se estacionaron sobre el Sudeste Asiático formando una suerte de campana de neblina o bruma.

Incendios "normales" se descontrolaron. Recién las lluvias que cayeron en mayo de 1998, pusieron un punto final. "La crisis provocada por fuego y humo en el Sudeste Asiático ha demostrado que las decisiones políticas o las medidas adoptadas para prevenir o dominar tales catástrofes producidas por el fuego y el humo no fueron eficaces en su momento", resume Johann Georg Goldammer, un referente en ecología de incendios, miembro del Instituto →



A Gran incendio forestal en una isla boscosa, provocado en Bor, región de Krasnoyarsk (Siberia). Los científicos del Instituto Max-Planck de Química provocaron puntualmente este incendio para estudiar sus efectos en el ecosistema del bosque boreal y en la atmósfera.

→ Max Planck de Química, con sede en Maguncia. Con su grupo de trabajo no sólo estudia las causas y los efectos de los incendios de vegetación en todo el mundo, sino que también asesora y apoya, principalmente, a los países en vías de desarrollo en cuestiones relativas a la gestión ordenada del fuego.

No fue a partir de la edad moderna que el hombre comenzó a quemar arbustos y árboles. En África, los ancestros de los actuales habitantes ya se valían del fuego hace 1,5 millones de años, primero para despejar superficies y así cazar animales salvajes, más adelante para practicar **agricultura itinerante**. Hasta la fecha, este tipo de prácticas con el fuego están ampliamente extendidas en los países tropicales de África, Asia y Sudamérica: una parte del bosque o de la sabana se quema, luego se cultiva el suelo, por lo general poco fértil, durante unos pocos años para más adelante abandonarlo nuevamente a su suerte. La naturaleza tiene la posibilidad de reconquistar estas áreas. No obstante, la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), estima que mediante la práctica de la agricultura itinerante y otras formas de explotación del suelo en los trópicos, cada año se destruyen definitivamente entre 10 y 20 millones de hectáreas de bosques. En términos relativos, los incendios naturales (provocados por impacto de rayos o erupciones volcánicas) desempeñan un rol cada vez menor. Al hacer estas comparaciones, los ecólogos en incendios dependen de estimaciones; porque a pesar de los importantes avances en el uso de satélites para la observación de la Tierra, la vigilancia mundial y sistemática de los incendios de vegetación, e incluso el registro de sus causas e impacto, todavía no es integral.

▼ **Investigadores miden las emisiones en un experimento con fuego en el marco de la iniciativa "Southern Africa Fire Atmosphere Research Initiative" (SAFARI por sus siglas en inglés) en el Parque Nacional Krüger de Sudáfrica.**

Este hecho dificulta el trabajo de los investigadores del clima que estudian el ciclo del carbono. Ellos también se interesan por los hechos relacionados con incendios en el planeta. Las preguntas planteadas son las siguientes: ¿cuánto carbono generado por incendios llega a la atmósfera por año? ¿Cuál es la proporción de carbono que permanece allí? ¿Qué porcentaje vuelve a "incorporarse" a las plantas que se regeneran?

ALARMA DE SMOG EN LA SELVA

En promedio, el 45% del peso seco de la biomasa de plantas consiste en carbono. Apenas comienza a arder, se produce ante todo dióxido de carbono (CO_2), uno de los gases de efecto invernadero, al que se le atribuye, entre otros, la responsabilidad por el incremento mundial de las temperaturas promedio. Los investigadores del clima observan este fenómeno desde comienzos del siglo pasado, cuando los humanos comenzaron a quemar grandes cantidades de carbón y de petróleo. Según estimaciones de los científicos, mediante la combustión de biomasa, ingresa a la atmósfera una cantidad equiparable a la mitad del CO_2 generado por el uso de combustibles fósiles. Esto equivaldría a unas cuatro mil millones de toneladas de carbono por año. En los incendios sin llama (de combustión incompleta) que se producen principalmente en las zonas pantanosas o en los bosques de coníferas, además se desprenden importantes cantidades de monóxido de carbono (CO), metano (CH_4) y otros hidrocarburos, junto con hidrógeno y ácidos orgánicos. Estos últimos vuelven a precipitarse al suelo en forma de "lluvia ácida". Por reacciones fotoquímicas, a partir del monóxido de carbono, de los hidrocarburos y de los óxidos de nitrógeno (NO_x) se produce, entre otros, ozono (O_3). Por eso, en las regiones tropicales alejadas de toda civilización, en la troposfera que se halla próxima al suelo, pueden alcanzarse concentraciones de ozono comparables con el *smog* de verano en países industrializados. Estos dañan a seres humanos, ani-

