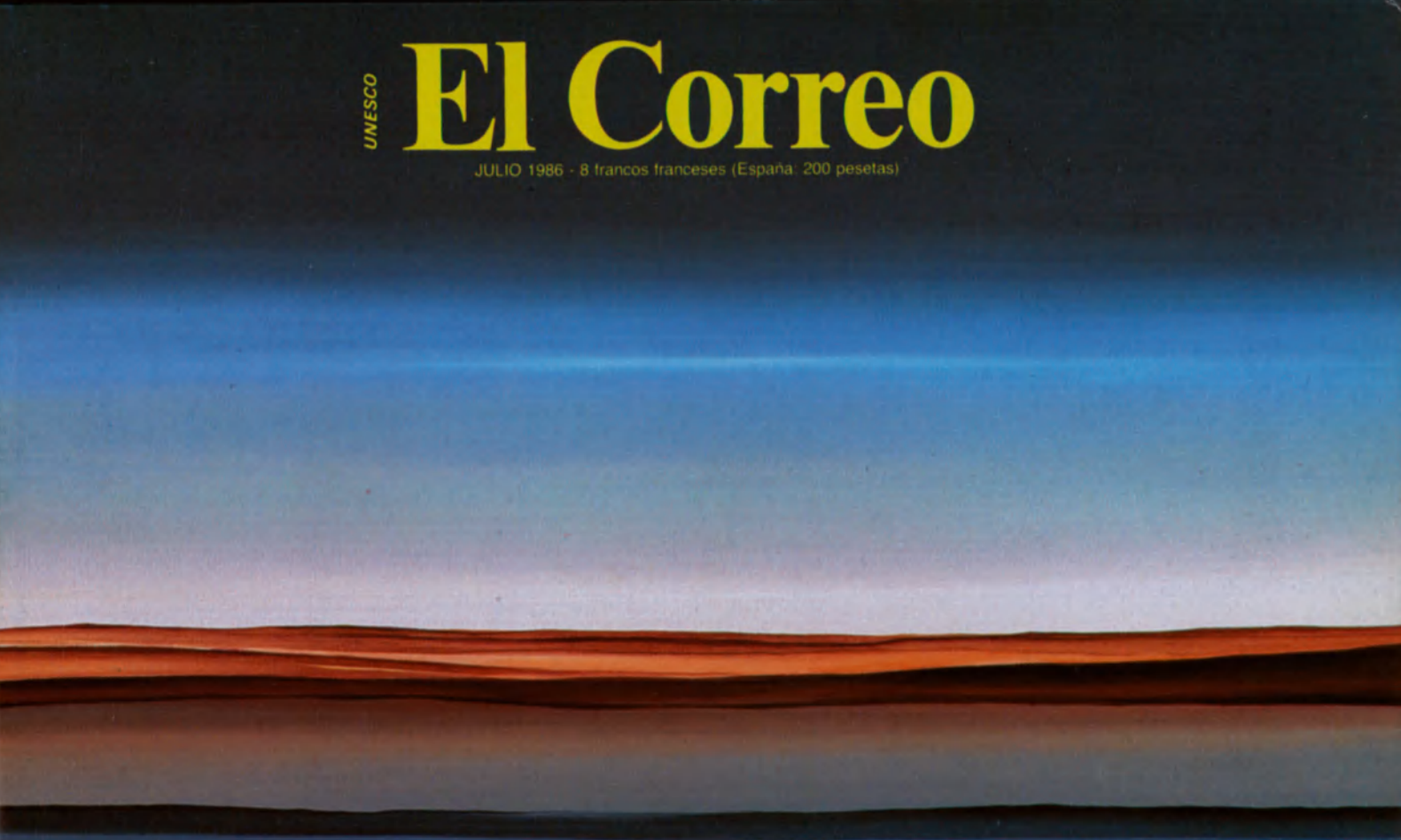
UNESCO

El Correo

JULIO 1986 - 8 francos franceses (España: 200 pesetas)



Historia de la Tierra



Foto Arnaud Borrel © Gamma, París

La hora de los pueblos

45 México

Un enemigo alevoso

Los terremotos son para el pueblo mexicano un enemigo funesto y alevoso. La ciudad de México, una de las más vastas y viejas capitales del mundo, está situada en una zona de la meseta central caracterizada por la actividad volcánica y por las fallas de la corteza terrestre cuyo origen es la remodelación de las zonas continentales del norte y del sur. En septiembre de 1985 la gran ciudad fue sacudida por un poderoso seísmo que produjo graves daños en el centro urbano. El desastre suscitó un movimiento sin precedentes de solidaridad internacional y fueron muchos los países que enviaron equipos para colaborar en las labores de rescate y de curación de los miles de víctimas.

UNESCO **El Correo**
Una ventana abierta al mundo

Este número

Julio 1986
Año XXXIX

COMPARADA con la inmensidad del Universo la Tierra que habitamos es una minúscula mota de metal y roca. Tercer planeta del sistema solar a partir del Sol en torno al cual gira a una velocidad de 29,8 kilómetros por segundo, la Tierra se sitúa entre Venus y Marte, a la distancia exacta de aquel (149.573.000 kilómetros) necesaria para escapar a la calcinación por un calor perpetuo y al congelamiento por un frío sin fin.

El presente número de *El Correo de la Unesco* se propone ofrecer a sus lectores una descripción sencilla de la génesis de nuestro planeta y de los principales mecanismos geológicos que regulan su agitación incesante. Porque, aunque llamemos *"terra firma"* a la superficie de tierra que habitamos, las grandes placas continentales están en movimiento constante. A veces chocan entre ellas y al encorvarse en el punto del choque forman imponentes cadenas de montañas o son sacudidas por violentos terremotos o sus hornos interiores vomitan rocas fundidas en las erupciones volcánicas. Mientras tanto, se forma una corteza nueva en los suelos oceánicos y la vieja es absorbida y reciclada en el magma candente del manto terrestre.

A la escala del tiempo geológico, el hombre es un recién llegado a este planeta. Si imaginamos que los 3.900 millones de años transcurridos desde la solidificación de la corteza terrestre quedan reducidos a un año de nuestro calendario, el *Homo sapiens* sólo entra en escena el 31 de diciembre unos ocho minutos y medio antes de la medianoche, o sea hace 100.000 años.

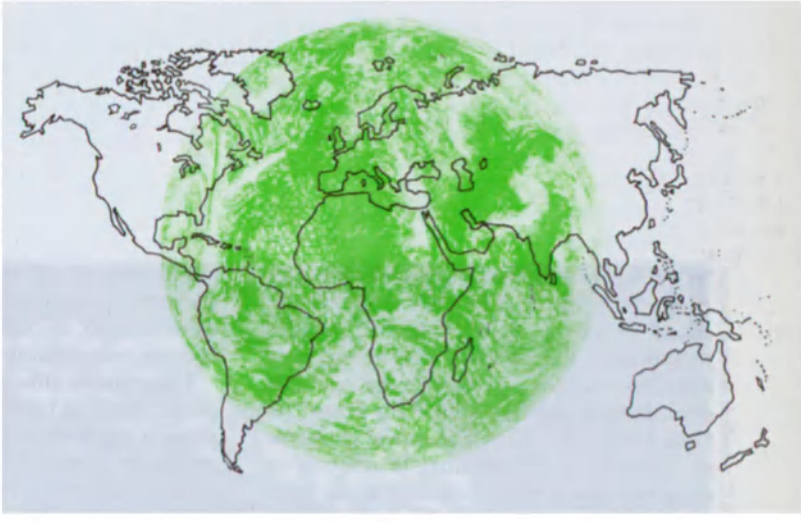
En el último medio segundo de esa escala de tiempo el hombre se ha convertido en sí mismo en una fuerza geológica importante capaz de deteriorar e incluso de destruir el medio ambiente que le rodea. El daño que los seres humanos ocasionan al entorno natural se debe principalmente a la ignorancia. Por ejemplo, aun no sabemos lo suficiente acerca de los efectos a largo plazo del uso generalizado de fertilizantes y de plaguicidas químicos ni de la forma de evitar que continúe la desertificación causada por el hombre ni de cómo hacer el mejor uso posible de nuestra más reciente fuente de energía, la energía nuclear.

Con sus principales programas científicos internacionales, la Unesco se sitúa en la vanguardia de la batalla por hacer que nuestro planeta siga siendo habitable. Porque incluso en el caso de que haya otras Tierras en las vastas extensiones del Universo, ellas están fuera de nuestro alcance. Debemos pues cuidar nuestro planeta, porque no tenemos otro lugar a donde ir.

Nota: Sugerimos a nuestros lectores que lean el presente número de El Correo de la Unesco *juntamente con otros dos, dedicados a la "Historia del Universo" (septiembre de 1984) y a "Los océanos, un mundo por descubrir" (febrero de 1986).*

Algunas fotografías y diagramas del presente número se reproducen gracias a la amable autorización del Geological Museum de Londres, al que expresamos nuestro agradecimiento.

Nuestra portada: Océane Pyrénées, 1985, acrílico sobre tela de Georges Servat, 116 x 73 cm. Galerie Jean-Pierre Lavignes



4 Cómo se formó el planeta azul
por John Gribbin

6 Señas de identidad del globo

8 La tierra por dentro

9 Nuestro lugar en el sistema solar

10 Continentes a la deriva

12 El tiempo geológico

12 La lenta formación del paisaje

15 Una trilogía de rocas

16 Perforando en lo desconocido
por Yevgueni Kozlovski

23 Cuando la Tierra tiembla
El arte incierto de predecir los terremotos
por E.M. Fournier d'Albe

27 Los volcanes, fraguas del planeta
por Haroun Tazieff

32 La larga cadena de la vida

33 ¿Son los cometas el origen de la vida terrestre?
por Chandra Wickramasinghe

35 La mano del hombre
por Stephen Boyden y Malcolm Hadley

38 Año Internacional de la Paz / 6

2 La hora de los pueblos
MEXICO: Un enemigo alevoso

Jefe de redacción: Edouard Glissant

Revista mensual publicada en 32 idiomas por la Unesco, Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura
7, Place de Fontenoy, 75700 París.

Español **Francés** **Inglés** **Ruso** **Alemán** **Arabe** **Japonés**
Italiano **Hindi** **Tamul** **Hebreo** **Persa** **Portugués** **Neerlandés**
Turco **Urdu** **Catalán** **Malayo** **Coreano** **Swahili** **Croata-serbio**
Esloveno **Macedonio** **Serbio-croata** **Chino** **Búlgaro** **Griego** **Cingalés**
Finés **Sueco** **Vascuence** **Tai**

Se publica también trimestralmente en braille, en español, inglés, francés y coreano.

ISSN 0304-310 X
Nº 7 - 1986 - CPD - 86 - 3 - 435 S

Cómo se formó el

EN el principio era la nada. El espacio, el tiempo y la materia del Universo en el que vivimos fueron creados juntamente, hace unos 15.000 millones de años, en una bola de fuego de inconcebible densidad a la que llamamos "Big Bang" (el Gran Estallido). A medida que el Universo se expandía y se enfriaba, la materia se dispersó en una estructura más tenue hasta que inmensas nubes de hidrógeno empezaron a agregarse para terminar por separarse y desplomarse hacia su interior formando estrellas y galaxias. Hace aproximadamente 10.000 millones de años, las galaxias como nuestra propia Vía Láctea, cada una formada por unos cuantos miles de millones de estrellas, se configuraron como unidades básicas del Universo. Dentro de cada galaxia las estrellas nacen, viven y mueren recorriendo sus largas órbitas en torno al centro galáctico, mientras las galaxias mismas se alejan cada vez más unas de otras al seguir expandiéndose el Universo.

Nuestro Sol y el sistema del que es centro son productos típicos del entorno galáctico, pero ese Sol no fue una de las primeras estrellas que brillaron en la noche cósmica. Esas primerísimas estrellas contenían *solamente* hidrógeno y un poco de helio; todos los demás elementos se crearon por reacción nuclear en el interior de las estrellas y se dispersaron luego por todo el Universo al estallar las primeras estrellas. De modo que cuando nació nuestro Sol, hace sólo un poco más de 4.500 millones de años, se formó a partir de una nube de hidrógeno que contenía en abundancia otras materias tales como hierro, carbono, oxígeno y nitrógeno, materias que fueron "sedimentándose" desde la nube para formar los planetas.

Los planetas del sistema solar se distinguen entre sí esencialmente a causa de su distancia respecto del Sol. Los más cercanos al Sol en formación hubieron de soportar el máximo calor, lo que hizo que se dispersaran en el espacio numerosas materias ligeras. Esa es la razón de que Mercurio, Venus, la Tierra y Marte sean objetos pequeños y rocosos. En cambio, lejos del horno solar, incluso los gases ligeros como el metano y el amoniaco podían ser captados y conservados por un planeta en formación. Resulta por ello que los planetas gigantes, a saber Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno, contienen probablemente la misma cantidad de rocas que la Tierra pero esas rocas están profundamente enterradas bajo las capas de su atmósfera gaseosa. No vamos a ocuparnos aquí de este punto, pero es interesante e informativo hacer algunas comparaciones entre nuestro propio hogar en el espacio, el planeta Tierra, y nuestros vecinos más próximos, Venus y Marte.

La pequeña nube de materia que se desplomó hacia su centro para formar nuestro planeta y que era parte de otra nube mayor origen de nuestro sistema solar se componía probablemente sobre todo de silicio, óxidos de hierro y óxidos de magnesio, con una pequeña cantidad de todos los demás elementos, incluidos los indispensables para la vida. Al formarse la Tierra, se calentó. En primer lugar, la fuerza gravitatoria se convirtió en calor a medida que las partículas se precipitaban y chocaban con el protoplaneta. Además, los elementos radioactivos del interior del planeta en crecimiento aportaron su parte de calor al desintegrarse y convertirse en elementos estables —proceso que continúa aun hoy día aunque a ritmo más lento. En las primeras decenas o centenas de millones de años de su existencia el joven planeta rico en hierro debía de hallarse en estado de fusión, por lo cual glóbulos de hierro fundido penetraron hasta el núcleo de la Tierra a través de la materia rocosa más ligera, la cual quedó flotando en la parte superior y, al enfriarse la corteza, formó una sólida envoltura. La materia que forma la corteza terrestre sobre la cual vivimos no es característica de la materia de que se compone lo esencial de nuestro planeta, y aun menos representativa de éste es la materia de que está formada la atmósfera que respiramos.

La corteza terrestre contiene un seis por ciento de hierro, mientras que ese porcentaje es del treinta y cinco por ciento en el planeta en su conjunto; el silicio, que representa sólo el quince por ciento de la masa del planeta, constituye el veintiocho por ciento de la corteza, combinándose con el oxígeno para formar las rocas silíceas. Los continentes están formados en su mayor parte por rocas más ligeras, principalmente granito, pero el fondo del océano es de basalto, bastante más pesado. Desde su superficie hasta su centro la Tierra presenta una serie de capas como una cebolla, situándose la materia más ligera en la parte exterior y la más densa en el núcleo. Este proceso de separación estaba más o menos terminado hace 3.900 millones de años, 600 millones después de la formación del planeta. Esto es algo que los geofísicos han podido averiguar al fechar las rocas más antiguas de la corteza terrestre, recurriendo para ello a la medición de su radioactividad residual; y en cuanto a la estructura estratificada o en capas del planeta, la conocen gracias al estudio de las ondas sísmicas, las cuales resultan curvadas o torcidas por las distintas capas. De todos modos, de este modo sólo puede trazarse en sus líneas generales la imagen del interior de la Tierra. El gran geofísico Sir Edward Bullard me decía en una ocasión que "determinar la estructura de la Tierra mediante el estudio de los terremotos es como si un ciego tratara de determinar la estructura de un piano de cola escuchando simplemente el sonido que produce si se le deja caer escaleras abajo." Y es literalmente cierto que los hombres de ciencia saben más de la composición de las estrellas remotas que de la del interior de la Tierra (al fin y al cabo, a las estrellas las vemos).

Pero por lo menos conocemos en sus líneas generales esa estructura del núcleo terrestre. Vivimos en una bola rocosa que tiene un radio medio de 6.372 kilómetros, ligeramente achatada en los polos. La piel exterior, o corteza, representa sólo el 0,6 por ciento del volumen total del planeta. Debajo de la corteza, cuyo espesor varía entre cinco y treinta y cinco kilómetros, hay un límite o frontera muy marcado que recibe el nombre de Discontinuidad de Mohorovicic, o Moho, la cual señala el comienzo del manto, capa que alcanza una profundidad de 2.900 kilómetros y representa el ochenta y dos por ciento del volumen de la Tierra. En la parte superior el manto se halla parcialmente en estado de fusión formando una especie de papilla espesa o de masa de hielo medio derretido y viscoso. Esta zona de fragilidad, llamada astenosfera, es de gran importancia porque la corteza situada encima puede moverse sobre ella, lo que permite que los continentes se desplacen por la superficie del globo (ver el recuadro de la pág. 6). El manto parece estar formado por tres zonas: el manto superior, con un espesor de unos 370 kilómetros, una zona de transición de aproximadamente 600 kilómetros y el manto inferior, que tiene 1.900 kilómetros de espesor.

Bajo el manto se halla el núcleo, formado por un núcleo exterior de 2.100 kilómetros de espesor y un núcleo interior cuyo radio es ▶