males y plantas. A la inversa, los incendios también contribuyen a que el ozono se degrade en la estratosfera y que, por lo tanto, se destruya el "filtro ultravioleta" del planeta. Los principales responsables de ello son, ante todo, los hidrocarburos que contienen bromo y cloro. Los científicos de Maguncia pudieron detectar concentraciones sorprendentemente altas de estos hidrocarburos en el transcurso de diversos incendios. Para finalizar diremos que el fuego incluso puede impedir que llueva, porque las finas partículas de humo (aerosoles) actúan como núcleos de condensación en las nubes. A igual cantidad de vapor de agua, por una "sobreoferta" de partículas se generan más gotitas de agua y por ende se termina formando neblina en lugar de lluvia. Además, la luz solar es reflejada por las partículas de humo, lo que conlleva a que la Tierra se enfríe. Las simulaciones de computadora muestran que si no hubiese incendios de vegetación, la temperatura promedio global de la superficie terrestre aumentaría unos dos grados.

INVESTIGADORES VERIFICAN EL BALANCE

En relación con los múltiples y en parte contradictorios efectos del fuego, a los investigadores del clima sobre todo les interesa saber si hay un llamado **efecto invernadero** neto en relación con los incendios de vegetación, es decir, si contribuyen al efecto invernadero global. Para las selvas tropicales que comprenden hasta 500 toneladas de biomasa vegetal por hectárea, esta pregunta puede contestarse de manera unívoca: aquí se proporciona la mayor parte del carbono a la atmósfera en caso de desmonte por incendio y la vegetación posterior fija comparativamente poco carbono: en áreas con pasturas sólo se regeneran unas diez toneladas de biomasa por hectárea. Esta diferencia de 490 toneladas equivale a una pérdida de 220 toneladas de carbono que se desplaza a la atmósfera o que, en forma de ceniza, es arrastrado por el agua de los suelos de bosques. Diferente es la situación del **balance de carbono** en las sabanas tropicales. Ocupan en el mundo entero una superficie mayor a dos mil millones de hectáreas, de las cuales se estima que cada año se incendian varios cientos de millones. Con ello, son las superficies de mayor tamaño que se queman regularmente, aportando significativas cantidades de carbono a la atmósfera. Pero como la vegetación de las sabanas se regenera rápidamente, en ecosistemas de sabana estables tienen un balance de carbono equilibrado.

B





INCENDIAR PARA LA CIENCIA

De todas formas, también los incendios de las sabanas producen importantes cambios en la atmósfera. A mediados de la década de 1980, con ayuda de mediciones satelitales, los científicos comprobaron por primera vez que cada año se acumulaban grandes cantidades de ozono, monóxido de carbono y otros compuestos químicos en la troposfera sobre el Atlántico Sur entre Sudamérica y el sur de África. Presumían que esta acumulación se debía a la **quema de bosques** en la Región Amazónica y a los incendios de sabanas y montes en África. Para confirmar sus presunciones, 150 científicos de 14 países prepararon durante dos años un colosal experimento con el fuego. Detrás de la abreviatura SAFARI - que tiene un sonido algo exótico - se oculta, en inglés, el nombre "*Southern Africa Fire-Atmosphere Research Initiative*". Se trata de una iniciativa coordinada por los científicos del Instituto Max Planck, Meinrat Andreae y Johann Georg Goldammer. En septiembre de 1992 había llegado el momento: los científicos prendieron fuego varias superficies pequeñas y dos zonas de sabana de unas 2.000 hectáreas respectivamente en el Parque Nacional Krüger, en Sudáfrica. El viento esparció velozmente las llamas de varios metros de altura sobre las superficies. A varios guardaparques se les había asignado la tarea de mantener circunscrito el fuego dentro de anchas franjas de seguridad. Provistos de equipos de análisis, una parte de los investigadores realizó sus estudios directamente debajo del penetrante humo (**Fig. B**); otro grupo, en cambio, había enterrado previamente los instrumentos de medición en el suelo o los había sujetado a torres de gran altura.

Los científicos de Maguncia reunieron sus datos, principalmente, del aire. Habían fletado una avioneta Cessna y un avión DC-3 y los convirtieron en laboratorios voladores. Se registró la concentración de numerosas sustancias gaseosas y sólidas sobre las superficies

incendiadas. Valores altos correspondieron al ozono, a los óxidos de nitrógeno, al formaldehído y a las partículas sólidas de hollín, todas éstas suspendidas sobre Sudáfrica, Zimbabue, Zambia, Angola, Namibia y Botsuana. Las emisiones no sólo provenían de los incendios SAFARI, sino también de los incendios de sabanas que estaban sucediendo simultáneamente en Zaire, Zambia, Angola y Tanzania. Sobre el Atlántico Sur, las concentraciones de sustancias dañinas realmente alcanzaron valores que hasta la fecha sólo se habían medido sobre Europa y Norteamérica. Con sus mediciones, los investigadores pudieron demostrar contundentemente que los incendios de vegetación en el sur de África impactan de manera considerable en el ambiente atmosférico y en el clima: un fenómeno que se produce desde hace cientos de miles o quizás millones de años.

TORMENTA DE FUEGO EN LA TAIGA

Pero las llamas no sólo arrasaron regularmente grandes superficies en el hemisferio sur del planeta. Casi un tercio de la masa forestal (equivalente a mil doscientos millones de hectáreas) se encuentra en Rusia, Norteamérica y Escandinavia. También aquí, las llamas arrasaron con vastas áreas. En Canadá y en Alaska los incendios anualmente afectan entre tres y siete millones de hectáreas de bosque, la mayoría de ellos se produce por impacto de rayos y no se combaten, porque ocurren lejos de las zonas pobladas. Hasta hace poco, existía muy poca información sobre los incendios forestales de la taiga rusa. Por eso, en 1993 Goldammer inició en Siberia el programa de investigación FIRESCAN (en inglés: *Fire Research Campaign Asia-North*). Los científicos iniciaron un incendio forestal en un bosque con forma de isla o anillo de unas 50 hectáreas de extensión, en medio de una zona pantanosa (**Fig. A**). 30 científicos de ocho países diferentes estudiaron el impacto del incendio en la vegetación y registraron las

▲ 1) Selva virgen, no inflamable; 2) Incendio rasante después de tala de madera; 3) La misma selva tres años después; 4) Estado de la regeneración una década después; 5) Impacto de un segundo fuego; 6) Fase final de destrucción del bosque por tala de madera e incendios naturales: el producto es una sabana de gramíneas, improductiva y pobre en especies.

emisiones con estaciones terrestres y con un helicóptero. Los resultados dieron cuenta de que gran parte de los árboles "resistentes al fuego" sobrevivieron a las llamas. Pero unos meses después, los barrenillos de la corteza y otros insectos destructores de madera comenzaron a reproducirse de manera masiva y provocaron la muerte de aquellos árboles. Los incendios de combustión incompleta de la capa de humus liberaron una cantidad inusual de bromuro de metilo, sustancia que participa de manera esencial en la reducción de la capa de ozono de la estratosfera. Hasta ahora, los investigadores habían partido del supuesto de que este gas sólo proviene de los océanos y de la degradación de pesticidas. Sin embargo, sus cálculos demostraron que en los incendios de bosques se producen hasta 50.000 toneladas de bromuro de metilo por año, lo que equivale aproximadamente a la cantidad que proviene de los océanos y por degradación de los pesticidas. Finalmente, los científicos descubrieron que hasta un 15% del carbono que se libera durante el incendio se transforma en carbón de leña, el llamado "negro de carbón" y que no llega a la atmósfera en forma de CO₂. Por eso, a largo plazo, también es posible retirar CO₂ de la atmósfera por medio de los incendios de bosques, siempre y cuando éstos se regeneren.