Cómo se transformó una nube de gas en un rocoso planeta: la Tierra

planeta azul

por John Gribbin

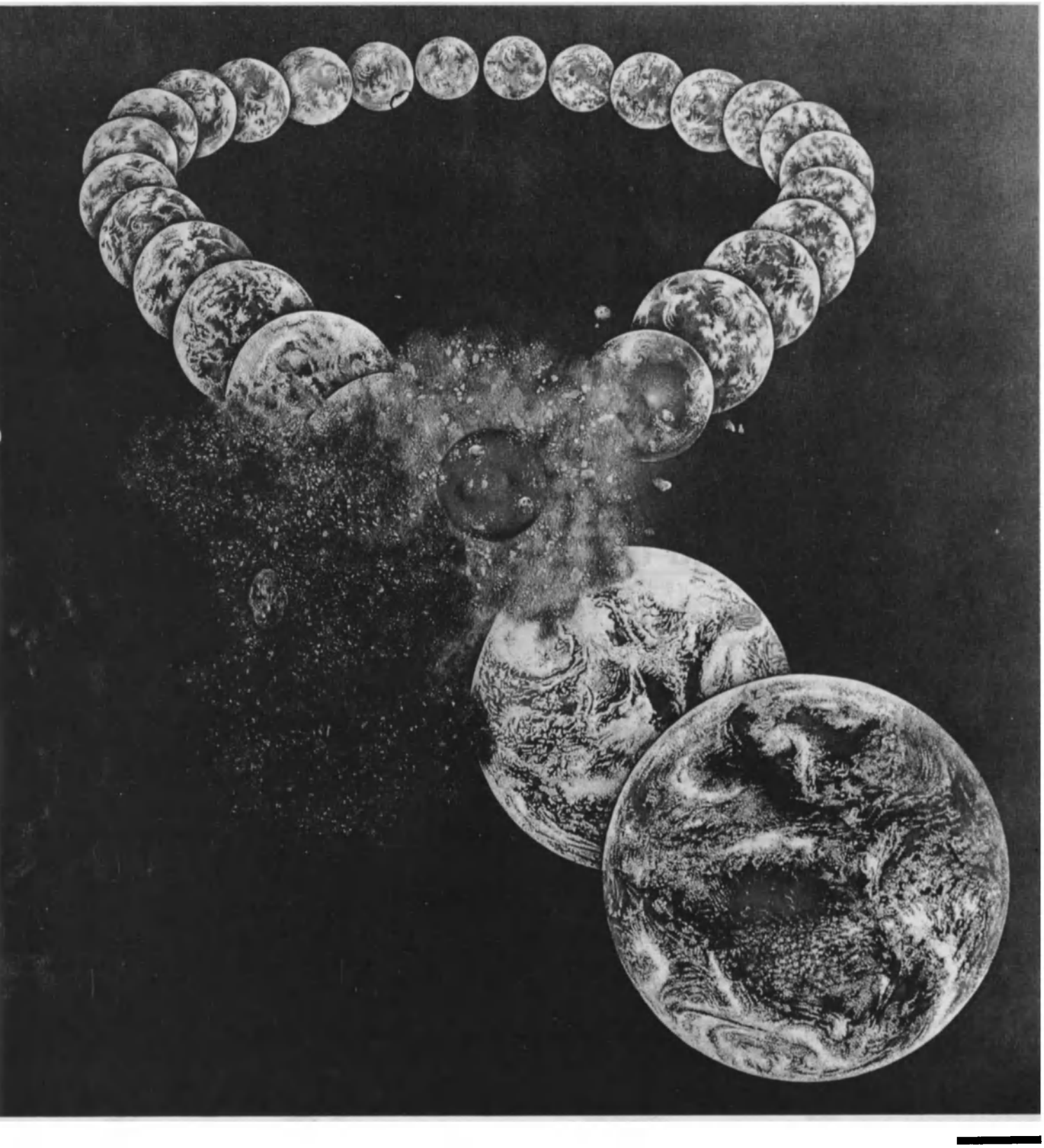


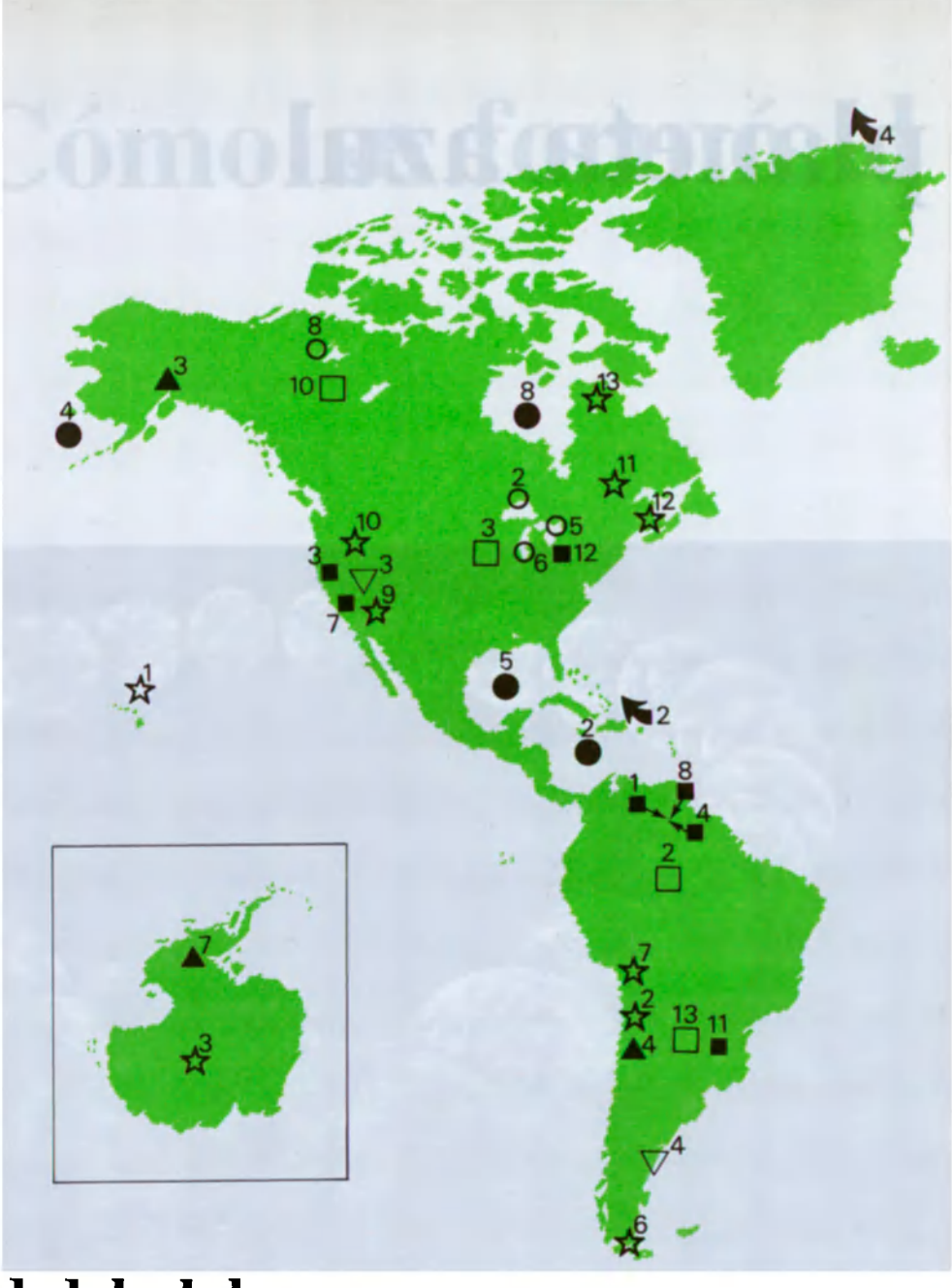
Foto © Geological Museum, Londres

de 1.370 kilómetros, en el centro de la Tierra. Esta es la región del hierro líquido donde se genera el campo magnético del planeta.

Venus y Marte son planetas rocosos como la Tierra y se formaron de la misma manera que éste. Pero nuestro planeta está cubierto de océanos acuosos, mientras que Marte es un planeta helado y seco con una delgada atmósfera y Venus tiene una atmósfera sobremanera densa que recubre una superficie candente. Esas diferencias parecen ser resultado directo de las diferencias en la distancia de los planetas con respecto al Sol.

Astrónomos y geofísicos creen hoy que los tres planetas carecían de atmósfera inmediatenmente después de enfriarse. Los gases que estuvieran presentes en el momento de la formación fueron barridos por el calor del Sol. La simple física nos enseña cuál es la temperatura de la superficie de cada una de las tres bolas rocosas, a sus respectivas distancias del Sol, después de que éste se estabilizara manteniendo una radiación constante. En Venus la temperatura estable, a la cual el calor que llega del Sol compensa exactamente la radiación que escapa del planeta, es de 87 grados centígrados, mientras en Marte la cifra es de -30 grados centígrados. Téngase presente que estas cifras corresponden a planetas *sin atmósfera*.

En cada uno de los tres planetas comenzó a formarse una atmósfera cuando la actividad volcánica produjo bióxido de carbono y vapor de agua (por sorprendente que parezca, una de las cosas principales que surgen ▶



Señas de identidad del globo

LA TIERRA

Peso: 5.973.502.000.000.000.000.000 de toneladas
Circunferencia en el ecuador: 40.075 km
Superficie : 510.074.600 km²
Tierra firme: 148.940.540 km²
Agua: 391.134.060 km²

LOS CONTINENTES

	Superficie (km²)	▲ Punto más alto (metros)	▽ Punto más bajo (metros)	Población
Asia	43.998.920	1 Everest 8.848	1 Mar Muerto -396	2.048.898.000
Africa	29.800.540	2 Kibo Kilimanjaro 5.895	2 Lago Assal -156	344.000.000
América del Norte	24.320.100	3 McKinley 6.194	3 Valle de la Muerte -86	314.970.000
América del Sur	17.599.050	4 Aconcagua 6.960	4 Península de Valdés -40	186.013.000
Europa	9.699.550	5 Elbruz 5.642	5 Mar Caspio -28	637.943.000
Australia	7.687.120	6 Kosciusko 2.228	6 Lago Eyre -16	12.200.000
Antártida	14.245.000	7 Macizo de Vinsson 5.139	7 Se ignora	

PRINCIPALES CATARATAS ■

		Altura (metros)
1	Angel	979
2	Tugela	948
3	Yosemite	739
4	Cuquenán	610
5	Sutherland	580
6	Mardalsfossen	517
7	Ribbon	491
8	Rey Jorge VI	488
9	Gavarnie	422
10	Victoria	108
11	Iguazú	72
12	Niágara	59

LOS RIOS MAS LARGOS □

		Longitud (km)
1	Nilo	6.669
2	Amazonas	6.436
3	Misisipí-Misuri	5.969
4	Obi-Irtish	5.567
5	Yangtse	5.471
6	Hoangho	4.827
7	Congo	4.373
8	Amur	4.344
9	Lena	4.312
10	Mackenzie-Peace	4.240
11	Mekong	4.183
12	Níger	4.183
13	Paraná	4.023
14	Murray-Darling	3.717
15	Volga	3.685



PRINCIPALES LAGOS

		Superficie (km²)	Profundidad máxima (metros)
1	Mar Caspio	371.795	995
2	Superior	82.362	406
3	Victoria	69.485	81
4	Mar de Aral	65.527	68
5	Hurón	59.570	229
6	Michigán	58.016	282
7	Tanganica	32.893	1.417
8	Gran Oso	31.792	413
9	Baikal	30.510	1.620
10	Nyasa	29.604	678

LOS OCEANOS

	Superficie (km²)		Máxima profundidad (metros)
Pacífico	166.242.517	1 Fosa de las Marianas	11.033
Atlántico	86.557.800	2 Fosa de Puerto Rico	8.648
Indico	73.427.795	3 Fosa de Java	7.725
Artico	13.223.763	4 Cuenca de Eurasia	5.450

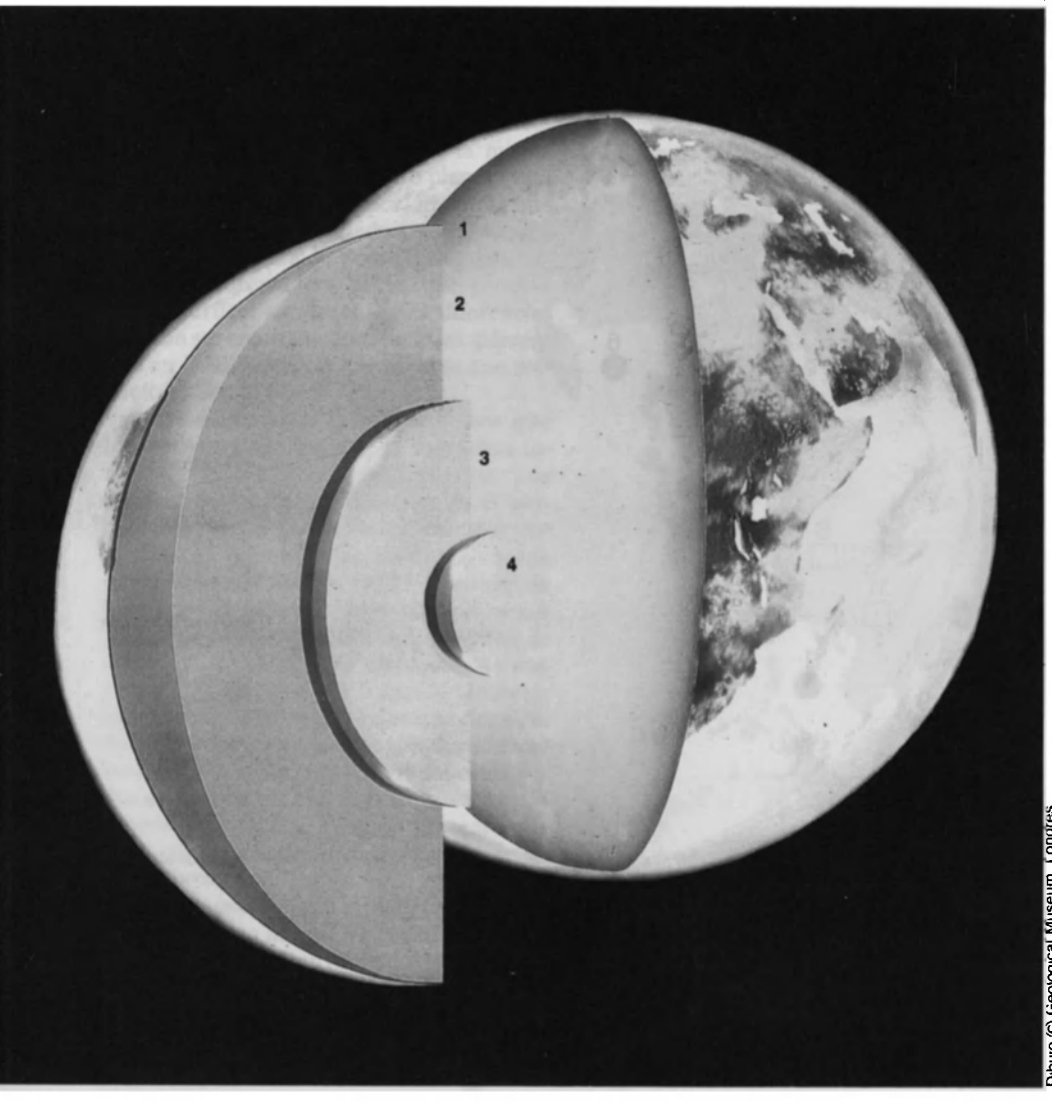
Fuente : *National Geographic Society*, Washington, D.C.

PRINCIPALES MARES

		Superficie (km²)	Profundidad media (metros)
1	Mar del Sur de China	2.974.615	1.464
2	Mar Caribe	2.515.926	2.575
3	Mar Mediterráneo	2.509.969	1.501
4	Mar de Bering	2.261.070	1.491
5	Golfo de México	1.507.639	1.615
6	Mar de Ojotsk	1.392.125	973
7	Mar del Japón	1.012.949	1.667
8	Bahía de Hudson	730.121	93
9	Mar de Andamán	564.879	1.118
10	Mar Negro	507.899	1.191
11	Mar Rojo	452.991	538
12	Mar del Norte	427.091	308
13	Mar Báltico	382.025	55

ALGUNOS MAXIMOS TERRESTRES

1. **Lugar más lluvioso:** Monte Waialeale, Hawai; promedio anual: 11.680 mm
2. **Lugar más seco:** Desierto de Atacama, Chile; apenas llueve.
3. **Lugar más frío:** Vostok, Antártida; -88 grados centígrados (temperatura registrada en agosto de 1960)
4. **Lugar más caluroso:** Al'Aziziyah, Libia; 58 grados centígrados (temperatura registrada en septiembre de 1922)
5. **Ciudad más septentrional:** Ny Alesund, Spitzberg, Noruega
6. **Ciudad más meridional:** Puerto Williams, Chile
7. **Ciudad más alta:** Aucanquilcha, Chile; 5.334 metros
8. **Ciudad más baja:** Aldeas junto al mar Muerto; -396 metros
9. **Garganta más grande:** Gran Cañón del río Colorado, Arizona, EUA; 349 kilómetros de largo, de 6 a 21 de largo y 1,6 de profundidad
10. **Garganta más profunda:** Cañón de Hells en el río Snake, Idaho, EUA; 2.408 metros
11. **Viento de superficie más fuerte:** 372 kilómetros por hora (registrado en 1934)
12. **Mayores mareas:** Bahía de Fundy, Nueva Escocia, Canadá; 16 metros
13. **Mayor cráter producido por un meteorito:** Nuevo Quebec, Canadá; 3 kilómetros de ancho



Dibujo © Geological Museum, Londres

(1) Corteza: Granito (continentes) Basalto (océanos) **(2) Manto:** Peridotita **(3) Núcleo exterior:** Hierro (líquido) **(4) Núcleo interior:** Hierro (sólido)

La Tierra por dentro

El interior de la Tierra es una estructura estratificada. El estrato o capa exterior es la corteza; debajo de ella se encuentra el manto y, en el centro, el núcleo. Las temperaturas y presiones dentro de la Tierra son sumamente altas; así, se calcula que en el núcleo la temperatura es de unos 3.500 grados centígrados y la presión de 3.750 toneladas por centímetro cuadrado.

La corteza. En relación con la Tierra en su conjunto, la corteza es tan delgada como un sello de correos pegado en un balón de fútbol. Consiste en una fina capa de roca menos densa que el manto del que se ha derivado gracias a un complejo proceso de muchos millones de años. Hay dos tipos de corteza: la continental que, como su nombre indica, forma los continentes, y la oceánica que forma los suelos marinos. La primera es menos pesada y mucho más delgada que la corteza oceánica. Es, asimismo, mucho más antigua: algunas partes de la corteza continental tienen más de 3.500 millones de años, mientras que ningún lugar de la oceánica tiene más de 200 millones.

La discontinuidad de Mohorovicic: nombre dado a la frontera bien marcada entre la corteza y el manto.

La astenosfera. Es la parte más alta —más caliente, más delgada y parcialmente en fusión— del manto superior, cuya consistencia semeja la de una papilla espesa. Su importancia radica en que permite que se muevan las placas rígidas de la corteza que se sitúa sobre ella.

El manto superior. Suponen los científicos que está formado por rocas densas de color oscuro, probablemente peridotitas y quizás también dunitas y eclogitas hechas de silicatos ricos en hierro y en magnesio. Fragmentos de estas rocas pueden encontrarse en los volcanes, provenientes del magma (rocas fundidas) que se origina en el manto.

La zona de transición. En esta región, donde el manto superior se va convirtiendo gradualmente en el inferior, las altas presiones cambian la estructura de los minerales.

El manto inferior. Los minerales que lo forman son probablemente óxidos simples con estructuras muy compactas producidas por las altas presiones.

El núcleo. Con una densidad casi dos veces mayor que la del manto, el núcleo está probablemente compuesto de hierro con un poco de azufre y de silicio disueltos. El campo magnético de la Tierra se origina en el núcleo exterior, que se halla en estado de fusión. Se supone que el núcleo interior es sólido.

▶ del candente horno de un volcán es vapor de agua). Aunque los 87 grados centígrados están todavía por debajo de la temperatura de ebullición del agua, la temperatura de Venus era ya lo bastante alta para que una gran parte del vapor de agua que salía con los gases de los volcanes permaneciera en la atmósfera junto al bióxido de carbono. Tanto el vapor de agua como el bióxido de carbono resultan muy eficaces para captar la radiación infrarroja —proceso que se conoce con el nombre de "efecto de invernadero". De ese modo era menor la cantidad de calor que podía escapar del planeta al espacio y, consiguientemente, su temperatura se incrementó rápidamente por encima del punto de ebullición del agua, intensificándose el proceso a medida que aumentaba el vapor de agua de la atmósfera. En adelante todos los gases producidos por los volcanes permanecían en la atmósfera haciéndola más espesa e intensificando el efecto de invernadero. En Marte ocurrió lo contrario. Quizá al principio el agua fluyó por el planeta durante un breve periodo, pero pronto se heló. Venus es un desierto caliente, Marte es un desierto frío. En cambio, la Tierra es diferente.

En nuestro planeta la temperatura era suficientemente alta para que fluyera el agua en estado líquido, pero no lo bastante para que el vapor de agua pudiera producir un efecto de invernadero incontrolable. Lo que se produjo fue más bien lo contrario: las aguas cálidas de los jóvenes océanos disolvieron el bióxido de carbono tomándolo de los restos de aire, que formaban una atmósfera mucho más delgada que la de Venus, mientras las nubes blancas de la atmósfera impedían que pasara una parte del calor solar, lo que hizo que el planeta se enfriara. Según los astrónomos, no es pura coincidencia que el volumen de bióxido de carbono en la atmósfera de Venus sea hoy más o menos el mismo que el del contenido en las rocas carbonatadas, como la piedra caliza, depositadas a partir del agua oceánica en toda la Tierra. Si nuestro Sol hubiera irradiado un poco más de calor, también la Tierra habría sido un desierto abrasador con una densa atmósfera de bióxido de carbono; pero, en tal caso, Marte sería lo bastante caliente para que en él existiera agua y floreciera la vida. O bien supongamos que el Sol fuera un poco más frío; nuestra Tierra podría haber acabado como Marte, pero, en cambio, Venus se habría convertido en un placentero planeta provisto de océanos y de nubosos y azules cielos. La conclusión parece ser que un planeta semejante a la Tierra es un elemento casi inevitable de cualquier sistema a base de una estrella semejante al Sol.

En el caso de nuestro sistema solar, ocurre simplemente que el tercero de los planetas por su distancia respecto del Sol estaba ya provisto, hace unos 3.500 millones de años, de océanos acuosos, continentes, una atmósfera de bióxido de carbono y una temperatura confortable. Quedaban así establecidas las condiciones para que apareciera la vida y para que ésta comenzara a transformar el medio ambiente del planeta, pero ésta es ya otra historia.

¿Y qué decir del futuro? Nuestro Sol existe en forma más o menos estable desde

hace 4.000 millones de años, manteniendo su irradiación térmica al quemar en su interior hidrógeno y transformarlo en helio. Naturalmente, con el tiempo se agotará el hidrógeno en él existente. Cuando tal ocurra, la parte más interior del Sol se desplomará ligeramente volviéndose aun más caliente como resultado de las reacciones nucleares de fusión que convertirán el helio en carbono. Como consecuencia de este aumento de la temperatura en el núcleo solar las capas exteriores se expandirán y el astro se convertirá en una estrella gigante roja que atraerá hacia así los planetas más cercanos reduciéndolos a cenizas.

Pero no nos dejemos llevar por el pánico. Nuestro Sol está sólo a mitad de camino de su ciclo vital y cuando decimos "con el tiempo" queremos decir otros 4.000 millones de años o más. El destino del hombre está aun en sus manos, no en las de las estrellas. □

JOHN GRIBBIN, *astrofísico y escritor científico británico, ha sido investigador de la Universidad de Sussex y es consultor de la revista* New Scientist. *Ha escrito numerosos libros sobre astronomía, geofísica y cambios climáticos, además de dos novelas. En 1974 recibió el principal premio británico para la divulgación científica. Entre sus libros sobre astrofísica cabe citar* White Holes *(Agujeros blancos) y* Genesis: The Origins of Man and the Universe *(Génesis: Los orígenes del hombre y del universo).*

Nuestro lugar en el sistema solar

Sol

Horno nuclear que transforma el hidrógeno en helio liberando una ingente cantidad de energía. Estrella central del sistema solar de cuya masa representa el 99 por ciento. Temperatura media en la superficie: 17 millones de grados centígrados. Diámetro: 1,39 millones de kilómetros. Distancia de la Tierra: 150 millones de kilómetros.

Mercurio

Denso, probablemente metálico en parte. Quizá posea una delgada atmósfera. Temperatura media a mediodía: 350 grados centígrados. Diámetro: 4.840 kilómetros. Distancia del Sol: 57,9 millones de kilómetros.

Venus

Semejante a la Tierra por su composición. Envuelta en una densa atmósfera de bióxido de carbono. Temperatura en la superficie: 300 grados centígrados. Diámetro: 12.104 kilómetros. Distancia del Sol: 108,2 millones de kilómetros.

Tierra

Composición: capas de silicatos en torno a un núcleo metálico. Posee agua y una atmósfera de nitrógeno e hidrógeno, lo que permite la vida. Temperatura en la superficie: entre 60 y -90 grados centígrados. Diámetro: 12.756 kilómetros. Distancia del Sol: 150 millones de kilómetros.

Marte

Su superficie posee cráteres semejantes a los de la Luna pero también rasgos de tipo terrestre como cañones y volcanes. La atmósfera es de bióxido de carbono con pequeñas cantidades de nitrógeno y de agua. Ninguna prueba de que exista vida. Temperatura en la superficie: (?) 20 grados centígrados en el ecuador. Diámetro: 6.760 kilómetros. Distancia del Sol: 227,9 millones de kilómetros.

Asteroides

Pequeños cuerpos en órbita entre Marte y Júpiter. La mayoría tienen un diámetro de menos de un kilómetro. Distancia media del Sol: 414,4 millones de kilómetros.

Júpiter

Planeta gigante y helado al que envuelve una espesa atmósfera de hidrógeno y helio. Poderosa fuente de energía. Diámetro: 142.700 kilómetros. Distancia del Sol: 778,3 millones de kilómetros.

Saturno

El menos denso de los planetas. Compuesto principalmente de hidrógeno y helio. Sus anillos los forman fragmentos cubiertos de hielo que giran en torno al planeta. Diámetro: 120.800 kilómetros. Distancia del Sol: 1.427 millones de kilómetros.

Urano

Formado probablemente por hielo con alguna cantidad de amoniaco sólido, hidrógeno y helio. Su color verde se debe a la atmósfera rica en metano. Diámetro: 47.600 kilómetros. Distancia del Sol: 2.869 millones de kilómetros.

Neptuno

Compuesto probablemente de metano, agua y amoniaco helados. Diámetro: 44.400 kilómetros. Distancia del Sol: 4.498 millones de kilómetros.

Plutón

El más distante de los planetas hasta ahora descubiertos. Composición desconocida. Diámetro: (?) 3.000 kilómetros. Distancia del Sol: 5.900 millones de kilómetros.

La Luna

Su composición presenta pequeñas pero significativas diferencias respecto de la de la Tierra. El análisis de las rocas lunares muestra la existencia de un mayor porcentaje de titanio, cromo y zirconio que el propio de la corteza terrestre, lo que parece dar a entender que la Luna se formó independientemente —quizá por aglomeración de partículas sólidas preexistentes. La superficie presenta un sinnúmero de cráteres producidos por la caída de meteoritos. Las zonas brillantes (mesetas) representan la corteza primitiva. Las zonas oscuras son cuencas formadas hace 3.600 millones de años por impactos de meteoritos e inundadas por erupciones de lava.

Meteoritos

Restos pétreos y metálicos endurecidos por el calor que se precipitan sobre la Tierra desde el espacio exterior. Son probablemente fragmentos de asteroides que colisionaron. Su composición va desde las rocas silíceas de hierro-magnesio a las de níquel-hierro. Su edad máxima es más o menos la misma que la de la Tierra.

Una mota en el espacio

La Tierra y el sistema solar son infinitamente pequeños en relación con las distancias en el espacio. Estas se miden en años-luz —un año-luz es la distancia que la luz recorre en un año, es decir unos diez billones de kilómetros.

La más cercana de los cien mil millones de estrellas de nuestra galaxia está a cuatro años-luz de nosotros y la galaxia misma tiene un diámetro de 80.000 años-luz. Y, sin embargo, es sólo una entre los millones de galaxias del Universo.

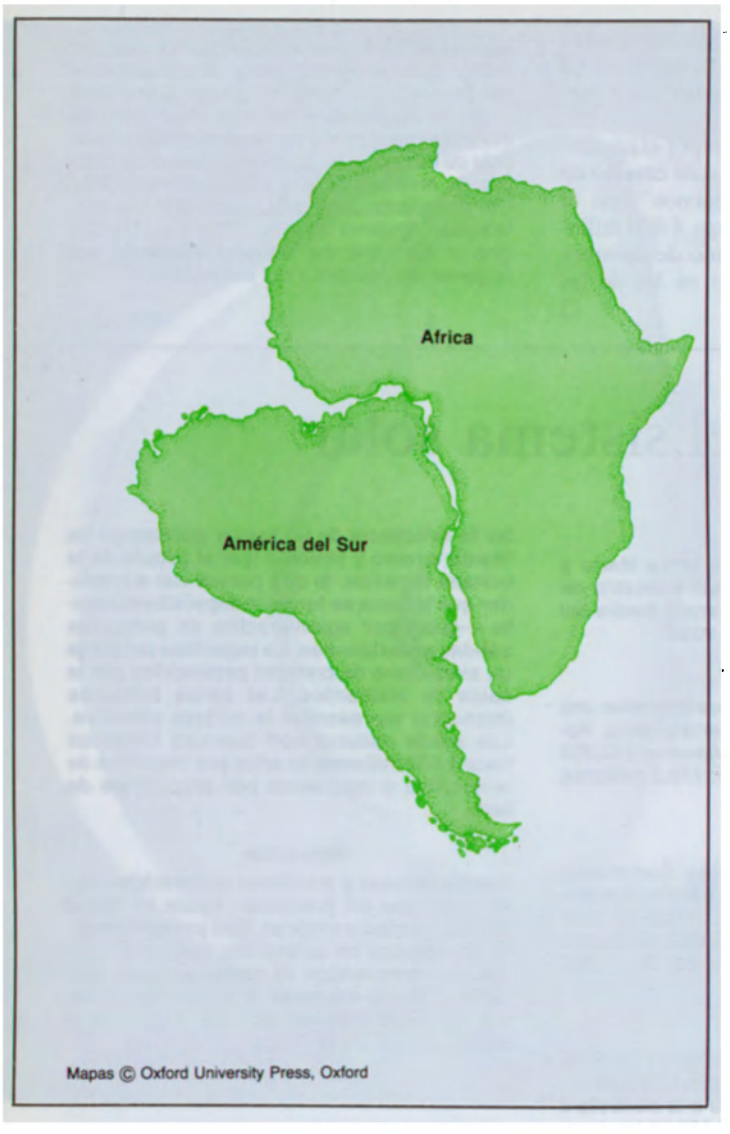
El sistema solar está formado por el Sol y por los cuerpos celestes que giran en torno a él: planetas, lunas, asteroides, cometas, meteoritos, polvo y gas. La mayor parte de esta materia gira en torno al Sol en la misma dirección y en el mismo plano.



Foto © Geological Museum, Londres

El Sol Mercurio Venus La Tierra Marte Asteroides Júpiter Saturno Urano Neptuno Plutón

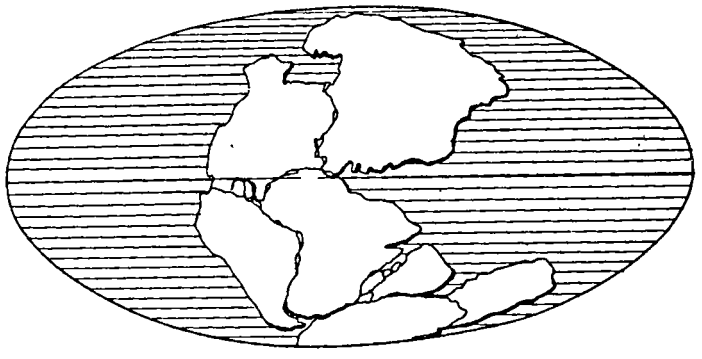
Continentes



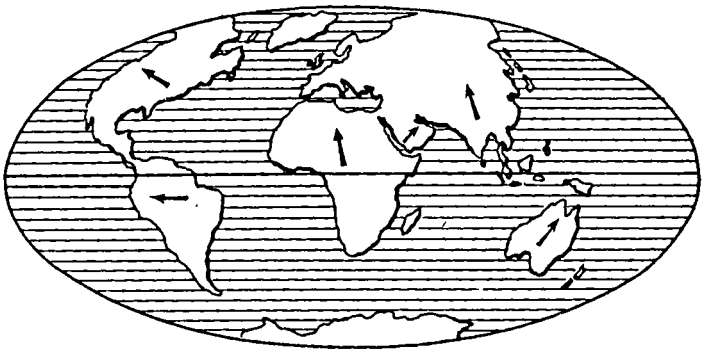
CUALQUIERA que contemple un mapa del mundo podrá observar lo bien que se ajustarían entre sí las costas de Africa y las de América si se pudiera hacer desaparecer el océano que las separa. La geofísica moderna ha demostrado, en efecto, que hace cientos de millones de años todas las masas terrestres del planeta formaban un solo supercontinente, Pangea, y que éste pasó por un proceso de fraccionamiento en virtud del cual los continentes que hoy conocemos se separaron situándose en sus posiciones actuales.

Esta idea tardó muchos años en ser aceptada. Ya un científico como el inglés Francis Bacon (1561-1626) especuló en torno al ajuste de los continentes entre sí, pero el "padre" oficial de la teoría de la deriva continental es el astrónomo y meteorólogo alemán Alfred Wegener, quien en 1912 hizo la primera exposición general de la teoría. Según él los continentes se mueven probablemente a través de la corteza del fondo oceánico, más delgada, como icebergs abriéndose paso por el mar; y fueron numerosas las pruebas que pudo establecer de que los continentes se ajustan entre sí perfectamente como las piezas de un gigantesco rompecabezas. Pero la idea de que los continentes se mueven a través de las rocas del fondo marino no resultaba operativa, por lo que se mantuvo en suspenso hasta los años 50, cuando las nuevas técnicas geológicas permitieron establecer concluyentemente que la deriva continental es un hecho cierto.

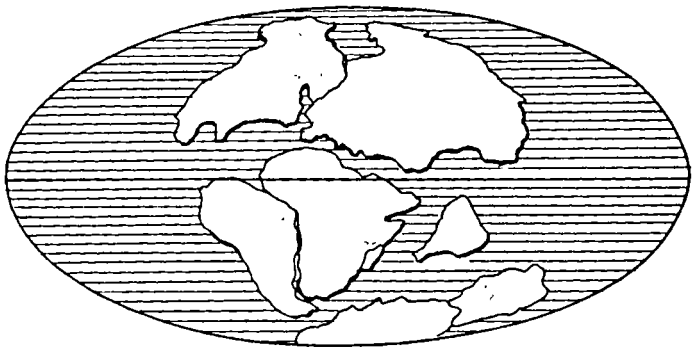
La prueba fundamental la aportaron los estudios magnéticos de los fondos marinos gracias a los cuales se pudo averiguar que la corteza del fondo del océano Atlántico presenta una disposición simétrica a ambos lados de una gran cordillera volcánicamente activa que se extiende más o menos por el centro del océano. Los científicos interpretan tal hecho como prueba de que en esa cordillera central se está creando nueva corteza marina que surge por una grieta de la corteza terrestre y empuja hacia ambos lados, produciendo así un ensanchamiento constante del Atlántico.



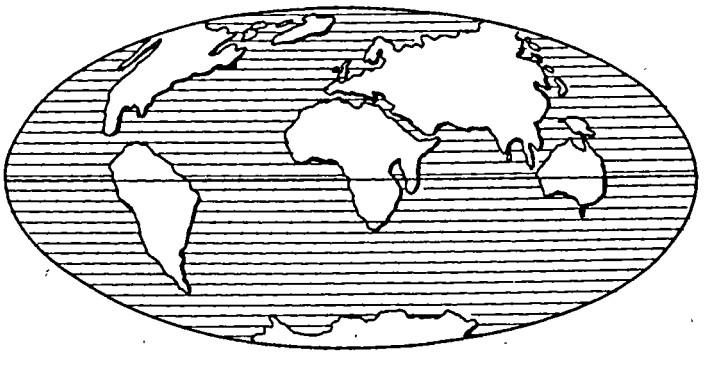
Hace 200 millones de años



Actualmente



Hace 135 millones de años



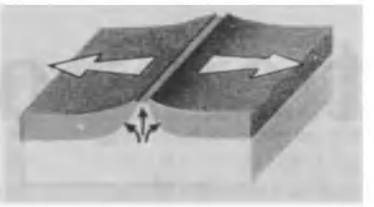
Dentro de 50 millones de años

a la deriva

En otras regiones del mundo lo que ocurre es lo contrario. Por ejemplo, el Pacífico septentrional carece de cordillera, pero en cambio en su parte occidental existe una profunda fosa que se abre junto a la masa continental eurasiática. Allí la delgada corteza del fondo oceánico es empujada poco a poco bajo el continente penetrando en el manto donde se funde y se mezcla con la masa del mismo. Resultado de ello es que en la superficie de la Tierra no se produce cambio alguno: su ensanchamiento en el Atlántico y otros lugares es compensado por su contracción en el Pacífico. A una parte de la corteza terrestre que limita con cordilleras en expansión y con zonas de contracción se la llama "placa"; de ahí que hoy se dé a la deriva continental el nombre de "tectónica de placas". En ciertos lugares dos secciones de la corteza terrestre—dos placas— se frotan entre sí, sin que se cree ni se destruya suelo marino. Tal ocurre hoy a lo largo de la famosa falla de San Andrés, en California.

Es posible que el proceso de separación y de remodelamiento de los continentes se produjera varias veces en la historia de la Tierra; ese proceso es la causa del surgimiento de las cadenas montañosas, que son zonas donde los continentes chocan. Al moverse hacia Eurasia, el subcontinente Indio ha creado el Himalaya, que aun sigue creciendo. En cambio, la línea del mar Rojo indica una grieta nueva (en términos geológicos) de la corteza terrestre que está separando Africa de Arabia y que un día puede convertir ese estrecho mar en un océano tan ancho como el Atlántico actual.

En los años 60 y 70 se obtuvieron las pruebas decisivas de la realidad de la deriva continental, o tectónica de placas. Pero el punto culminante de la investigación se ha alcanzado sólo en los últimos años, cuando, gracias a los rayos láser emitidos desde satélites artificiales en órbita en torno a la Tierra, se ha podido medir directamente el continuo ensanchamiento del Atlántico, de un par de centímetros por año. □



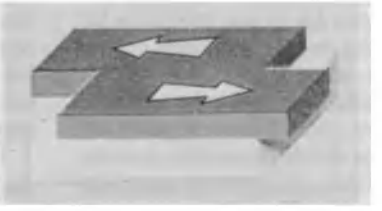
Cordillera oceánica en expansión. *Las placas se separan; la roca fundida asciende, añadiendo materia nueva a cada placa.*



Zona oceánica de reducción. *Una placa empuja por debajo a otra. El borde de una de ellas, empujado hacia abajo, se incrusta en el manto donde se funde y se recicla.*



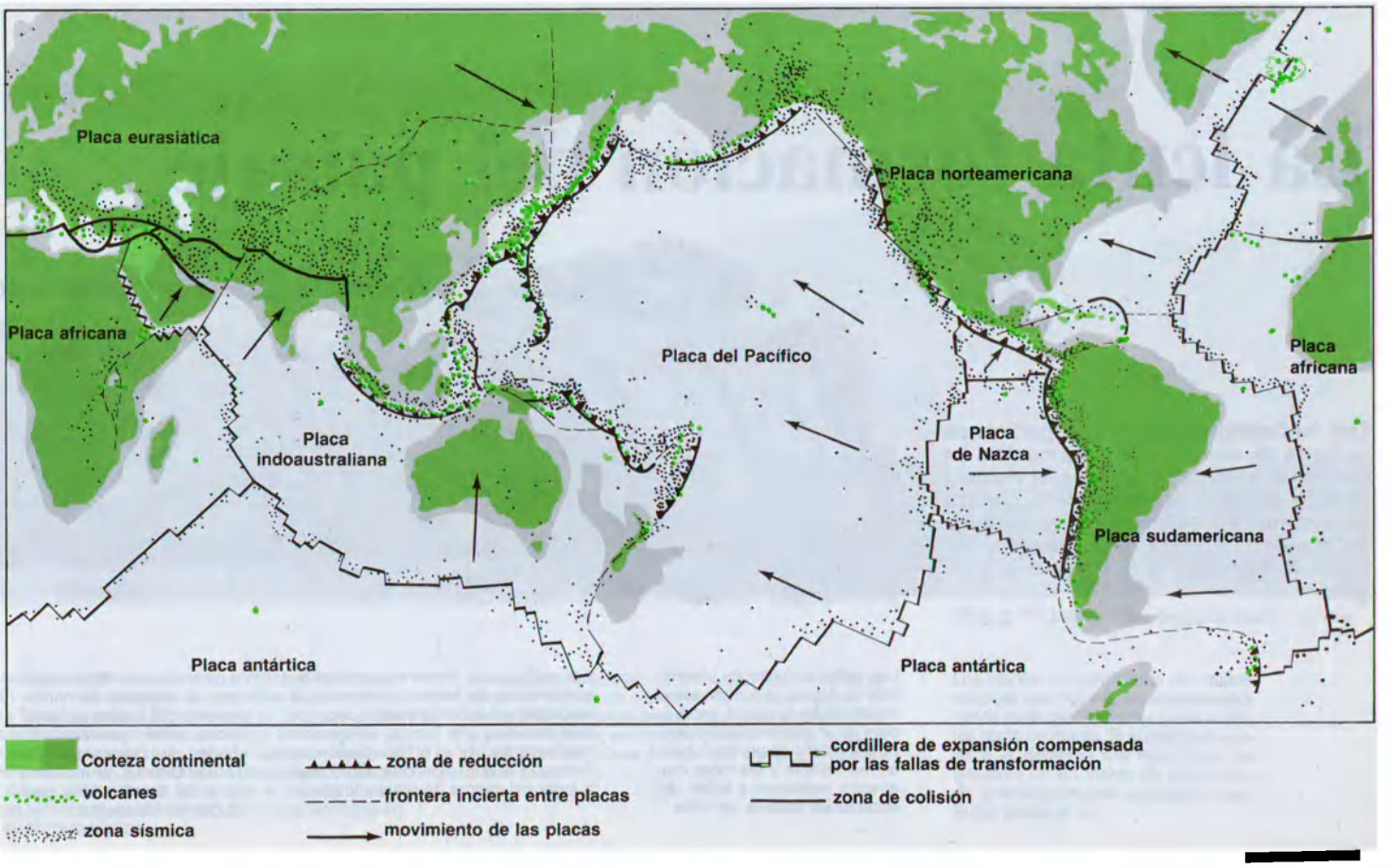
Zona de colisión. *Incrustándose debajo de otra, una placa une a dos continentes, formando un cinturón de altas montañas.*



Falla de transformación. *Dos placas se deslizan una sobre otra sin añadir ni destruir materia.*

Dibujo © *The Sunday Times*, Geological Museum, Londres

Mapa © Geological Museum, Londres



El tiempo geológico

LA geología es la ciencia que trata del estado y de la estructura de la Tierra y de los datos que nos suministran las antiguas formas de vida. Comprende la descripción de las formas y accidentes terrestres pero lo que más le interesa son los procesos y las fuerzas a los que se debe el paisaje actual de nuestro planeta.

Por lo general esos procesos actúan de manera extremadamente lenta. Se necesitan enormes periodos de tiempo para que la corteza terrestre se pliegue formando cadenas de montañas, para que éstas se conviertan en llanuras por desgaste, para que avancen o retrocedan las masas de hielo y para que tenga lugar el inexorable movimiento de vastos segmentos de esa corteza.

La idea de la vastedad del tiempo geológico es relativamente reciente en el pensamiento occidental. En el año 1656, tras un cuidadoso estudio de las genealogías de que habla la Biblia, el arzobispo de Armagh (norte de Islanda) James Ussher calculó que la Creación había tenido lugar a las ocho de la noche del 22 de octubre del año 4004 a.C. —cálculo que aun se aceptaba ampliamente en el siglo XVIII.

Pero en 1785 el naturalista escocés James Hutton publicaba su *Teoría de la Tierra* en la que afirmaba que los procesos naturales de creación y erosión de las montañas eran tan lentos que la Tierra debía de existir desde hacía muchos millones de años. Sus opiniones fueron en general rechazadas hasta principios del decenio de 1830, época en que otro escocés, el geólogo Charles Lyell, las apoyó en su famosa obra en tres volúmenes *Los principios de la geología*, echando las bases de la biología evolutiva y del conocimiento de la evolución de la Tierra.

Con el surgimiento de la geología como ciencia de pleno derecho la humanidad cobró finalmente conciencia de la enorme cantidad de tiempo que la naturaleza tardó en llevar a cabo los cambios que sabía habían ocurrido efectivamente.

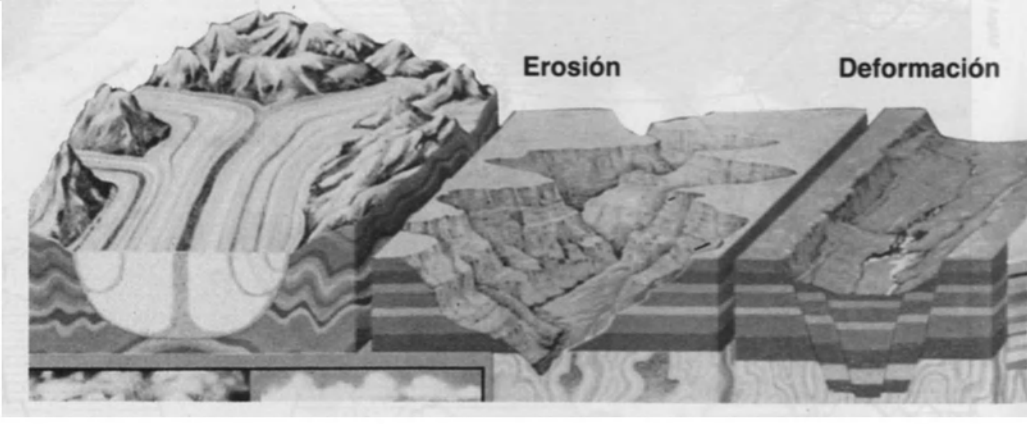
Nuestro planeta es una bola rocosa cuya historia puede reconstruirse, prácticamente desde el principio, mediante el estudio de las rocas de su superficie o situadas lo bastante cerca de ella como para alcanzarlas mediante perforación del suelo.

Las rocas pueden agruparse en tres categorías principales: *rocas ígneas*, formadas por la materia fundida que emerge del interior de la Tierra; *rocas metamórficas*, que el calor y la presión han transformado; y *rocas sedimentarias*, que poseen una estructura estratificada y están formadas por fragmentos separados de otras rocas y depositados como sedimentos en otros lugares (véase la página 15).

Las rocas ígneas y metamórficas más antiguas nos proporcionan indicios sobre el origen y la historia primitiva de la corteza terrestre; las formaciones de rocas ígneas y deformadas más jóvenes nos ayudan a comprender como se han formado las cadenas de montañas; y las sedimentarias, depositadas en capas o estratos a lo largo de millones de años, aportan los datos principales sobre los que se basa la escala normal del tiempo geológico.