Ya hace tiempo que la vegetación de los típicos "paisajes propensos a incendiarse" se adaptó a los incendios que ocurren regularmente e incluso saca provecho de esta circunstancia. Así, por ejemplo, en los *fynbos* sudafricanos (una comunidad vegetal de carácter mediterráneo, muy rica en especies) se produce un incendio entre cada 30 y 50 →

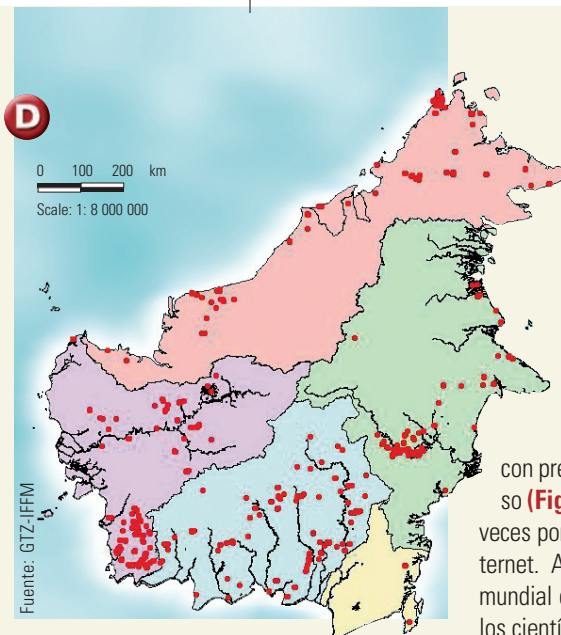
→ años. Los intervalos entre cada incendio incluso se mantienen con ayuda de incendios controlados, porque muchas plantas necesitan del fuego para regenerarse. Así, diversos pericarpios recién liberan el valioso contenido de sus vainas después de un fuego; otras semillas esperan “dormidas” en el suelo, hasta que las temperaturas del suelo, que aumentan por las llamas, las hagan brotar. Justamente por la influencia regular del fuego, en estos lugares existe una gran **diversidad de especies**. Incluso en los bosques de Norteamérica intensamente explotados, anualmente se incendian dos millones de hectáreas; en muchos parques nacionales, los incendios provocados por rayos no se sofocan. Estos fuegos rastrosos cumplen funciones de estabilización y regulación: cuanto más asiduamente puedan arder sin impedimentos, tanto menos biomasa vegetal muerta se acumulará entre periodos y tanto menor será la intensidad de los incendios. Además, con este fenómeno, la naturaleza abre lugar a los árboles e impone un límite a plagas y parásitos (Fig. C). Algunas especies arbóreas, como las especies de pinos y eucaliptos norteamericanos y australianos dependen directamente del fuego. Igual que en el caso de los arbustos de los *fynbos* sudafricanos, sus semillas alojadas en el interior de conos o en cubiertas seminales sólo se liberan cuando un calor extremo hace estallar los receptáculos que las almacenan.

Por cierto, algo similar también rige para Europa Central. La diversidad de especies puede ser mucho mayor en barbechos de explotación intensiva y regularmente quemados en Alemania, que en aquellos terrenos que quedan librados a su suerte. Por eso, los ecólogos de incendios del Instituto Max Planck de Química abogan porque en Alemania se vuelvan a permitir las diversas formas de **agricultura de corta y quema**,

▼ Esta foto tomada por el trasbordador espacial *Space Shuttle*, muestra el desmonte ocasionado por incendios en un macizo montañoso de Etiopía. Este tipo de documentación fotográfica ocasional, tomada desde el espacio, muestra muy bien como se produce e impacta el fuego.