Las rocas sedimentarias contienen fósiles, es decir restos de antiguos organismos vivos. Como resultado de la evolución los seres vivientes cambian constantemente, por lo que los fósiles hallados en las rocas sedimentarias constituyen los elementos principales que nos permiten establecer la edad *relativa* de las rocas encontradas en zonas geográficas diferentes. De ahí que podamos considerar la combinación de la estratigrafía (el estudio de la sucesión de estratos rocosos) y la paleontología (el estudio de los fósiles en relación con la evolu-

La lenta formación del paisaje



Dos fenómenos moldean la superficie de la Tierra: la *erosión* y la *deformación*. La erosión producida por el agua, el viento y el hielo desgasta las rocas de la corteza continental. La deformación se produce allí donde la corteza es inestable y las rocas se fracturan, se aplastan o se pliegan.

Los valles en forma de U como éste de Alaska se forman como resultado de la acción excavadora de un glaciar que desciende por el valle de un río. El hielo en movimiento y las rocas que arrastra erosionan y tallan las escarpadas laderas del valle.

Los cañones se forman cuando el levantamiento del terreno incrementa la velocidad y el poder de erosión de un río que atraviesa una llanura. El ejemplo más espectacular es el Gran Cañón del Colorado, que en algunos lugares llega a tener mil metros de profundidad.

Los valles de dislocación son el resultado del hundimiento de bloques de tierra entre fallas paralelas. El Valle de Dislocación de Africa Oriental, el más ancho del mundo, tiene casi 5.000 km de longitud.

ción de la corteza terrestre) como el estudio de la "historia en capas".

Con la aparición de la radiometría en los años 50, los hombres de ciencia pudieron completar los datos obtenidos a partir de los fósiles sobre la edad *relativa* con datos sobre la edad *absoluta* (es decir la edad en años). La edad en años de ciertas clases de rocas puede calcularse a partir de la cantidad de elementos radioactivos y de los productos de su desintegración en los minerales que componen esas rocas. Los isótopos del uranio, del potasio y del rubidio se desintegran a ritmos que conocemos, transformándose en isótopos estables de plomo, argón y estroncio, respectivamente. Los productos de la desintegración comienzan a acumularse en un mineral una vez que éste se ha cristalizado y enfriado, poniendo en marcha, por así decir, un "reloj radioactivo".

Así como el tiempo cronológico se divide en horas, minutos y segundos, el tiempo geológico (véase el recuadro de página 14) se divide en Eras, Periodos o Sistemas y Epocas o Series.

La primera de las eras, la precámbrica, abarca el lapso de tiempo comprendido entre la formación de la corteza terrestre, hace unos 4.600 millones de años, y el momento en que, hace unos 570 millones de años, comenzaron a abundar por primera vez en la historia de la Tierra formas variadas de vida que han llegado hasta nosotros como restos fósiles. La era precámbrica, que algunos geólogos subdividen en otras dos, la arqueozoica y la proterozoica, comprende pues casi el 90 por ciento del tiempo geológico.

El periodo que va desde el final de la era precámbrica hasta el presente abarca tres eras: la paleozoica ("vida antigua"), de 570 a 225 millones de años; la mesozoica ("vida intermedia"), de 225 a 65 millones de años; y la cenozoica ("vida nueva"), de 65 millones de años hasta hoy. Generalizando, podemos decir que los vertebrados y los invertebrados relativamente simples, como los peces, los anfibios y los reptiles primitivos, constituían las formas de vida predominantes durante la era paleozoica; la mesozoica presenció la aparición y la dominación de los reptiles superiores, como el dinosaurio; y la era cenozoica o contemporánea es la de la dominación de los mamíferos.

Las eras se dividen en unidades más pequeñas llamadas *periodos* o *sistemas*. La mayor parte de ellos reciben el nombre de las regiones geográficas en donde se hallaron rocas con fósiles característicos de sus segmentos de tiempo geológico. Así, el periodo *cámbrico* toma su nombre del que antiguamente llevaba Gales y el *pérmico* del antiguo reino ruso de Permia.

En cambio, el nombre de otros periodos no se deriva de su situación geográfica sino de las características físicas de sus rocas. En efecto, el nombre del periodo *cretáceo* se deriva de la palabra latina para designar la greda, *creta*, y el *triásico* se llama así porque en Alemania las rocas de ese periodo se dividen en tres estratos distintos (arenisca roja, piedra caliza y esquisto).

En ciertos casos los geólogos utilizan ambos tipos de nomenclatura en distintas partes del mundo para designar el mismo periodo. Por ejemplo, el periodo que los europeos denominan *carbonífero* agrupa los que los norteamericanos llaman *pensilvánico* y *misisípico*, en el primer caso por la presencia de carbón y en el segundo por las regiones geográficas.

Los periodos se dividen en *épocas* o *series*, que a su vez se subdividen en *edades* o *etapas*. Y aquí aumentan las divergencias de la nomenclatura utilizada en las distintas regiones del mundo. Esto ocurre sobre todo porque la relación entre el tiempo geológico y las sucesiones de estratos rocosos se ha solido establecer según el modelo de pensamiento tradicional de la región o el país, por lo que de uno a otro difieren inevitablemente los criterios, la terminología y las clasificaciones. No todos los geólogos aceptarán pues los nombres y las fechas señalados, ni siquiera los de una cuadro simplificado como el de la página 14.

Por tanto, se facilitaría sobremanera la solución de muchos problemas geológicos importantes si se allanara la comprensión por los geólogos de todo el mundo de los datos provenientes de diversas regiones mediante la adopción de una terminología y unas normas comunes. Alcanzar ese objetivo es uno de los propósitos principales del Programa Internacional de Correlación Geológica en el que comjugan sus esfuerzos la Unesco y la Unión Internacional de Ciencias Geológicas (véase la página 14).

De particular importancia son los proyectos enderezados a perfeccionar progresivamente las escalas del tiempo geológico. Los geólogos necesitan métodos precisos para determinar el tiempo no sólo como base para las investigaciones sobre la evolución de la corteza terrestre sino también para identificar y determinar los recursos energéticos y minerales.

La comprensión del proceso natural que ha conducido a la acumulación de depósitos de minerales o de combustibles fósiles depende de la capacidad del geólogo para comprender la sucesión de las etapas en que se formaron esos depósitos y para relacionar corectamente entre sí las series o sucesiones relacionadas con la formación de depósitos similares en zonas muy distantes entre sí. Parafraseando el viejo dicho, "el tiempó geológico es oro". □



Dibujo © *The Sunday Times*, Geological Museum, Londres

La separación es un mecanismo corriente de pliegue en gran número de cadenas de montañas bajas como el Jura francés (arriba). El fenómeno se produce en las capas sedimentarias llanas a lo largo de montañas de plegamiento emergentes, en este caso los Alpes. Al emerger las nuevas montañas de plegamiento, apartan las capas sedimentarias hasta que se separan de las rocas subyacentes y se pliegan como una alfombra en un suelo resbaladizo.

Los pliegues de acarreo se forman en las montañas de plegamiento cuando las capas de rocas plegadas se hunden. En Escocia la erosión ha puesto al descubierto la parte inferior de ese plagamiento, un ancho cinturón desde Aberdeen hasta Amtrim que aparece revuelto y desordenado.

Los mantos de corrimiento son masas de rocas que han sido arrastradas encima de otras más recientes hasta cubrirlas como un manto. El Matterhorn (arriba a la derecha) fue tallado por los glaciares en un manto de corrimiento de granito prealpino arrastrado hasta Suiza desde el sur.

Escala del tiempo geológico

Era	Periodo / Sistema	Epoca / Serie	Duración millones de años
CENOZOICO	Cuaternario	Holoceno	0.01
		Pleistoceno	2.5
	Terciario	Plioceno	4.5
		Mioceno	19
		Oligoceno	12
		Eoceno	16
		Paleoceno	11
MESOZOICO	Cretáceo		71
	Jurásico		54
	Triásico		35
PALAEOZOICO	Pérmico	Nombres basados en la situación geográfica y que varían mucho	55
	Carbonífero — Pensilvanio		45
	Carbonífero — Misisípico		20
	Devónico		50
	Silúrico		35
	Ordoviciense		70
	Cámbrico		70
PRECAMBRICO — Proterozoico o Algonquino / Arqueozoico o Arcaico	No dividido en periodos		4.030

Un programa internacional de geología

Un martillo de geólogo es la "divisa" del Programa Internacional de Correlación Geológica (PICG), vasta empresa científica que llevan a cabo conjuntamente la Unesco y la Unión Internacional de Ciencias Geológicas (UICG) y cuya finalidad es estudiar la corteza terrestre y sus recursos minerales y energéticos. En el Programa intervienen unos 4.000 geólogos de más de 110 países que trabajan en unos cincuenta proyectos de investigación. En él se combinan las ventajas de la participación y el asesoramiento privados a través de la UICG y los beneficios del respaldo gubernamental a través de la Unesco. Los proyectos emprendidos en el marco del PICG van desde el estudio de la geocronología hasta la prospección de depósitos rentables de minerales y el tratamiento de los datos geológicos.

Una trilogía de rocas



Foto Del Boca © Ragho, París

Rocas ígneas ▶

Las rocas ígneas se forman a partir de la materia fundida (magma) que emerge del interior de la Tierra. Cuando el magma se solidifica antes de alcanzar la superficie forma rocas *intrusivas* como la dolerita, el gabro y el granito. Cuando se solidifica después de salir a la superficie forma rocas *volcánicas* como el basalto (la más corriente), la obsidiana y la piedra pómez. Al enfriarse y cristalizarse, su composición cambia, dando lugar a centenares de tipos diferentes de rocas ígneas a partir de unos cuantos tipos de minerales.

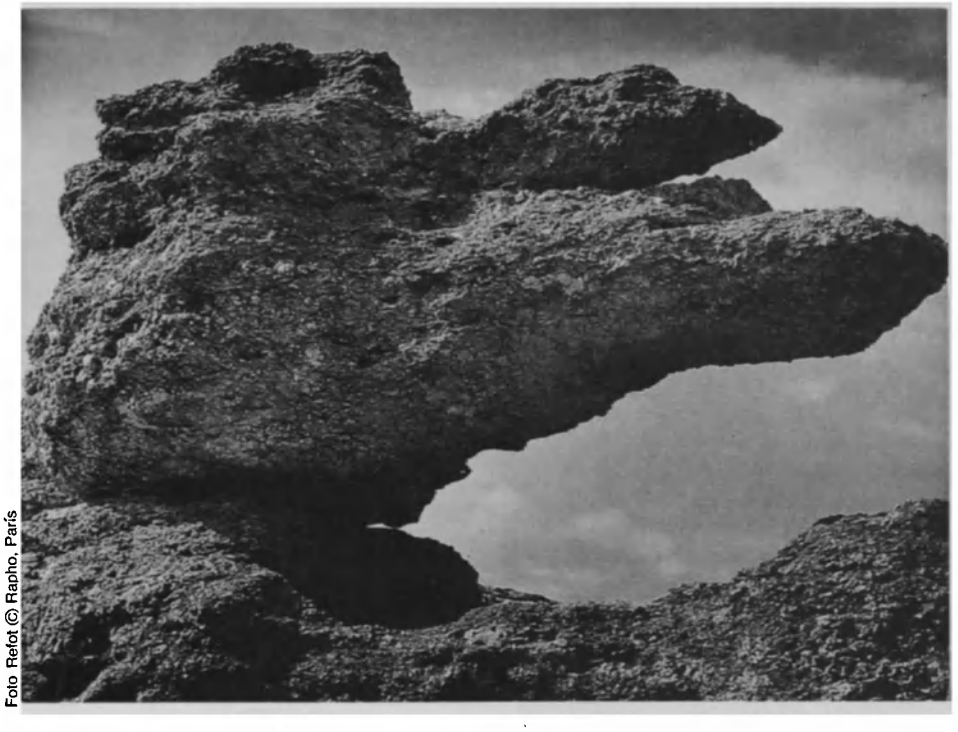


Foto Refot © Rapho, París

◀ Rocas metamórficas

Las rocas metamórficas son rocas transformadas (*metamorfoseadas*) y cristalizadas por el calor y la presión. En ese proceso de transformación los minerales de las rocas primitivas se reconstituyen formando cristales mayores o reaccionan entre sí para formar nuevos minerales. Las rocas que de ello resultan poseen una estructura estratificada que recibe el nombre de *foliación* y cuya formación más corriente es la pizarra. El metamorfismo se produce en dos situaciones distintas: l) en torno a penachos de magma que surgen en la roca enfriada ("metamorfosis de contacto"); y 2) en el interior de los plegamientos montañosos en donde el flujo de calor es grande y debajo de las fosas oceánicas donde se producen altas presiones ("metamorfismo regional"). Entre las rocas metamórficas figuran la pizarra, que se produce a partir de la arcilla a temperaturas y presiones bajas, el esquisto y el gneis, formados a temperaturas y presiones más altas, y el mármol, que se forma a partir de la piedra arenisca.



Foto Sibrava - Unesco

◀ Rocas sedimentarias

Las rocas sedimentarias, que poseen una estructura estratificada, contienen todas las reservas mundiales de petróleo y de carbón y todos los fósiles. La primera fase de su formación es la meteorización de las rocas ya existentes. Los productos de ese proceso son arrastrados como fragmentos o disueltos y se depositan en otros lugares formando capas de *sedimentos*. Esas capas, sometidas a presión o aglutinadas por otros minerales, se endurecen formando las rocas sedimentarias. Existen tres tipos principales: l) *fragmentarias*, formadas por guijas (brecha, conglomerados), arena (asperón, piedra arenisca, esquisto de légamo) o barro (arcilla, esquisto de barro, esquisto); 2) *orgánicas*, consistentes sobre todo en restos fósiles de animales y plantas (carbón, caliza fosilífera); y 3) *formadas químicamente* por precipitación a partir del agua salina o de los manantiales calientes (sal gema, yeso, mineral de hierro, ciertas calizas y cuarzos silíceos).

Perforando en lo desconocido

por Yevgueni Kozlovski



LA estructura de la Tierra refleja la larga historia de su evolución. Gracias a la reconstrucción de esa historia los científicos esperan dar con la clave de procesos tales como la formación de la corteza terrestre, el vulcanismo y los solevantamientos, subsidencias y plegamientos que originaron la aparición, tanto en la superficie del planeta como en su subsuelo, de condiciones propicias para la formación, acumulación y preservación de minerales útiles.

En la Unión Soviética, y en el marco de un vasto programa de exploración del "basamento" del país por métodos geológicos, geofísicos y geoquímicos y por perforaciones a distintas profundidades, se está llevando a cabo un estudio de los complejos procesos físicos y fisicoquímicos que tienen lugar en el interior de la corteza terrestre y en las capas superiores del manto.

Caracteriza al programa el hecho de basarse esencialmente en el estudio de la corteza terrestre dentro de los límites de la zona continental donde se concentran la mayor parte de los minerales aprovechables del planeta. Se han efectuado ya exploraciones geofísicas a lo largo del sistema de perfiles que atraviesa todo el territorio de la URSS y se han realizado perforaciones profundas y muy profundas en sus puntos de intersección.

Se ha podido así explorar la Discontinuidad de Mohorovicic (la zona límite entre la corteza terrestre y el manto), obtener nuevos datos acerca de la estructura y las propiedades físicas del manto superior, identificar las zonas donde se han producido im-

portantes fracturas de la corteza terrestre y determinar su extensión, y fijar con precisión los límites y la estructura en profundidad de los elementos tectónicos principales en los que podrían existir concentraciones de minerales, petróleo o gas.

Constituye el eje del programa la exploración de la estructura profunda de la corteza continental en cuyas capas se halla impresa, como en las páginas de un libro, toda la historia de su formación. La primera perforación se llevó a cabo en la península de Kola, en los límites del Macizo Báltico, compuesto por rocas cristalinas antiguas que datan de la era precámbrica. Esa perforación arrojó nueva luz sobre la evolución y la estructura de toda la corteza continental de esa temprana era de la Tierra, ya que formaciones similares aparecen en otras muchas partes del globo —India, América del Norte, Africa meridional, Australia occidental, Antártida y Groenlandia—. Las exploraciones que se realizan a muy grandes profundidades en Estados Unidos, Canadá y Alemania Federal contribuyen también a incrementar nuestros conocimientos sobre los estratos profundos de la Tierra en zonas potencialmente ricas en minerales.

Estas perforaciones han permitido efectuar observaciones directas que han echado las bases para el primer modelo de la corteza continental fundado en datos reales y han venido a corregir las viejas nociones sobre la evolución y la estructura de las profundidades de la Tierra.

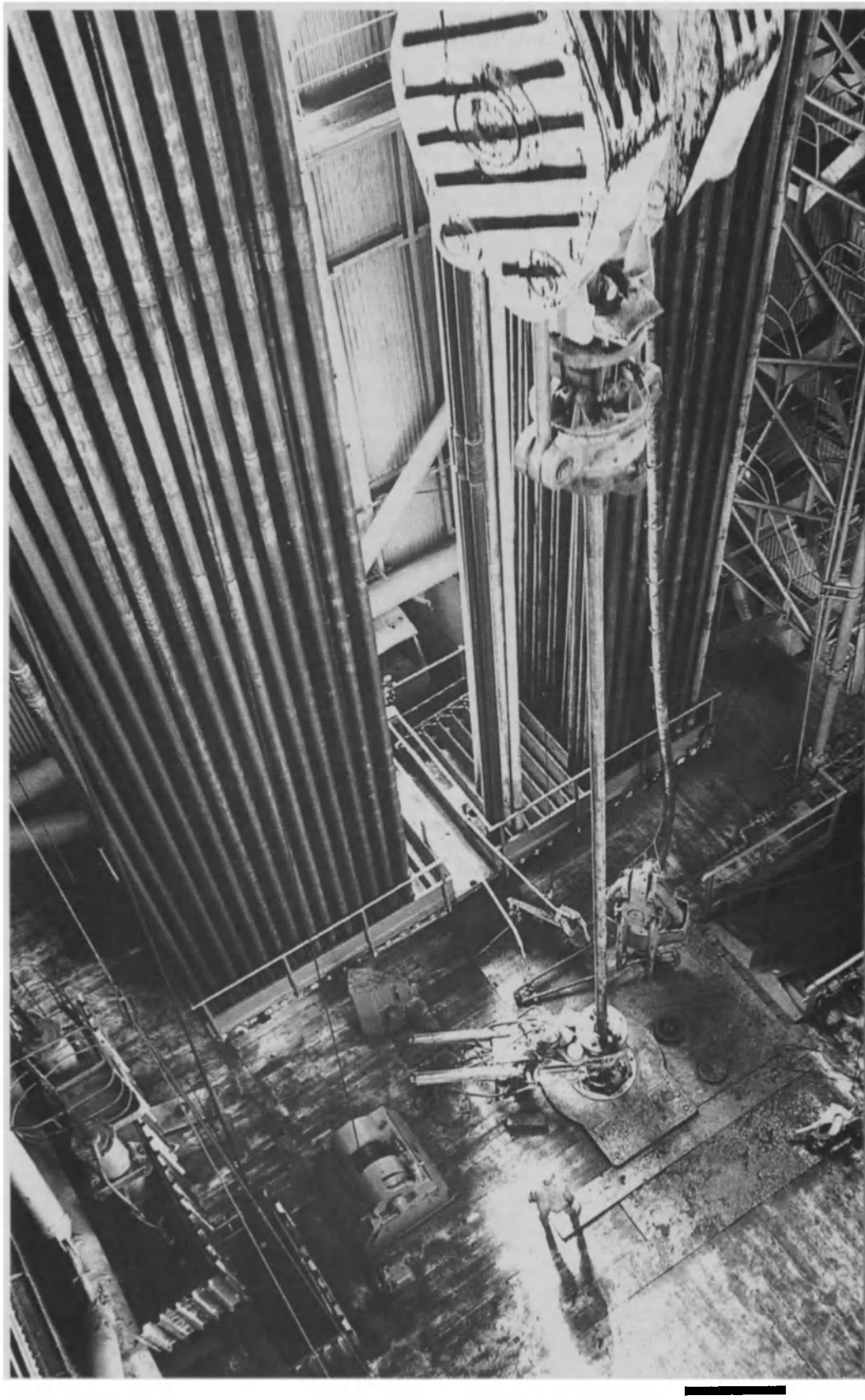
Resultado de las perforaciones de la península de Kola han sido una serie de descubrimientos inesperados y sobremanera interesantes.

Uno de nuestros objetivos era perforar la llamada capa granítica (parte superior de la corteza consolidada) con el fin de alcanzar una capa basáltica cuya existencia se deducía de los datos geofísicos disponibles. Los geofísicos habían observado variaciones tajantes en la velocidad de las ondas sísmicas a grandes profundidades y, como esas ondas atraviesan el granito a mayor velocidad que el basalto, se pensó que las variaciones indicaban la transición de un estrato granítico a otro basáltico en la corteza terrestre. Pero esto no era más que una conjetura ya que, a diferencia de la capa granítica, identificada con el gneis granitoide arcaico ampliamente distribuido por la superficie de los continentes, la capa basáltica no emerge a la superficie.

La perforación de Kola fue la primera que atravesó la línea en que las ondas sísmicas experimentan un cambio ostensible de velocidad. Pero, contra lo que se esperaba, no se descubrió ningún estrato basáltico. Se puso así de manifiesto que las variaciones en la velocidad de difusión de las ondas sísmicas no se relacionan con la transición entre los estratos granítico y basáltico sino con la desagregación de las rocas que se produce a grandes profundidades.

Este fenómeno se debe a que, bajo los efectos de la fortísima presión y de las altas temperaturas de las grandes profundidades, de la cadena cristalina de los minerales se desprende agua que, debido al espacio cerrado, ejerce una presión sobre la roca, agrietándola y, por tanto, disgregándola. Y se ha descubierto que la zona disgregada existe desde hace mucho tiempo.

El descubrimiento del fenómeno de la ▶



Fotos © APN, Moscú

La península de Kola, en el extremo norte de la URSS, es el lugar donde se está realizando la primera perforación a gran profundidad en el marco de un ambicioso programa cuya finalidad es explorar la estructura profunda de la corteza continental y descubrir capas potencialmente ricas en minerales, petróleo y gas. A la izquierda, el equipo de perforación y los inmuebles y talleres adyacentes en que se alojan los servicios industriales y técnicos. El equipo perforador está cubierto con planchas de hierro acanalado para mantener una temperatura positiva constante en el gélido ambiente ártico.

A la derecha, el nuevo sistema URALMACH 15.000 totalmente automatizado y provisto de la más moderna tecnología, es capaz de perforar hasta una profundidad de 15 kilómetros. La torre, de 86 metros, tiene una capacidad de elevación de 400 toneladas.

"disgregación hidrogenada" no sólo permitió explicar el carácter geológico de ciertas zonas limítrofes que reflejan ondas sísmicas a grandes profundidades, la naturaleza de los fluidos hidrotérmicos y el mecanismo de las deformaciones tectónicas sino que transformó radicalmente nuestras ideas sobre el ciclo hidrológico en los continentes y sobre la estructura de la hidrosfera subterránea.

Las perforaciones aportaron una información extremadamente interesante tanto para los geólogos como para los biólogos. Se descubrió así que las capas profundas que se creía "muertas" desde el alba de los tiempos participaron activamente en alguna fase de los procesos biológicos que tuvieron lugar en las profundidades de la Tierra.

Los análisis con isótopos de carbono revelaron la existencia de dos fuentes de gas carbónico: una de ellas, relacionada con el manto, se encuentra principalmente en las rocas arcaicas, mientras la segunda, de origen biógeno, predomina en las rocas proterozoicas en las que también se han encontrado vestigios petrificados de microorganismos (microfósiles) cuya antigüedad se calcula en miles de millones de años.

Por otra parte, éste no fue un descubrimiento aislado. Se descubrieron asimismo diecisiete especies de microorganismos que dan fe de un extenso desarrollo de los procesos biógenos en los primeros tiempos de nuestro planeta. De este modo hemos podido averiguar que la vida biológica se inició en la Tierra mucho antes de lo que se creía hasta ahora.

Los datos proporcionados por las mediciones directas de las temperaturas a grandes profundidades nos han obligado a revisar nuestras ideas respecto de las variaciones geohistóricas y actuales de la temperatura en las entrañas de la Tierra. Se creía antes que en regiones de escasa actividad tectónica el incremento de la temperatura al aumentar la profundidad era insignificante. Pero he aquí que en la exploración de Kola, mientras los científicos esperaban que a una profundidad de diez kilómetros la temperatura fuera de unos 100°C, los hechos demostraron que en realidad era de 180°C, casi el doble de lo calculado. Y se pudo demostrar que durante la era proterozoica el gradiente geotérmico (el aumento de la temperatura por cada cien metros de profundidad) era cinco veces mayor que el actual.

El estudio del régimen térmico de las entrañas de la Tierra aportó también una respuesta a otro interrogante que tanto había preocupado a los científicos: ¿cuál es la contribución del manto y de la desintegración radioactiva de los elementos existentes en las rocas al calor total del interior de la Tierra? La conclusión es que el manto constituye la fuente principal del calor ascendente.

Por último, pudo comprobarse por primera vez la existencia de aguas subterráneas en los macizos cristalinos antiguos en prácticamente todas las profundidades alcanzadas. Se han descubierto corrientes de agua muy mineralizada, saturada de bromo, yodo y metales pesados, así como gases que circulan dentro de las rocas cristalinas en las zonas de deformación tectónica. Entre 6.500 y 9.500 metros de profundidad se han encontrado zonas de mineralización a baja temperatura hidrotérmica (cobre, plomo, zinc, níquel, plata), pese a que antes se consideraba que eran esencialmente formaciones cercanas a la superficie.

La gran cantidad de asociaciones minerales descubiertas en los estratos rocosos atravesados durante las perforaciones confirma la posibilidad de que en las entrañas de la Tierra existan depósitos de minerales en acumulaciones industrialmente aprovechables.

Asimismo, hemos tenido que revisar nuestras ideas acerca del estado físico y de las propiedades de las rocas a grandes profundidades. Por ejemplo, se ha demostrado que las fisuras no desaparecen a medida que aumenta la profundidad.

El empleo de equipos y de tecnología de perforación radicalmente nuevos posibilitó este viaje hacia el centro de la Tierra —el primero en alcanzar los 15.000 metros—. Para tan vasta empresa hubo que crear un equipo de perforación únicos en su género —el URALMACH 15.000.

La perforación se realizó por el método de pozo abierto, o sin entubar. Ello mejoró considerablemente la calidad y la precisión de las mediciones geofísicas. Las operaciones de reconocimiento no se efectuaron con tubos de acero sino con tubos resistentes al calor y ultrafuertes fabricados a base de aleaciones ligeras especialmente concebidas para el caso y capaces de soportar temperaturas de 230 a 250°C. La energía del líquido de perforación inyectado en el pozo accionaba los taladros de turbina y los barrenos para las rocas, especialmente diseñados y de gran rendimiento. Se construyó además un tipo completamente nuevo de aparatos para extraer de grandes profundidades muestras rocosas intactas y conservadas con su orientación original.

El programa de estudio de la estructura subterránea en profundidad se encarga de explorar todo el territorio de la Unión Soviética. Actualmente se realizan perforaciones a muy grandes profundidades en Transcaucasia, los Urales, la cuenca de Krivoi Rog y la región de Muruntauski, en Asia central, y se está preparando otra en el distrito de Tiumen, en Siberia occidental.

Los datos que nos han proporcionado permiten, en primer lugar, determinar el potencial en petróleo, gas y minerales de los estratos profundos y, en segundo lugar, dar una respuesta a los principales interrogantes relativos a la evolución tectónica de la Tierra a la luz de la hipótesis de la deriva de los continentes. El programa incluye la realización de estudios teóricos y experimentales especiales en relación con la elaboración de una teoría general de la evolución y de la estructura de la tectonosfera terrestre. El viaje hacia el pasado de la Tierra, que los científicos han emprendido con miras a descifrar su evolución, va a continuar. □

YEVGUENI KOZLOVSKI, *soviético, es director del consejo interdepartamental del Comité Estatal Soviético de Ciencia y Tecnología para el estudio de las capas profundas de la Tierra y para la perforación a grandes profundidades. Ha obtenido por sus trabajos el Premio Lenin y es el principal responsable de una monografía sobre la perforación a gran profundidad en la península de Kola y de la primera Enciclopedia de la Minería del mundo.*

Páginas en color

Página 19

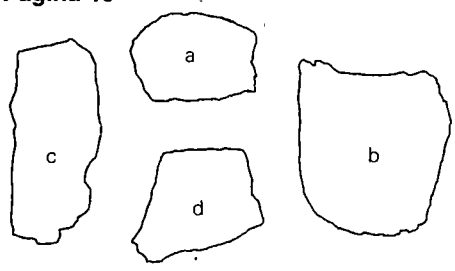


Foto superior: ***(a) Según los cálculos efectuados, este guijarro de ceniza volcánica, encontrado cerca de Isua, en Groenlandia occidental, tiene una edad aproximada de 3.824 millones de años, por lo que es la roca más antigua que se conoce en el mundo. Otras rocas de edad algo menor descubiertas en la misma zona son el gneis Amitsoq (b) y un conglomerado ferroso (c). La cuarta muestra (d) es una antigua roca antártica.***

Abajo a la izquierda: ***Un meteorito pétreo procedente de Barwell, Inglaterra. Se conocen meteoritos de hasta 4.600 millones de años de antigüedad.***

Abajo a la derecha: ***Un trozo de roca de la Luna. La edad de las rocas más antiguas traídas de nuestro satélite se ha calculado en unos 4.600 millones de años.***

Fotos © British Museum (Natural History),Geological Museum, Londres

Página 20

Arriba: ***El Gran Cañón del Colorado, una de las maravillas geológicas y paisajísticas de la Tierra, es una inmensa garganta que llega a tener hasta más de 1,5 kilómetros de profundidad, excavada por el río del mismo nombre en las altas mesetas del noroeste de Arizona, EUA. Sus rocas, entre ellas granitos y esquistos de unos 4.000 millones de años de antigüedad, nos ofrecen unos anales únicos de la historia geológica de la Tierra. El Gran Cañón tiene más de 300 kilómetros de longitud y en ciertos lugares 20 kilómetros de ancho.***

Foto Alan Keler © Sygma, París

Abajo: ***El Irazú, volcán de la Cordillera Central de Costa Rica, estalla en un infierno de llamas y lava.***

Foto Ernst Haas © Magnum, París

Página 21

Arriba: ***Gases, cenizas y trozos incandescentes de lava semisólida son arrojados al aire durante una erupción volcánica.***

Foto Ernst Haas © Magnum, París

Abajo: ***El volcán Mauna Loa, de las Islas Hawai, durante una erupción en 1984. Con sus 4.169 metros de altura, el Mauna Loa (palabras que significan "montaña larga") tiene una cúpula de 120 kilómetros de longitud por 102 de anchura. Desde 1832 sus erupciones se producen con un intervalo medio de tres años y seis meses.***

Foto Krafft © Explorer, París











Cuando la Tierra tiembla

El arte incierto de predecir los terremotos

por E. M. Fournier d'Albe

SUELE afirmarse que nadie puede pretender que comprende un fenómeno natural mientras no es capaz de predecirlo acertadamente. Si esto fuera verdad, la predicción de los terremotos debería constituir el objetivo principal de la sismología.

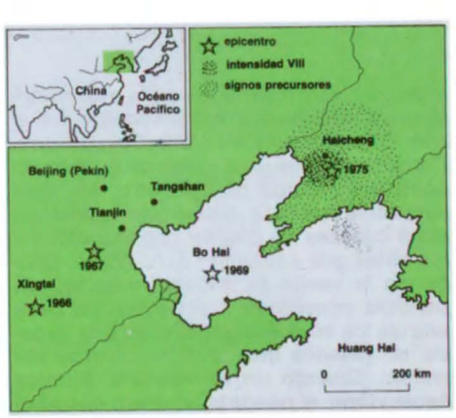
Pero el científico que se aventura por estos ámbitos asume una responsabilidad personal y social de un nivel poco común. En efecto, la predicción de un terremoto potencialmente destructivo puede tener consecuencias graves para la vida económica y social de una comunidad, independientemente de que aquella acierte o no. Y si muchas vidas pudieron salvarse, por ejemplo, gracias a la correcta predicción del terremoto de Haicheng, China, en 1975, muchos casos de predicciones erróneas no sólo han perjudicado a la reputación de los científicos que las hicieron sino que han acarreado también considerables trastornos económicos y hasta políticos.

En el estado actual de nuestros conocimientos es imposible determinar con precisión, basándose en la observación y el cálculo, dónde y cuándo va a producirse un terremoto. Ello se debe a que para hacer una predicción con la precisión requerida es indispensable disponer de una información detallada sobre las zonas de tensión y las propiedades mecánicas de la corteza terrestre en grandes superficies y a profundidades de unas cuantas decenas de kilómetros. Y aun en el caso de que fuera técnicamente posible obtener semejante información, su costo seguiría siendo probablemente prohibitivo y, por cierto, mayor que el que exigiría la reparación de los daños causados por el terremoto en sí mismo.

Las pocas predicciones acertadas que conocemos se han basado en la observación de fenómenos precursores de diversa índole originados por los mismos procesos que en las profundidades de la Tierra determinan los terremotos aunque no tengan con éstos una relación de causalidad. Entre tales fenómenos figuran los cambios súbitos del nivel de la actividad sísmica menor, las deformaciones ligeras de la superficie de la Tierra, los cambios en los campos magnéticos o eléctricos, la elevación o disminución inusitada del nivel del agua en los pozos, los cambios en el campo gravitatorio o el comportamiento anormal de los animales. Sin embargo, ninguno de estos fenómenos previos ha demostrado ser hasta ahora un indicador seguro de un terremoto inminente. Los métodos que con tanto éxito se emplearon en Haicheng no sirvieron para predecir el terrible terremoto de Tangshan que se produjo al año siguiente.

Gracias a la constante acumulación de nuevos datos cabe abrigar la esperanza de que la precisión de las predicciones aumen- ▶

Gracias a los expertos chinos que supieron predecir el terremoto de Haicheng en 1975 (ver mapa), pudieron salvarse miles de vidas. Tras el grave seísmo de Xingtal en 1966, los científicos observaron que los epicentros de los temblores subsiguientes, entre ellos el del terremoto del golfo de Bo Hai en 1969, parecían desplazarse en dirección noreste hacia la densamente poblada provincia de Liaoning. En junio de 1974 los expertos predecían que en un plazo de uno o dos años se produciría un gran seísmo al norte de Bo Hai. El 1° de enero de 1975 identificaban una serie de pequeños temblores como fenómeno precursor de un gran terremoto en la zona de la ciudad de Haicheng, por lo que al día siguiente se evacuó a más de un millón de personas instalándolas en refugios provisionales. A comienzos de la noche del 4 de febrero se produjo el temblor principal (7,3 de magnitud). Y aunque el 90 por ciento de las casas de la región quedaron dañadas o destruidas, hubo muy pocas víctimas que lamentar.



Mapa © Geological Museum, Londres

Página de la izquierda

Arriba: ***La foto, tomada en 1965, muestra el hirviente cráter de Surtsey, una isla volcánica que se formó frente a las costas del sur de Islandia tras la erupción submarina del 14 de noviembre de 1963. (Ver las fotos y el texto de la pág. 29).***

Foto Ernst Haas © Magnum, París

Abajo: ***Vista aérea de la basílica de la ciudad de San Juan y de otro edificio cercano parcialmente enterrados por el torrente de lava de la erupción del Puricutín, volcán de la región centrooccidental de México. El Puricutín, uno de los volcanes más recientes de la Tierra, entró en actividad el 20 de febrero de 1943. Al terminar la erupción en 1952, la cumbre del volcán tenía 2.800 metros de altura.***

Foto Krafft © Explorer, París

tará constantemente, aunque por su propia naturaleza seguirán siendo sólo previsiones de probabilidad. No podrán, por ejemplo, anunciar que "un terremoto de magnitud X va a producirse en la región Y en tal fecha"; simplemente indicarán la probabilidad de que un terremoto de cierta magnitud se produzca en una zona dada en un periodo concreto de tiempo.

Hasta aquí el aspecto científico del problema. Luego vienen las preguntas siguientes: ¿Cuáles serán las consecuencias de la predicción de un terremoto en caso de que éste realmente ocurra? ¿Cuántos edificios quedarán dañados o destruidos? ¿Cuántas personas morirán, resultarán heridas o perderán su hogar? ¿Seguirán funcionando las líneas de teléfono? ¿Quedarán las calles bloqueadas por los escombros?

A fin de prepararse para hacer frente a un terremoto que se avecina, los servicios de defensa civil necesitan respuestas a esas preguntas. Precisan contar además con información sobre la intensidad prevista del movimiento sísmico y sobre la vulnerabilidad de los edificios y de los servicios públicos. Deberán asimismo prever las diversas consecuencias de los efectos probables del terremoto anunciado.

Para ello, los sismólogos y los geólogos deben ante todo calcular la intensidad del movimiento causado por el terremoto previsto y sus variaciones en los diversos lugares en torno al epicentro, basándose en la experiencia previa y en el conocimiento de las características locales del suelo y del subsuelo.

Luego hay que establecer un inventario de los edificios de la región previendo la manera probable en que cada uno de ellos soportará el movimiento sísmico de acuerdo con su estructura y los materiales empleados en su construcción. Y es aquí donde reside la mayor dificultad ya que es casi imposible predecir con exactitud cómo "reaccionará" cada edificio en caso de terremoto. Lo único que cabe hacer es tomar como base el "comportamiento" que han tenido edificios similares en recientes fenómenos sísmicos ocurridos en otros lugares. De ahí la importancia que tiene realizar estudios detallados de los daños observados cada vez que se produce un terremoto. Actualmente contamos ya con una información inapreciable gracias a los estudios sobre los daños causados por los terremotos de 1977 y 1979 en Rumania y Yugoslavia, respectivamente.

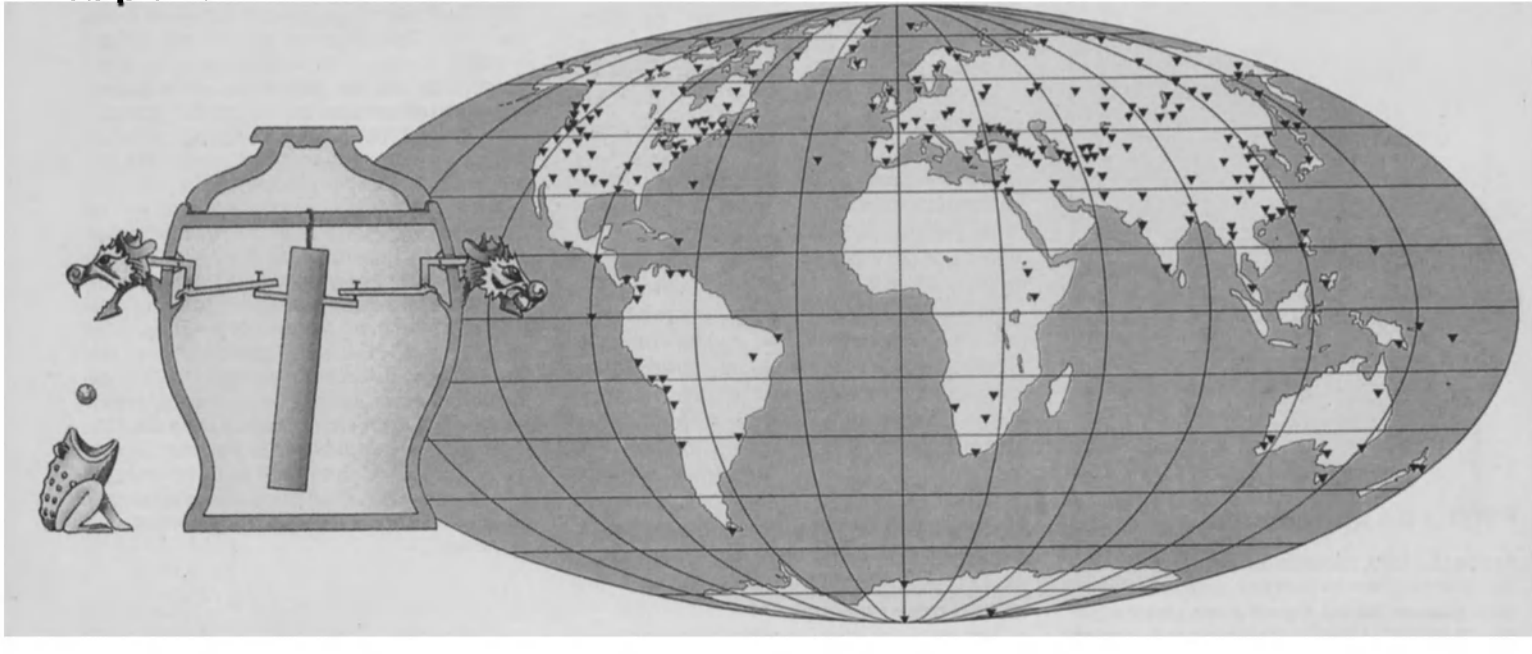
Como es de suponer, todo este trabajo requiere tiempo y es preferible no dejarlo para el momento en que el terremoto sea inminente. De ahí que los servicios de defensa civil de muchos países expuestos a los fenómenos sísmicos estén recogiendo ya datos de ese tipo y analizando las diferentes consecuencias de un terremoto, predicho o no, a fin de actuar con la mayor eficacia llegado el caso.

Las diversas posibilidades que tales servicios estudian son de extraordinario valor no sólo para planificar la movilización de los equipos de socorro, de médicos y de bomberos, el almacenamiento de productos alimenticios de primera necesidad y la previsión de refugios sino también para planear las diversas medidas temporales de protección que cabe adoptar en respuesta a la predicción de un terremoto. Por ejemplo, se puede trasladar a un lugar seguro las substancias inflamables o tóxicas, interrumpir transitoriamente los sistemas vulnerables de las industrias químicas, disminuir el nivel del agua de los estanques y depósitos y cerrar por algún tiempo escuelas y teatros. En la etapa final de una alerta sísmica puede evacuarse a la gente de sus hogares y sitios de trabajo que se encuentren en edificios poco seguros.

Tales medidas son costosas y alteran profundamente la vida de los individuos y de la comunidad. Pueden tolerarse a condición de que no se prolonguen más de unos días y es probable que se abandonen tras una o más falsas alarmas. De ahí que convenga adoptarlas únicamente cuando las autoridades competentes estén convencidas de que la predicción de un terremoto reúne ciertas condiciones de exactitud y credibilidad.