Página



▲ En el centro de Borneo, Indonesia, se ha instalado una estación receptora de datos satelitales, cuyo seguimiento está a cargo del personal de la Sociedad Alemana de Cooperación Técnica (GTZ) y del Instituto Max-Planck de Química. Con ayuda de los datos satelitales, día a día se procesan imágenes sobre el estado de situación, que muestran incendios forestales y del tipo “corte y quema” (puntos rojos). El mapa que se reproduce aquí muestra la situación al 21 de agosto de 2001.

una práctica común hasta mediados del siglo XX, que luego fue prohibida.

Actualmente, Johann Georg Goldammer y sus colaboradores estudian cómo la quema controlada de superficies inutilizadas de la región vitivinícola próxima al conjunto montañoso Kaiserstuhl, en el Valle del Rin de Alemania, impacta en la vegetación y el paisaje. Por cierto: en relación con el impacto en el clima, con las acciones mecánicas para el cuidado del suelo, tales como el *mulching* (cubrir el suelo con sustancias orgánicas) o segar la vegetación a máquina, en ocasiones se obtiene un resultado peor que con la agricultura de corte y quema. Porque, en definitiva, las máquinas suelen consumir combustibles fósiles, reforzando así el efecto invernadero.

BOMBEROS EN LA RED

En 1998, los ecólogos de incendios de Maguncia fundaron el **Centro Mundial de Vigilancia de los Incendios** (*Global Fire Monitoring Centre*—GFMC) en una dependencia de la Universidad de Friburgo. Para analizar con todavía mayor precisión los grandes incendios de vegetación que ocurren en el mundo y mejorar la **prevención de catástrofes**, Goldammer y sus colegas recopilan a diario los respectivos datos satelitales. Decodifican estos datos y confeccionan mapas que muestran

531 Hot spots detected on 29 August 2001
Day-time 16:01 WIB; Treshold 310 K
NOAA 12; Source: FFPMP-PKA/JICA

- Hot Spot
- East Kalimantan
- Central Kalimantan
- South Kalimantan
- West Kalimantan
- Malaysia & Brunei

con precisión dónde hay incendios en progreso (Fig. D). Estos mapas se actualizan varias veces por semana, se archivan y se suben a Internet. Así se confecciona el primer archivo mundial de datos sobre incendios, que no sólo los científicos utilizan asiduamente. A modo de ejemplo: poco después de fundar el GFMC, Johann Georg Goldammer recibió un llamada telefónica de Etiopía. El ministro de agricultura y ganadería de ese país le comentó que después de tres años de sequía en el sur del país, se habían producido incendios de gran extensión y que estaban fuera de control (Fig. E).

Y le solicitó consejo al experto para combatirlos. Después de evaluar la situación en el lugar y de convocar a colegas expertos y oficinas de todo el mundo, Goldammer coordinó la intervención de, por momentos, casi 80.000 bomberos, principalmente soldados y estudiantes etíopes y habitantes de las aldeas afectadas. Por Internet, “el centro global de situación” informaba cada día a quienes tomaban las decisiones y a la opinión pública sobre el estado actual de la situación en el lugar de los hechos. El resultado: apenas un mes después, los incendios habían sido controlados. En el interín, también las Naciones Unidas han reconocido que en los países que no cuentan con ninguno o con escasos recursos propios, es necesario combatir estas catástrofes brindando apoyo internacional. Con motivo del Día de la Prevención de Catástrofes 2001, el GFMC fue distinguido por las Naciones Unidas con un premio.

PIE DE IMPRENTA

Sociedad Max-Planck, departamento de información y relaciones públicas, Hofgartenstraße 8, 80539 München / e-mail: presse@gv.mpg.de

Redacción: Dra. Christina Beck

Texto: Ute Hänslér

Traducción: Astrid Wenzel

Diseño: www.haak-nakat.de

La versión en español se hizo con el apoyo del DAAD y con fondos del Ministerio de Relaciones Exteriores de Alemania.

DAAD Deutscher Akademischer Austausch Dienst
Servicio Alemán de Intercambio Académico



SIEMENS