Como acabamos de ver, las predicciones científicas se expresan más bien en términos de probabilidad. Por su parte, las autoridades públicas tienen que adoptar ante el dilema decisiones tajantes. Es pues de suma importancia que se establezca un diálogo eficaz entre los científicos y las autoridades,

El primer sismómetro de la historia



El primer instrumento sensible a los movimientos terráqueos fue inventado en el año 132 por el filósofo chino Chang Heng. Consistía en una gran vasija de bronce, de unos dos metros de diámetro, en cuya superficie había, a distancias regulares, ocho cabezas de dragón con mandíbulas movibles que sostenían ocho bolas. Dentro de la vasija se hallaba instalado un péndulo conectado a ocho brazos cada uno de los cuales terminaba en una especie de palanca que abría las fauces del animal. Cuando un movimiento sísmico hacía vibrar el péndulo, el brazo conectado con la cabeza de dragón que estaba situada frente al lugar de donde provenían las sacudidas hacía que se abrieran sus mandíbulas y dejaran caer la bola en la boca abierta de uno de los ocho sapos colocados en torno a la vasija. Tal instrumento tenía una sensibilidad suficiente para detectar un terremoto cuyo epicentro se situara a 600 kilómetros de distancia. Pero sólo en 1856 pudo instalarse en el observatorio del Vesubio un sismógrafo capaz de registrar el paso de las ondas sísmicas y de medir su amplitud, el momento en que comienzan y la dirección que llevan. En la página siguiente, una reconstrucción moderna del aparato creado por Chang Heng y, arriba, un diagrama de su funcionamiento. Desde la fundación de la Red Mundial Sismográfica Normalizada a comienzos del decenio de 1960 se han establecido prácticamente en todo el mundo observatorios sísmicos con instalaciones uniformes y con un cronometraje sincronizado. El mapa muestra la distribución de tales observatorios y de otros que funcionan asociados a ellos.

ya que éstas necesitan conocer el razonamiento que los ha conducido a formular determinadas predicciones. Y los científicos, a su vez, necesitan familiarizarse con los problemas con que se enfrentan las autoridades públicas a fin de comprender sus respuestas a las predicciones y las razones en que se basan.

Es esencial que cualquier predicción de un terremoto que se haga pública vaya acompañada de una estimación verificable de la probabilidad de que aquél se produzca dentro de los límites señalados de tiempo y de espacio. Y para que la predicción sea útil en la práctica, debe reunir además las siguientes condiciones:

a) el intervalo entre el anuncio de la predicción y el momento supuesto en que el terremoto ha de ocurrir deberá ser *mayor* que el tiempo necesario para poner en práctica las medidas de protección adecuadas y movilizar los recursos necesarios para hacer frente a la catástrofe;

b) la duración del periodo durante el cual ha de producirse el acontecimiento predicho deberá ser *menor* que la duración máxima aceptable de medidas de protección tales como la evacuación de edificios, el cierre temporal de ciertas instalaciones y la movilización de los servicios de socorro.

Naturalmente, tales condiciones son muy difíciles de satisfacer dado el estado actual de nuestros conocimientos científicos, pero la experiencia demuestra que las predicciones que no las reúnen pueden causar graves trastornos sociales y económicos sin ser de gran utilidad para la comunidad amenazada. La predicción de los terremotos es no sólo un problema científico sino que concierne además a la comunidad en su conjunto.

El desarrollo de las técnicas de planeamiento y construcción antisísmicos hace concebir la esperanza de que con el tiempo la muerte y la destrucción causadas por los terremotos lleguen a ser cosa del pasado. Pero los trastornos que acompañan a ciertas erupciones volcánicas son de tal violencia que no hay manera de protegerse contra ellos. La única esperanza de supervivencia reside en huir de la zona amenazada, de donde se deduce la importancia vital que la predicción acertada de las erupciones volcánicas tiene para las poblaciones que viven en regiones a ellas expuestas.

Afortundamente, es un poco menos difícil predecir las erupciones volcánicas que los movimientos sísmicos ya que por lo general se conocen los sitios donde aquellas pueden ocurrir. Así, es raro que tengan lugar fuera de una estructura volcánica dada aunque a veces pueden producirse en volcanes que han est lo dormidos durante tanto tiempo que se los creía apagados. Mediante un estudio geológico cuidadoso es posible identificar y levantar mapas de las zonas que hallándose en torno a un volcán se han visto alguna vez afectadas por uno o más de los fenómenos que acompañan a las erupciones, tales como avalanchas incandescentes, torrentes de lava o de lodo, lluvias de ceniza, etc.

Con fines de protección puede hacerse un censo de las personas que viven o trabajan en las zonas expuestas a las erupciones volcánicas así como un inventario de los bienes muebles y del ganado. También cabe identificar las vías de evacuación hacia zonas seguras y planificar la rápida evacuación del lugar en caso de erupción. Asimismo puede preverse la construcción de abrigos de urgencia y alojamientos para los evacuados en las zonas de refugio. Todo ello, previsto pormenorizadamente de antemano, puede contribuir a salvar numerosas vidas cuando la erupción se produzca.

Al igual que en el caso de los terremotos, las predicciones de ese tipo basadas en la observación de los fenómenos precursores indican forzosamente sólo las probabilidades de una erupción. Por tanto, seguirá planteándose el problema de tener que adoptar medidas tajantes en una situación de incertidumbre. Debe evaluarse el riesgo de una posible catástrofe en relación con la certeza de los inconvenientes, de las privaciones y los costes que entraña evacuar a la gente de sus hogares por periodos que pueden ser de semanas o de meses.

Nuevamente se advierte aquí la importancia capital de establecer un diálogo útil entre los hombres de ciencia y las autoridades civiles, los medios de comunicación y el público, antes de que se produzca la situación de urgencia. La amenaza de un terre- ▶



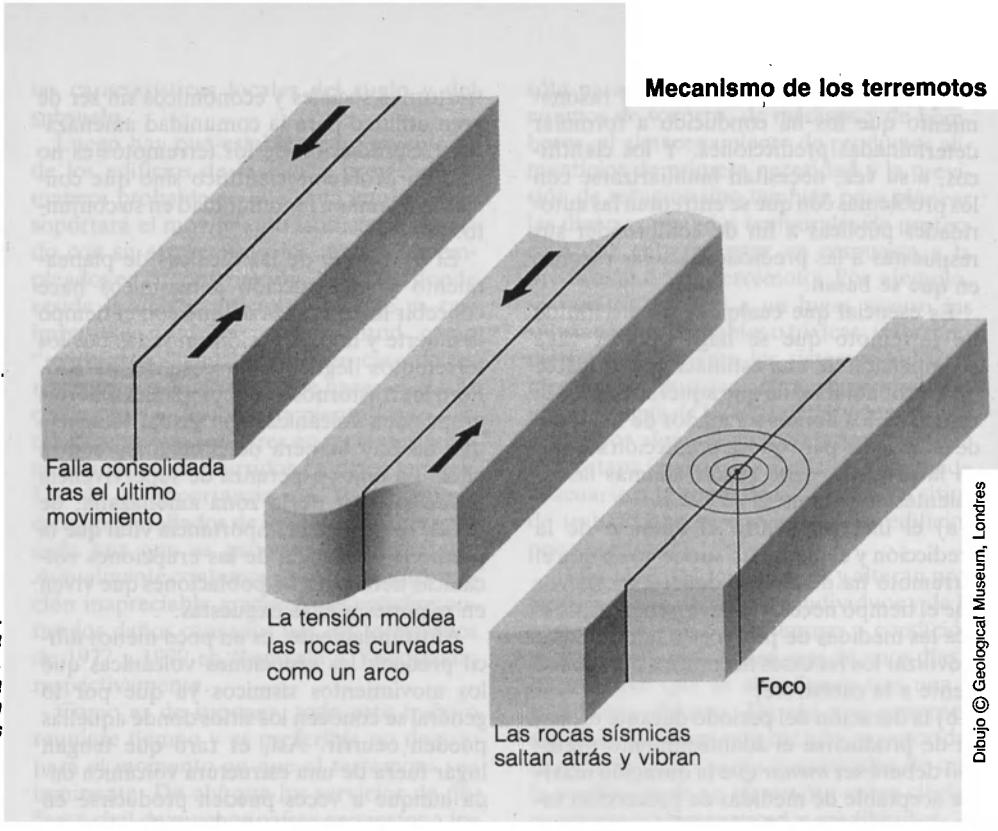
Fotos © Geological Museum, Londres

▶ moto o de una erupción volcánica inminente actúa como un revelador de la debilidad o de la fuerza de una comunidad.

Son todavía raros los casos en que se ha actuado con éxito frente a tales amenazas, pero gracias a ellos se ha demostrado que si las predicciones científicas son precisas y dignas de crédito, si las autoridades están preparadas y disponen de los medios para emprender la acción protectora apropiada y si el público está enteramente informado de la situación y de las medidas adoptadas para hacer frente a la catástrofe, pueden reducirse las pérdidas ocasionadas por esas manifestaciones violentas de la naturaleza y quizás llegue el día en que sean sólo un mal recuerdo del pasado. □

E. M. FOURNIER D'ALBE *es un especialista británico en la cuestión de los riesgos sísmicos. Hasta 1979 dirigió la División de Ciencias de la Tierra de la Unesco y a él se debe la iniciación del programa de la Organización relativo a los desastres naturales y a su prevención.*

Mecanismo de los terremotos



Dibujo © Geological Museum, Londres

Cómo se produce un terremoto

El origen de algunos terremotos de importancia menor puede atribuirse a actividades humanas como las pruebas nucleares subterráneas o la construcción de embalses y represas. Pero la causa principal de todos los grandes seísmos y de la mayoría de los pequeños es el fracturamiento de las rocas como consecuencia de la gradual acumulación de las tensiones originadas por los procesos geológicos.

La superficie de la Tierra está formada por una serie de placas (ver la página 11). Pues bien, los terremotos más graves tienden a producirse en las márgenes de esas placas, donde éstas se deslizan una sobre otra. Tal es el caso de la región de la falla de San Andrés, en California. El diagrama de arriba ilustra de manera simplificada el mecanismo de un temblor de tierra. Las rocas poseen cierta elasticidad, de modo que allí donde zonas adyacentes de rocas están sometidas a las fuerzas de contrafase del movimiento de las placas las tensiones se acumulan gradualmente. Cuando éstas resultan demasiado fuertes, se produce la ruptura de las rocas y, al saltar éstas violentamente a ambos lados de la falla, la tensión queda liberada. El punto en el que se origina la ruptura se llama *foco* y el punto de la superficie terrestre situado directamente encima del foco *epicentro*.

La energía liberada se propaga en ondas que hacen oscilar el suelo. Son esas ondas sísmicas las que captan y registran los sismógrafos, instrumentos gracias a los cuales los científicos pueden determinar exactamente el epicentro de un seísmo y medir su magnitud.

Para determinar la importancia de un temblor de tierra suelen utilizarse dos escalas. Su *magnitud* —es decir la cantidad total de energía liberada— se expresa mediante la *escala de Richter* y se obtiene midiendo la amplitud de las ondas sísmicas en un sismograma. Para abarcar la inmensa gama de los terremotos, la escala de Richter es logarítmica en vez de aritmética, o sea que la magnitud de cada grado es treinta veces superior a la del inmediatamente anterior. Así, un seísmo de magnitud 8 en la escala de Richter es 810.000 veces más fuerte que otro de magnitud 4.

La *intensidad* de un terremoto se refiere a los efectos del mismo en la superficie, es decir a los daños y devastaciones ocasionados. La escala más frecuentemente utilizada para medir la intensidad es la *escala sismométrica modificada de Mercalli* (abajo), que distingue doce grados de intensidad sísmica.

Escala sismométrica modificada de Mercalli

I Imperceptible para las personas.

II Perceptible para algunas personas en reposo en los pisos superiores de los edificios.

III Perceptible en el interior de las casas; vibraciones como las de un camión ligero que pasa por la calle. Oscilan los objetos colgados.

IV Vibraciones como las del paso de un camión pesado; vibran ventanas, platos y puertas.

V Perceptible fuera de las casas; se despiertan los que duermen y se derraman los líquidos.

VI Perceptible por todos en la zona afectada; muchos huyen asustados de sus casas; se resquebrajan el yeso y la mampostería; se mueven o se vuelcan los muebles; vasos y platos resultan rotos.

VII Dificultad para mantenerse en pie; perceptible incluso en los vehículos en movimiento; caen el yeso, los ladrillos sueltos, las tejas, etc.; suenan las campanas; se producen olas en los estanques.

VIII Difícil conducir vehículos; caen el estuco y algunas paredes de mampostería, así como chimeneas, torres y monumentos; se desgarran ramas de los árboles; formación de grietas en el suelo húmedo.

IX Pánico general; se agrietan las estructuras sólidas y se rompen las conducciones subterráneas; formación de grietas importantes en el suelo; cráteres de arena.

X Destrucción de los edificios y los cimientos de mampostería y de hormigón armado; serios daños en diques y represas; destrucción de algunos puentes; grandes corrimientos de tierra.

XI Se producen tensiones en los raíles de las vías; destrucción completa de las conducciones subterráneas.

XII Destrucción casi total; grandes oscilaciones y ondulaciones en el terreno; proyección de objetos y rocas hacia el aire.

Los volcanes, fraguas del planeta

por Haroun Tazieff

EL vulcanismo desempeña un papel fundamental en la historia de la Tierra. La corteza terrestre en que vivimos, el agua de los océanos, ríos y lagos y la mayor parte de la atmósfera que respiramos derivan, en última instancia, de las erupciones volcánicas. Sin vulcanismo no habría creación de nueva corteza oceánica por deslizamiento de los fondos marinos ni desplazamiento de las capas litosféricas ni orogénesis (formación de montañas) ni, por ende, erosión ni sedimentación.

Sin vulcanismo la Tierra carecería del flujo colosal y continuo de los sulfuros, óxidos, halógenos e hidróxidos de todos los metales existentes, emitidos en forma de gases de alta temperatura por las fumarolas (grietas volcánicas), provenientes de miles de cráteres, sea dormidos o activos, submarinos o terrestres, diseminados a lo largo de los cien mil kilómetros de los cinturones que marcan las fronteras entre las placas tectónicas de la Tierra (véase la pág.11) y las fracturas que se producen dentro de éstas.

Sin la presencia de las fumarolas submarinas no habría depósitos de minerales sulfurosos ni habría existido el medio ambiente marino cuya composición química permitió la aparición de la vida y determinó su evolución; sin esas fumarolas la Tierra habría carecido de los elementos necesarios para formar la atmósfera cuya composición hizo posible que las formas de vida que surgieron del océano colonizaran la tierra y luego evolucionaran hasta dar origen a los seres humanos.

Yo ignoraba todo ello, igual que los demás, cuando en 1948 el azar me puso por primera vez frente al extraño fenónemo de una erupción volcánica. Como todos mis colegas geólogos de esa generación, especialmente los europeos, había recibido de mis profesores —algunos de ellos de fama internacional— un curso de instrucción en el cual prácticamente no se mencionaron los volcanes dado que, a su juicio, sólo representaban "una enfermedad de la piel del planeta".

De todos modos, no sabía prácticamente nada acerca del vulcanismo cuando un día de marzo de 1948 tuve la suerte de presenciar por primera vez una erupción al norte del lago Kivu, en el Congo Belga (actualmente Zaire). La magnificencia del espectáculo no sólo sirvió para que abriera los ojos el geólogo ingenuo que yo era entonces sino también para que, dada mi falta de conocimientos, ese fenómeno me planteara más preguntas que respuestas me ofrecía.

En los casi cuarenta años que han transcurrido desde entonces, la vulcanología, moribunda al finalizar la Segunda Guerra Mundial (sobrevivía apenas en Estados Unidos y en Nueva Zelandia pero se había extinguido en el resto del mundo), revivió poco a poco y floreció por fin vigorosa junto con la oceanografía. Los nuevos conocimientos que estas dos disciplinas nos permitieron adquirir revelaron pronto el papel fundamental que desempeñaba el vulcanismo tanto en los fenómenos de desplazamiento de los fondos marinos como en el origen de la vida y su evolución en los últimos 3.000 millones de años.

Durante más de un tercio de siglo, la observación más cercana posible de las erupciones y la mensuración de todo lo mensurable —entre otras cosas el flujo de la energía (fundamentalmente térmica) y el flujo de la materia (particularmente en forma de gases)— me han permitido establecer que, contra lo que implícita o explícitamente suele creerse, la fase gaseosa desempeña en el vulcanismo un papel más activo que la fase líquida o de lava. Esta última es totalmente pasiva y, sin sus gases eruptivos, la actividad volcánica simplemente no existiría. Más aun, todas las erupciones entrañan emisiones de gases pero no siempre de lava.

Estas consideraciones me han llevado a la convicción de que para poder comprender el mecanismo de las erupciones es preciso conocer la composición química y la evolución termodinámica de sus fases gaseosas. Parece ser que la composición química de esos gases varía de una erupción a otra y de un tipo de magma a otro, pero en el estado actual de nuestros conocimientos no ha sido posible establecer una correlación entre las variaciones químicas y las variaciones de actividad volcánica observadas.

Debe admitirse que hasta ahora sólo se ha obtenido una cantidad insignificante de datos sobre la composición físico-química de los gases eruptivos. Y entiendo por tales los que no han sido sometidos a un enfriamiento excesivo ni a una oxidación atmosférica ni a una hidratación por el agua subterránea, procesos éstos que transforman los gases en menor o, más frecuentemente, mayor medida.

Es natural que para medir las propiedades químicas y físicas de los gases eruptivos antes de que éstos se degraden en gases de fumarolas sea preciso acercarse a las chimeneas volcánicas por las cuales se emiten. Esto requiere generalmente cierto esfuerzo físico y, a veces, una dosis considerable de coraje. Lo que les falta a muchos vulcanólogos no es el coraje sino el placer del esfuerzo muscular. Algunos parecen tenerlo entre los veinte y treinta años pero me he percatado de que lo pierden una vez que han alcanzado cierto nivel académico.

Esto no sería demasiado grave si no fuera por el hecho de que, a más de los datos en bruto que seguirán proporcionándonos los vulcanólogos jóvenes y entusiastas, es condición *sine qua non* del progreso en esta esfera la experiencia del hecho mismo de la erupción, cuya complejidad corre parejas con su variabilidad. Y esto sólo puede obtenerse por la observación directa del fenómeno en todas sus etapas.

A este respecto, la competencia del vulcanólogo, como la del médico, depende tanto de su conocimiento adecuado de las publicaciones científicas pertinentes cuanto de su propia experiencia adquirida gracias al examen del mayor número posible de casos: pacientes para el médico, volcanes para el vulcanólogo.

Mis primeros diez años de investigaciones vulcanológicas en el terreno estuvieron dedicados exclusivamente a buscar la explicación de los diversos aspectos del fenómeno de la erupción. Pronto me convencí de que la maduración del magma inactivo provenía de la liberación de los gases previamente disueltos en él. Las propiedades químicas, el tamaño y la distribución de las burbujas gaseosas en la masa viscosa, el crecimiento de éstas, sea por la unión de dos o más de ellas o por la expansión que experimentan durante su ascenso a través del magma, así como la propia expansión de éste, son factores que intervienen en la maduración del magma antes de la erupción y en su evolución mientras ésta se produce.

Bien puedan ser medidos o simplemente observados, la correcta interpretación de los parámetros de una erupción nos permite comprender aproximadamente el proceso eruptivo y, en consecuencia, poder predecirlo algunas veces.

Esta comprensión me ha permitido, a partir de 1958, responder acertadamente a las preguntas que me han hecho las autoridades administrativas o políticas de algunas ciudades, provincias e incluso países cuan- ▶

▶ do un volcán parecía constituir una amenaza. Así me encontré delizándome gradualmente de la investigación pura a la investigación aplicada y a la previsión de posibles erupciones. Y desde 1981, cuando el gobierno francés decidió ocuparse oficialmente de mitigar las consecuencias de las catástrofes naturales, mi ocupación de vulcanólogo se ha limitado a esta esfera.

Durante cerca de treinta años me he visto en la situación de tener que responder a preguntas de las autoridades de una decena de países. Y si mis respuestas jamás han sido erróneas, ello se debe a que, como un buen médico, he basado mi diagnóstico en la información disponible interpretada a la luz de mi experiencia. De unos quince casos que recuerdo, pude dar respuestas tranquilizadoras en nueve ocasiones, confirmar la amenaza de peligro en tres y en otras tres me vi obligado a admitir que no sabía.

A lo largo de este periodo rara vez se me hacían preguntas tales como "¿Va a haber una erupción o no?". Por lo general me preguntaban si había o no algún peligro debido a una erupción que estaba ocurriendo en ese momento. Y aunque en tales circunstancias semejante pregunta es sin lugar a dudas la más importante, es también la más difícil de responder.

En efecto, es relativamente fácil predecir una erupción cuando auténticos expertos provistos de un equipo adecuado observan correctamente el volcán en cuestión. Si se exceptúan las erupciones causadas por el aumento de la presión del vapor debido al recalentamiento del agua subterránea debajo de una chimenea obstruida —erupciones que no emiten ni magma ni lava sino vapor, algunos gases fumarólicos y fragmentos de la roca que bloquea la chimenea—, todas las erupciones volcánicas son resultado de la ascensión a la superficie del globo de un volumen determinado de magma.

Esta subida del magma no puede ocurrir sin que se produzca en la corteza terrestre un movimiento en respuesta a la presión de aquél: o bien se distiende y se deforma o bien se fractura. Estas deformaciones pueden detectarse y medirse gracias a instrumentos tales como los inclinómetros, los extensímetros y los geodímetros. Las fracturas a través de las cuales el magma puede infiltrarse en la corteza y ascender a la superficie causan temblores que los sismógrafos registran.

Estas observaciones y mensuraciones geofísicas, que pueden anunciar una erupción, a menudo con varios meses de anticipación pero a veces sólo con unos días u horas (según, entre otras cosas, la profundidad a que se encuentra el magma antes de que comience su ascensión), se complementan con otras observaciones que pueden ayudar al vulcanólogo en sus predicciones. Entre ellas figuran la temperatura, composición y presión de los gases fumarólicos y los cambios que se producen en el campo magnético de la corteza terrestre. Gracias a estas indicaciones un experto vulcanólogo puede detectar una erupción que se aproxima y fijar la fecha en que habrá de producirse, a veces con suma precisión.

Desgraciadamente, tales predicciones son de escasa importancia cuando se trata de salvar vidas humanas. Las erupciones de magma, sean expansivas o efusivas, nunca comienzan de manera desastrosa. La primera fase de una erupción es *siempre* (que yo sepa jamás se ha observado una excepción a esta regla) relativamente moderada, dando así tiempo a los habitantes de la región amenazada para abandonarla.

La evacuación, que es la única manera de proteger a la gente de un peligro volcánico de importancia, es rara vez necesaria puesto que es muy excepcional que tras su fase inicial una erupción alcance otra paroxística o que llegue incluso a convertirse en un fenómeno algo más peligroso aun. De cien erupciones que por término medio se producen cada año en el mundo sólo una seguirá ese curso, justificando así la adopción de precauciones especiales.

El principal problema que afronta el vulcanólogo es prever la evolución de la erupción mientras ésta sigue su curso, tarea infinitamente más difícil que predecir una erupción inminente. Una vez comenzada la erupción, desaparecerán todas las indicaciones mecánicas (por ejemplo, la deformación o la fractura de la superficie) relacionadas con la subida del magma a la corteza terrestre y su torrente se volverá "fluido", es decir que ya no tendrá que fracturar la roca en las profundidades ni las faldas del volcán para abrirse paso hacia la superficie.

Privado de estos dos indicadores fundamentales para predecir una erupción que se avecina (los temblores y la deformación de la superficie), el vulcanólogo se ve obligado a hacer su diagnóstico sobre la base de su interpretación de las otras indicaciones físicas y químicas mencionadas más arriba. La correlación de los diversos factores y su interpretación es sobremanera difícil dada la insuficiencia de la investigación y de la experiencia en esta materia. Y sin la correlación que le permita establecer relaciones de causa a efecto entre lo que ha podido medir y observar, es prácticamente imposible que un vulcanólogo haga un diagnóstico serio.

Finalmente, quisiera recordar a los lectores un artículo que escribí hace casi veinte años para *El Correo de la Unesco* (octubre de 1967) en el que llamaba la atención tanto de las autoridades como de los habitantes

SIGUE EN LA PAG. 31

Los tsunamis

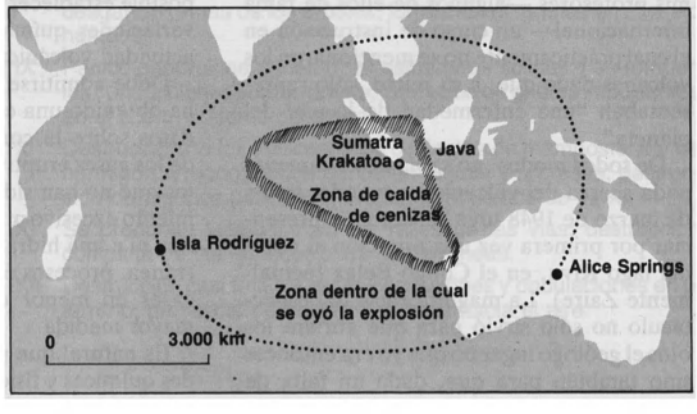
A la una de la tarde del 26 de agosto de 1883 se producía en la isla de Krakatoa, en el estrecho de la Sonda que separa a Java de Sumatra (Indonesia), la primera de una serie de explosiones cada vez más violentas. Una hora más tarde una negra nube de cenizas se elevaba por encima de la isla hasta una altura de 27 kilómetros.

La erupción continuó, alcanzando su punto culminante a las diez de la mañana del día siguiente con una tremenda explosión que lanzó cenizas hasta 80 kilómetros de altura y fue percibida en Australia, a 4.000 kilómetros de distancia. La isla entera de Krakatoa desapareció bajo las aguas con excepción de un pequeño fragmento: el cono de un enorme volcán submarino.

En las vecinas islas de Lang y Verlaten se formó una capa de cenizas y restos volcánicos de hasta 60 metros de espesor. Incluso en Europa se observaron espléndidos crepúsculos originados por las finas partículas suspendidas en el aire y en los parajes cercanos del océano se vieron durante largos meses masas flotantes de piedra pómez (lava llena de burbujas gaseosas).

Pero aun estaba por venir lo peor. El hundimiento del volcán produjo una serie de tsunamis, u olas marinas de origen sísmico. La mayor de esas olas, que alcanzó una altura de 35 metros, devastó unas 300 ciudades y aldeas de las costas de Java y Sumatra, causando 36.000 víctimas.

Casi todos los tsunamis se producen en el Pacífico y tienen su origen en un súbito movimiento vertical del lecho oceánico como consecuencia de una erupción volcánica submarina o de un terremoto. Tras un desastroso tsunami de 1946 se creó un sistema de alerta que abarca el Pacífico entero. Los detectores de tsunamis y los sismógrafos instalados en los observatorios sismológicos del Pacífico dan la alerta en cuanto detectan el menor signo premonitorio. La información recogida se transmite al Observatorio de Honolulú que se encarga de evaluar el riesgo y de lanzar las señales de alerta en caso necesario.



Mapa © Geological Museum, Londres





Fotos P. Vauthey © Sygma, Paris

NACIMIENTO DE UNA ISLA

El 14 de noviembre de 1963 se produjo en el océano Atlántico, junto a las costas meridionales de Islandia, una tremenda erupción cuyo resultado fue el nacimiento de una nueva isla. La isla, que recibió el nombre de Surtsey en honor de Surtur, el dios del fuego de la mitología islandesa, surgió de las olas en un torbellino de llamas y de vapor. Un semana después de la erupción, Surtsey tenía una superficie de 70 metros cuadrados que tres años y medio más tarde se habían convertido en los 2,5 kilómetros cuadrados actuales, con una elevación máxima de 173 metros. Al visitarla después de su enfriamiento, los científicos se quedaron sorprendidos comprobando que la vida vegetal ya se había instalado en ella. En la nueva isla, que es el primer ecosistema "virgen" conocido por el hombre, se lleva a cabo actualmente un programa de investigaciones ecológicas a largo plazo.





Foto Jacques Hutin © Gamma, Paris



Foto Chromos © Gamma, París

Fango, lava y ceniza devastadores

Aunque la predicción de las erupciones volcánicas puede evitar o reducir las pérdidas de vidas, de poco sirve a la hora de impedir los daños de las cosechas o de los bienes inmuebles una vez que se ha producido la erupción. Las corrientes de fango y de lava y la ceniza constituyen los peligros mayores.

En los últimos siglos las corrientes o coladas de fango (llamadas también lahares***) han resultado ser las más destructoras, causando la muerte de más personas y destruyendo un número mayor de propiedades agrícolas que cualquier otro aspecto de la actividad volcánica. Tales corrientes se producen a menudo por el rápido derretimiento de la nieve o del hielo en las laderas de los volcanes o por las fuertes lluvias o nevadas que tras una erupción caen sobre la ceniza volcánica recien-***

VIENE DE LA PAG. 28

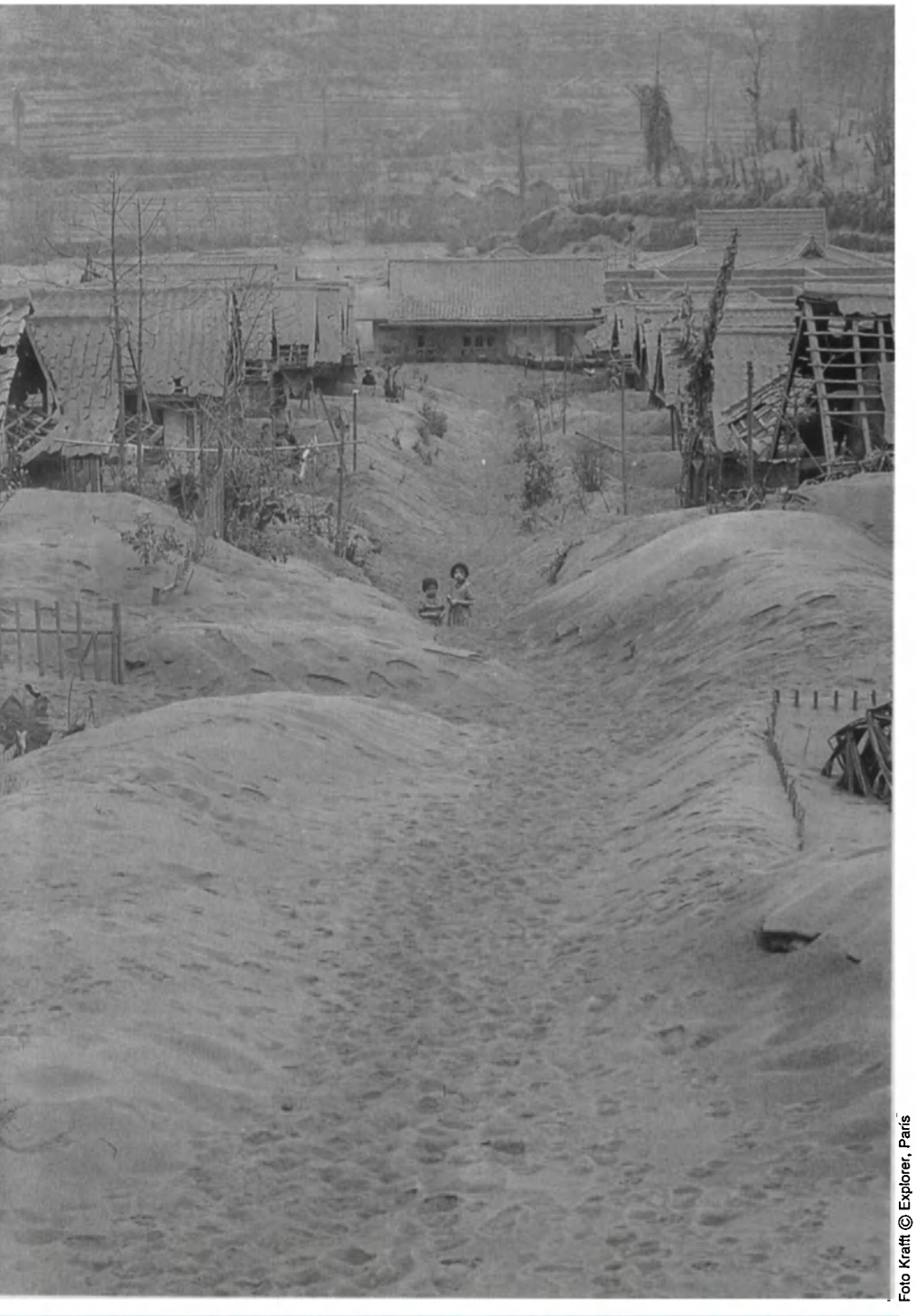


Foto Krafft © Explorer, París

te. Se sabe que algunas de esas corrientes alcanzan velocidades de hasta 70 kilómetros por hora y recorren distancias de hasta 180 kilómetros. A la izquierda, la aldea de Armero, Colombia, sumergida bajo el fango tras la erupción del volcán Nevado del Ruiz en noviembre de 1985.

Las corrientes de lava clara se enfrían con bastante rapidez pero las de lava espesa pueden requerir años para enfriarse completamente. Se han ensayado diversos métodos para controlar o desviar estos torrentes, entre ellos el uso de mangas de agua para formar un muro sólido de lava enfriada y el bombardeo lateral de la corriente para dividirla en muchas otras de menor caudal. Arriba a la izquierda: una corriente de lava bloquea una carretera tras la erupción del volcán La Fournaise en la isla francesa de La Reunión, en el océano Indico, el 18 de marzo del año en curso.

Pese a su nombre, la ceniza volcánica no es un producto de combustión sino que consiste en lava pulverizada y fragmentos de roca arrojados al aire por la súbita explosión del gas volcánico. Se calcula que la erupción del volcán Tambora en la costa septentrional de la isla de Sumbawa, Indonesia, en 1815, que causó la muerte de 50.000 isleños, tuvo una fuerza explosiva equivalente a 16.000 megatones. La ceniza extraordinariamente fina de una erupción semejante puede recorrer enormes distancias e influir en el clima. Arriba, la aldea de Parentas, Indonesia, envuelta en la ceniza volcánica producida por la erupción del volcán Galunggung en 1982.

de las regiones interesadas acerca del gran peligro que entrañan los llamados volcanes "eapagados" porque a menudo están sólo dormidos, lo que supone que un día volverán a ser activos. Se trata de un peligro que debe tomarse seriamente en cuenta y sería aconsejable abstenerse de construir edificios en las zonas de peligro que rodean a tales volcanes.

La extensión de la zona expuesta al peligro dependerá de la naturaleza de la actividad volcánica, sea efusiva o explosiva, del tamaño y de la altura del volcán de que se trate e incluso del clima de la región en que está situado.

La importancia del clima y de la altitud quedó demostrada de manera dramática el 13 de noviembre de 1985 con la erupción del Nevado del Ruiz, en Colombia. Si no hubiese sido por la altura del volcán y por el clima de la región, que había favorecido la formación de una gruesa capa de hielo en su cima, la irrupción de lava a una temperatura de 1.000° C no habría provocado el derretimiento de cientos de miles de metros cúbicos de hielo ni la formación de *lahares*, esos terribles torrentes de fango volcánico que se tragaron la aldea de Armero, causando la muerte a 23.000 personas.

Lo que escribí hace unos veinte años acerca del peligro que entrañaban el Vesubio y el Campi Flegrei en Italia, el monte Fuji en Japón y el Mount Rainier en Estados Unidos sigue siendo válido hoy día, de lo cual da fe lo sucedido en Mount Saint Helens, muy cerca del Rainier, y en Helgafell, Islandia. Las autoridades de los países dentro de cuyos límites se encuentran volcanes potencialmente peligrosos—tanto los que se cree apagados como aquellos de los que se sabe que están activos, como el Merapi (Indonesia) o el Etna (Italia), el Sakurajima (Japón), el Vulcano (Italia) o el Pichincha (Ecuador), para nombrar sólo unos cuantos— deberían aprovechar los "días de paz" para estudiar los problemas que habrán de surgir y preparar las medidas que deberán adoptar cuando esos gigantes dormidos se despierten. □

HAROUN TAZIEFF, *eminente vulcanólogo francés, ha sido director de investigaciones en el Centre National de la Recherche Scientifique de su país y, hasta hace poco, Secretario de Estado para la Prevención de los Desastres Naturales. Ha escrito numerosos libros y estudios sobre vulcanología y producido una serie de filmes y documentales como* Les rendez-vous du Diable *(Las citas del diablo).*

La larga cadena de la vida

Cuaternario. Al comienzo de este periodo predominan los grandes mamíferos como el mastodonte (A), los felinos con dientes de sable (B) y la ballena azul (C). En el último millón de años el hielo cubre intermitentemente la mayor parte del hemisferio norte. Algunos animales emigran; otros, como el rinoceronte lanoso (D), se adaptan al frío. El hombre moderno reemplaza al primitivo (E), caracterizado por la utilización de herramientas de piedra y el descubrimiento del fuego.

Terciario. Los mamíferos evolucionan rápidamente y aparecen especies típicas tales como el lemúrido *Plesiadapis* (A), antepasado de los primates, el *Phenacodus* pentadáctilo (B) y el *Titanotherium* encornado (C). Evolucionan los pájaros, incluso las especies gigantes no voladoras como el *Diatryma* (D). Los peces, reptiles e invertebrados del terciario se asemejan a los de hoy; por ejemplo, el "tiburón de arena" u *Odontaspis* (E) casi no ha cambiado

Cretáceo. En tierra aparecen plantas fanerógamas como la magnolia (A). En el mar se forman los actuales peces óseos junto con los erizos de mar (B) y los moluscos bivalvos (C). A fines del periodo desaparecen súbitamente los dinosaurios gigantes, tales como el *Stegosaurus* (D), y los grandes pterodáctilos voladores (E). Comienzan a aparecer nuevos tipos de mamíferos pequeños, como el *Phascolotherium* (F), parecido al musgaño o musaraña.

Jurásico. Abundan en el mar los braquiópodos, cefalópodos *ammonites* (A), belemnites (B) y ostras fósiles tales como las *Gryphaea* (C). Hay peces óseos, tiburones y dos grupos de reptiles marinos: los ictiosaurios (D) y los plesiosaurios. Grandes dinosaurios como el *Brontosaurus* (E) comparten la tierra con mamíferos pequeños. El *Archaeopteryx* (F), o pájaro ancestral, alza el vuelo.

Triásico. Los reptiles mamiferoides como el *Cynognathus* (A), antepasados de los mamíferos, son reemplazados por animales pequeños, antepasados de los dinosaurios, como el *Ornothosuchus* (B). Los musgos de tallo o licopodios, las esquisetáceas o "colas de caballo" y los helechos polipodios se vuelven raros siendo sustituidos por las cicadales, las ginkgoinas (C) y las coníferas. En el mar aparecen nuevos grupos de invertebrados. Son numerosos los crinoideos o lirios del mar (D) y los corales en formaciones arrecifales.

Pérmico. Reptiles mamiferoides como el *Dimetrodon* (A) reinan en la tierra. Los grandes anfibios son raros. En el mar los cefalópodos (B), los moluscos bivalvos (C) y los peces óseos primitivos (D) siguen desarrollándose; los corales y erizos de mar escasean y la mayoría de los tiburones mueren. Una selva de helechos polipodios cubre el hemisferio austral. En el norte florecen un número mayor de variedades vegetales.

Carbonífero. Los anfibios (A) llegan a constituir un grupo nutrido e importante; con el tiempo dan origen a los reptiles, primeros vertebrados enteramente terrestres. Surgen las coníferas y los helechos arborescentes (B) y aparecen las libélulas (C) y otros insectos. Los tiburones (D) dominan en el mar. En las aguas poco profundas pululan los braquiópodos (E), los corales (F), los cefalópodos, las esponjas y los crinoideos.

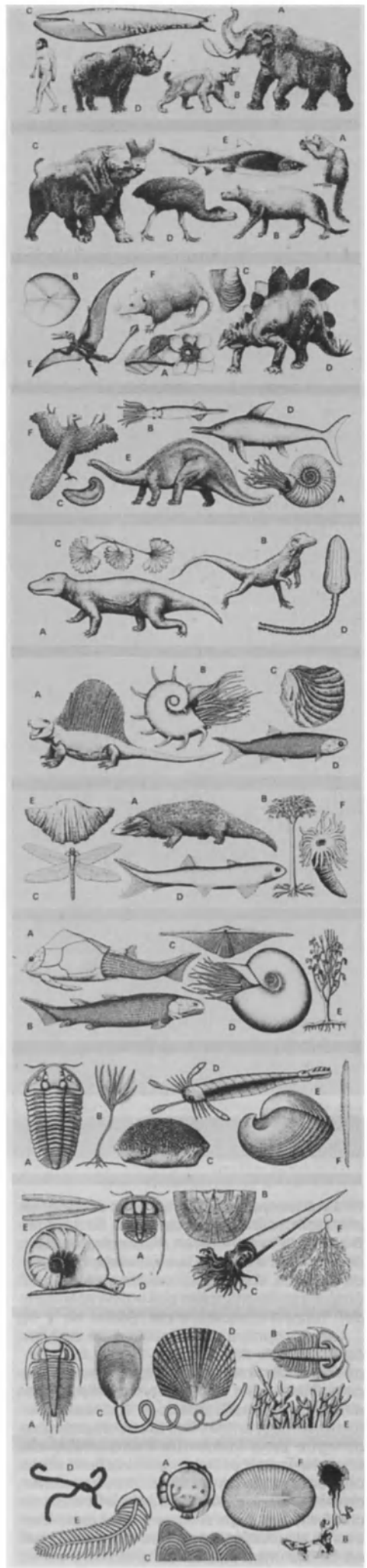
Devónico. Los peces acorazados (A) y los óseos y escamosos (B) se desarrollan en el agua dulce. Tiburones y peces espinosos colonizan el mar. Los braquiópodos (C) y cefalópodos (D) continúan su evolución; los trilobites disminuyen cada vez más y los graptolites se extinguen. En tierra, las plantas vasculares simples (E) son reemplazadas por los musgos de tallo, las esquisetáceas y los helechos polipodios. A partir de los peces escamosos se forman los primeros anfibios.

Silúrico. La tierra es conquistada primero por colonias de plantas vasculares aspermas y luego por artrópodos semejantes a alacranes. En el agua dulce abundan los peces pequeños y los grandes euriptéridos o "escorpiones de agua" y en el mar pululan los invertebrados, particularmente los trilobites (A), los crinoideos (B),los corales (C), los euriptéridos callosos (D), los braquiópodos (E) y los graptolites (F).

Ordoviciense. Se desarrollan los invertebrados crustáceos, especialmente los trilobites (A), los braquiópodos (B), los moluscos llamados cefalópodos (C) y los gasterópodos o babosas (D). Aparecen los corales, los moluscos bivalvos y las colonias de briozoarios ramificados o musgosos. Pululan los graptolites (E y F), algunos de los cuales semejan telarañas duras. Surge el primer pez de agua dulce, del que sólo conocemos algunos fragmentos de escamas.

Cámbrico. A comienzos de este periodo varios grupos de animales desarrollan conchas y partes duras de calcita y de materia córnea. Entre ellos figuran los trilobites (A y b), los braquiópodos (C y d), las esponjas (E) y los crustáceos. Los trilobites, así llamados por su cuerpo trilobulado, evolucionan hasta formar un grupo grande y variado de especies capaces de reptar y de nadar que van a dominar el mar durante los cien millones de años siguientes.

Precámbrico. Durante este periodo, que se extiende hasta los comienzos del tiempo geológico, se desarrollan moléculas orgánicas complejas a partir de substancias químicas inorgánicas simples. Las bacterias (A y B) y las algas (C y D) aparecen a comienzos del periodo. Hacia fines de éste se han formado ya los animales marinos blandos y los de agua dulce como los gusanos (E y F), las medusas y las esponjas.



Dibujo © *The Sunday Times*, Geological Museum, Londres

¿Son los cometas el origen de la vida terrestre ?

por Chandra Wickramasinghe

Desde 1962 los astrónomos Chandra Wickramasinghe y Fred Hoyle vienen estudiando la naturaleza del polvo interestelar. Una de sus conclusiones es que la vida terrestre tiene su origen en las nubes de gas y polvo del espacio. En franca contradicción con la teoría darwiniana, piensan que la vida llegó a la Tierra desde fuentes exteriores a ella en las que todavía se mantiene (véase *El Correo de la Unesco* de mayo de 1982). Otros científicos rechazan tajantemente sus conclusiones, pero he aquí que la primera evaluación de los datos obtenidos gracias al estudio del cometa de Halley parece respaldar, al menos en algunos de sus aspectos, los puntos de vista de ambos astrónomos.

LOS cometas se hallan estrechamente relacionados con la historia de la Tierra. Desde que se formó como planeta hace unos 4.600 millones de años ésta ha soportado el choque de pequeños cometas o de restos de cometas en forma de finas partículas de polvo. Hoy está claro que ciertas materias volátiles procedentes de los cometas, entre ellas el agua, contribuyeron en medida considerable a formar los océanos y la atmósfera primitivos.

Pero no se crea que los impactos de los cometas y la adquisición por la Tierra de materia cometaria se acabaron en remotas épocas geológicas. En fecha tan reciente como el año 1909 un cometa, o parte de un cometa, chocó con nuestro planeta en el valle de Tunguska, Siberia, explotando en la atmósfera a una altura de 8,5 kilómetros y devastando centenares de kilómetros cuadrados de bosque.

El sistema solar se halla actualmente rodeado de un halo esférico de unos cuantos miles de millones de cometas situados a una distancia aproximada de una décima parte de año-luz (un año luz es la distancia que la luz recorre en un año: aproximadamente diez billones de kilómetros). Al pasar por su órbita las estrellas hacen que los cometas de ese halo se desvíen en la suya penetrando en las zonas interiores del sistema solar a la cadencia de uno o dos por año. La Tierra está envuelta por una maraña de esos cometas, por lo que lo normal es que lleguen hasta ella en abundancia materias procedentes de tales cuerpos. Esas materias son captadas por la alta atmósfera terrestre, incrementando constantemente el volumen de las materias volátiles del planeta. A lo largo de los periodos geológicos se pueden producir fluctuaciones del ritmo de precipitación de restos cometarios. Hoy es creencia generalizada que un aumento importante de ese ritmo daría origen a una glaciación planetaria como las que ya ha conocido la historia geológica de la Tierra.

Un cometa típico como el de Halley tiene una masa aproximada de cien mil millones de toneladas. Por tanto, la colisión directa de semejante objeto con nuestro planeta tendría dramáticas consecuencias para éste. Por fortuna, tales colisiones son extremadamente raras: se producen a intervalos de trescientos millones de años como promedio, coincidiendo aproximadamente con los intervalos entre los cambios bruscos en la evolución de la vida terrestre. En cambio, los cometas más pequeños, que son más numerosos, podrían chocar más frecuentemente con la Tierra.

La mayoría de los científicos están hoy más o menos de acuerdo con todo esto. En cambio, el astrónomo británico Sir Fred Hoyle y yo sostenemos otra idea que tiene menos aceptación, y es que los cometas fueron también la causa de la penetración en la Tierra de moléculas orgánicas que contribuyeron a la aparición de la vida en ella. Hemos llegado incluso a afirmar que nuestro planeta continúa aun hoy recibiendo estructuras biológicas preexistentes tales como bacterias y virus.

Desde 1975 hemos acumulado pruebas que repaldan nuestro parecer de que en el cosmos existen en gran escala granos de polvo orgánico, entre ellos polímeros orgánicos (amplias cadenas de moléculas orgánicas a base de carbón). Esos granos de polvo pueblan las nubes de gas que existen entre las estrellas; ellos son los que producen el efecto visual de las manchas y estrías oscuras que vemos sobre el fondo de luz difusa de la Vía Láctea. En 1981, combinando las experiencias de laboratorio, los cálculos matemáticos en ordenador y la observación astronómica, llegamos a la conclusión de que en lo esencial ese polvo cósmico era de carácter no simplemente orgánico sino claramente biológico*.

* El adjetivo "orgánico" suele utilizarse como equivalente de "viviente", en el sentido en que es "viviente" una planta, un árbol o un ser humano; los químicos lo emplean en un sentido restringido para referirse a los compuestos que contienen carbono combinado con hidrógeno. Todos los seres vivientes contienen carbono e hidrógeno y son por consiguiente orgánicos, pero no todas las cosas que contienen carbono e hidrógeno son vivientes. "Biológico" quiere decir "relativo a la vida o a los seres vivos".

En una serie de publicaciones hemos expuesto diversos argumentos en apoyo de la teoría de que la vida terrestre tiene su origen en los cometas y que la evolución se halla controlada por la continua "importación" de materia cometaria. Como la penetración de cometas desde la región más exterior del sistema solar es esporádica, esa importación no puede ser uniforme y regular en el tiempo, por lo que su influencia en la evolución es también ocasional. Tal rasgo se manifiesta claramente en los fósiles de que disponemos y que son los testimonios de la evolución de la vida terrestre.

Un ejemplo espectacular es el de la extinción de los dinosuarios hace unos 50 o 60 millones de años. Son muchos los científicos que en los últimos tiempos han afirmado que la causa de tal acontecimiento fue un cometa que envolvió a la Tierra en un halo de finas partículas. Estas actuaron como una especie de niebla que oscureció el cielo durante decenios e hizo que se marchitaran el plancton y los vegetales y que desaparecieran todos los grandes animales que de ellos se alimentaban.

Sir Fred Hoyle y yo creemos que una causa tan puramente física es poco verosímil dado que la extinción de los dinosaurios coincidió también con la extinción de una gran parte de las especies de plantas, animales y microorganismos y con la aparición de varios órdenes totalmente nuevos de seres vivos. Para nosotros ese fenómeno de extinción y creación de nuevas especies hace 65 millones de años es el resultado de una tormenta genética originada por una nueva "lluvia" excepcionalmente nutrida de cometas que penetraron en las regiones interiores del sistema solar.

Los primeros hallazgos inequívocos de moléculas orgánicas —cianuro de hidrógeno (HCN) y cianuro de metilo (CH_3CN)— se obtuvieron observando el cometa de Kohutek en 1973 y 1974. Pero el momento álgido de la discusión en torno a la teoría cometaria se produjo en marzo del presente año cuando, como culminación de la International Halley Watch (Observación Internacional del Halley), la sonda espacial europea *Giotto* llegó hasta unos cientos de kilómetros del núcleo del cometa de Halley (véase *El Correo de la Unesco* de marzo de 1986).

Entre su carga útil *Giotto* llevaba una serie de aparatos para realizar experimentos científicos y una cámara de vídeo que debía enviar a la Tierra fotos en color del núcleo del cometa. Unos días antes, la sonda espacial soviética *Vega 2* llevó a cabo con éxito una misión similar. A juzgar por las fotos tomadas por la sonda soviética a varios miles de kilómetros de distancia, el núcleo del cometa parece dividido al menos en dos fragmentos. *Giotto* habría podido ▶



Foto © APN, Moscú

En la mañana del 30 de junio de 1908 una enorme explosión aérea de una potencia de 10 a 15 megatoneladas de TNT devastó unos 2.000 kilómetros cuadrados de pinar (a la izquierda) cerca del río Tunguska, en la Siberia central. Se piensa que la causa de la explosión fue un cometa, o un fragmento de cometa, al chocar con la Tierra. Un objeto de ese tipo se habría desintegrado en la atmósfera terrestre produciendo una bola de fuego y una poderosa onda de choque pero no un cráter.

▶ resolver esta duda si no hubiera sido por un desgraciado contratiempo en el sistema de comunicaciones que se produjo unos segundos antes del momento de máxima proximidad al Halley. Por ello, las mejores imágenes que se han podido obtener del núcleo nos lo muestran envuelto por un velo de polvo opaco en forma de cacahuete.

¿Qué cabe concluir de las primeras evaluaciones de los datos enviados a la Tierra por las diversas misiones de observación de Halley?

Nuestra teoría orgánica de los cometas afirma que sus núcleos deben producir una capa superficial muy porosa en forma de malla constituida por partículas poliméricas. La evaporación de materia en gran escala sólo puede producirse en lugares de la superficie en que esa capa superficial está raída o rota. Consecuencia de ello es que los núcleos deben tener una superficie muy negra y no reflexiva, propiedad que nosotros predijimos sólo unas semanas antes del encuentro de *Giotto* con Halley.

Las fotos de la sonda europea mostraron la existencia de unos cuantos lugares en los que podía verse el núcleo a través de unos "agujeros" abiertos en el halo de polvo; mostraron asimismo que la superficie era sorprendentemente negra —"más negra que el más negro carbón", según los especialistas de la misión *Giotto*. Lo cual suponía un triunfo para la teoría orgánica.

Otros triunfos iban a seguir inmediatamente. El analizador de impactos de partículas de la sonda europea estaba equipado para determinar la composición química de las partículas de polvo del cometa mediante la medición de la distribución de las masas de los átomos en cada una de ellas. J. Kissel, que era quien dirigía este experimento, declaró el 17 de marzo que el polvo se componía de carbono, oxígeno, nitrógeno e hidrógeno, con cantidades mucho menores de otros elementos químicos. De estos datos se desprenden dos posibilidades lógicas. Esos átomos pueden existir en forma de hielos volátiles como el agua, el bióxido de carbono y el amoniaco junto con hidrocarburos simples como el metano, o bien pueden presentarse en forma de polímeros orgánicos muy estables. Como en otros experimentos se ha podido saber que la temperatura de esas partículas es de 125 grados centígrados, es decir superior al punto de ebullición del hielo y de los hidrocarburos simples, la conclusión es que las partículas de los cometas no pueden estar formadas sino por polímeros orgánicos.

Tanto *Vega 2* como *Giotto* han mostrado que del cometa se desprenden en cantidad importante átomos de hidrógeno, radicales de hidroxilo y moléculas de agua. Ahora bien, las cantidades observadas de esas sustancias no son contradictorias con el agua tal como existe en las células vivas (el 60 por ciento del volumen de éstas es agua). Y es curioso que no se haya obtenido prueba alguna de la existencia de un halo de partículas de hielo en torno al núcleo tal como predecía la teoría más popularizada de que el cometa es una "bola de nieve sucia", teoría cuyo primer exponente fue el astrónomo norteamericano Fred Whipple.

Apenas tres semanas después del encuentro entre *Giotto* y Halley los astrónomos D.T. Wickramasinghe y D.A. Allen realizaron una importante observación del cometa en la región infrarroja del espectro, utilizando para ello el telescopio angloaustraliano de 154 pulgadas de Siding Springs, en Nueva Gales del Sur, Australia. Lo que descubrieron fueron unas señales notablemente intensas originadas por la emisión emanada del polvo orgánico recalentado en las longitudes de onda de 2 a 4 micrómetros. Las estructuras básicas de las moléculas orgánicas que implican enlaces entre átomos de carbono y de hidrógeno (enlaces CH) absorben y emiten radiación en longitudes de onda cercanas a 3,4 micrómetros; para un conjunto de moléculas orgánicas complejas tal como una bacteria la banda de absorción es en general muy ancha y adopta un perfil muy característico. Pues bien, lo más notable de todo es que el perfil de esa emisión producida por el cometa de Halley se ajusta precisamente al comportamiento de una bacteria deshidratada medido en laboratorio.

Aunque aun no se ha completado la evaluación de las observaciones últimas de Halley, resulta ya manifiesto que de ellas se desprenden unas conclusiones notables. El cometa no es en modo alguno la bola de nieve sucia e inorgánica de que hablaban la mayoría de los astrónomos. Por el contrario, su carácter es orgánico. Ese enorme terrón de materia orgánica de unos ocho kilómetros de largo por cuatro de ancho contiene también un gran porcentaje de moléculas de agua y vestigios de otras materias. Querámoslo o no, la materia orgánica del cometa se presenta predominantemente en forma de partículas cuyos tamaños, propiedades de absorción y densidades son idénticos a los predecidos por la hipótesis bacteriana.

Aun interpretados en la forma más moderada posible, los descubrimientos últimos muestran como mínimo que los cometas pudieron proporcionar las materias primas de las que emergió la vida en la Tierra. Otra opinión a mi juicio más realista es que, a juzgar por los datos obtenidos, los cometas contienen formas de vida tales como bacterias y virus y fueron ellos los que las introdujeron en nuestro planeta. □

NALIN CHANDRA WICKRAMASINGHE *es profesor de matemáticas aplicadas y astronomía del University College de Cardiff, Gran Bretaña, y director del Instituto de Estudios Fundamentales de Sri Lanka. El profesor Wickramasinghe, que es de origen cingalés, obtuvo en 1962 el Premio Powell para poesía en lengua inglesa. Ha desarrollado sus ideas sobre los orígenes espaciales de la vida en dos libros,* Space Travellers: the Bringers of Life *(Viajeros espaciales: los que trajeron la vida) y* Evolution from Space *(La evolución viene del espacio), del que es coautor con Fred Hoyle.*

La mano del hombre

por Stephen Boyden y Malcolm Hadley

LA especie humana comenzó a desarrollarse muy tardíamente en la historia de nuestro planeta. Pero durante su corta vida en la Tierra el hombre ha introducido cambios profundos —en el aire, en el agua y en el suelo, en otras criaturas vivientes y en el sistema de interacción estrechamente coordinado de los factores que forman el entorno— y todo ello sólo en este último instante del tiempo geológico.

La historia de la cambiante relación del hombre con su hábitat —tanto en lo que concierne a las consecuencias de la actividad humana en el entorno natural como a las condiciones de vida de los seres humanos— puede dividirse, aun a riesgo de una simplificación excesiva, en cuatro periodos ecológicos distintos pero traslapados: el *periodo primitivo*, el *periodo agrícola temprano*, el *periodo urbano temprano* y, finalmente, el *periodo industrial moderno*.

Durante el periodo primitivo —también llamado a veces predoméstico o de caza y recolección— las poblaciones humanas diferían probablemente poco de las de otros mamíferos omnívoros en cuanto a la amplitud y naturaleza de su interacción con los ecosistemas de que formaban parte. Como cazadores y recolectores ocupaban el lugar que les correspondía en el ciclo alimentario, derivando su energía, en forma química, de los alimentos naturales de origen animal o vegetal. Pero, a su vez, constituían el alimento de otros carnívoros y sus restos volvían a la tierra a través del proceso de descomposición. La cantidad de energía empleada por un grupo de homínidos primitivos en su hábitat natural debió de ser más o menos equivalente al valor energético de los alimentos consumidos por los miembros del grupo. En suma, nuestros antepasados vivían en armonía con su entorno prácticamente de la misma manera que cualquier otra especie animal.

Luego, hace probablemente medio millón de años, en las tierras volcánicas de los cuarteados valles del Africa oriental, el hombre comenzó a emplear el fuego de manera deliberada y regular tanto como protección cuanto como medio para preparar alimentos cocidos. Se servía del fuego para hacer salir a los animales de la maleza y para atraerlos hacia la hierba tierna que crecía en el suelo desbrozado por el fuego.

Ello constituyó una evolución sumamente importante con repercusiones ecológicas considerables. La quema de bosques y de praderas llegó a ser un acontecimiento mucho más frecuente, ocasionando cambios considerables en el manto vegetal de ciertas zonas de la superficie terrestre. Súbitamente las sociedades humanas comenzaron a emplear una cantidad de energía mucho mayor que antes, dado que al flujo de la energía "somática" (la que pasando por el organismo humano interviene en el metabolismo, el trabajo físico y el crecimiento) venía a sumarse la energía "extrasomática" (como la derivada de los combustibles, que no pasa por los organismos vivos).

La utilización del fuego determinó pues un cambio cualitativo en la relación de la especie humana con su entorno natural. Las consecuencias ecológicas se limitaban a los efectos destructivos del fuego en sí, ya que los productos químicos de la combustión de la madera (principalmente el bióxido de carbono) entraban fácilmente a formar parte de todo el sistema ecológico con repercusiones insignificantes. Sin embargo, la utilización del fuego es uno de los primeros y más claros ejemplos de la capacidad del hombre para modificar el medio ambiente. Los grupos humanos habían llegado a constituir una fuerza ecológica decisiva y ya no formaban parte de sus ecosistemas locales como los demás animales.

Aparte del fuego, el efecto ecológico más importante de la intervención del hombre en el entorno durante el periodo primitivo fue seguramente la propagación de la especie humana en sí misma. A partir de las vastas sabanas africanas el hombre se desplazó, hace aproximadamente un millón de años, a una gran variedad de hábitats: estepas áridas, praderas elevadas (como las de Etiopía) y bosques. Y tras esas excursiones iniciales se aventuró aun más lejos por una diversidad de escenarios climáticos y ecológicos de los cinco continentes.

El periodo agrícola temprano comenzó en algunas regiones del mundo hace unos doce mil años. Y con la domesticación de animales y plantas, por primera vez en la historia ▶



Foto © Almasy, París

Pintura rupestre de hacia 2000 a.C., descubierta en la región de Rusape, Zimbabue. La escena representa un aspecto de la vida de los cazadores del Paleolítico Superior. Los bosquimanos realizaban aun pinturas como ésta en el siglo XIX, pero algunas de las muestras que han llegado hasta nosotros son quizá obra de los pueblos bantúes meridionales.

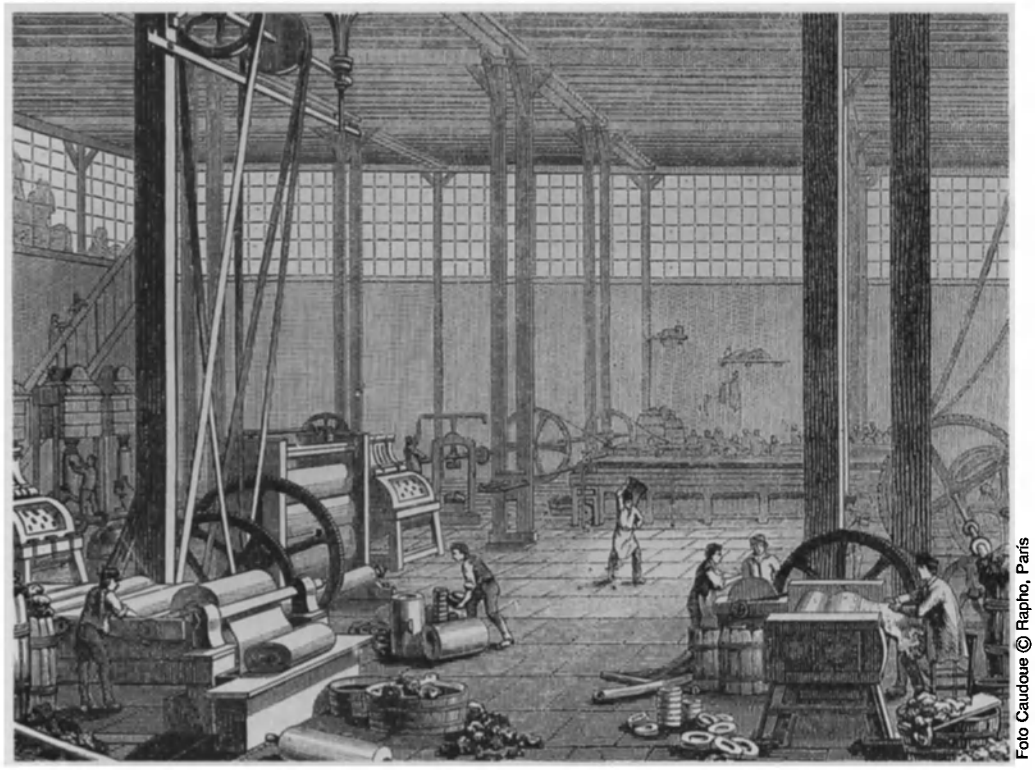


Foto Caudoue © Rapho, París

Este grabado del artista sulzo Aloys Fellmann (1855-1892) representa a un grupo de obreros trabajando en una típica fábrica del siglo XIX en una época en que la revolución industrial se hallaba en pleno auge en Europa.

▶ de la Tierra una criatura viva llegó, de manera enteramente consciente y deliberada, a manipular los procesos biológicos de la naturaleza para sus propios fines.

A medida que se extendía la domesticación y evolucionaban las técnicas agrícolas, las repercusiones de la actividad humana en el entorno natural aumentaron considerablemente. La faz de la Tierra comenzaba a cambiar por obra del hombre hasta el punto de que, en el hemisferio norte, se destruyeron vastas superficies de bosques para reemplazarlas por tierras de cultivo o por una vegetación menos lujuriante y más rala. En algunos casos, la actividad agrícola humana desencadenó una erosión masiva. En Fiji oriental, por ejemplo, a donde el hombre llegó hace unos 3.000 años, se perdieron por lo menos 50 centímetros de suelo en un periodo de un siglo y medio (entre hace 1.900 y 1.750 años).

Otro resultado significativo del empleo de las nuevas prácticas agrícolas fue la introducción de monocultivos de productos alimenticios de los cuales muchas poblaciones humanas dependían casi enteramente para su subsistencia. Naturalmente, tal procedimiento ofrecía algunas ventajas prácticas pero entrañaba también el grave riesgo de que si un monocultivo fallaba por alguna razón resultara prácticamente inevitable el hambre generalizada.

Cabe mencionar otra consecuencia de la deliberada manipulación humana del proceso biótico. La cría selectiva de animales y el cultivo de plantas con vistas a obtener las calidades deseadas en cuanto a la producción de alimentos dio origen a una serie de modos de vida que de otra manera jamás habrían visto la luz del día.

El fuego, desde luego, siguió utilizándose durante este segundo periodo ecológico y llegó a desempeñar un papel importante en la fabricación de utensilios de metal. Con el invento de artefactos tales como los molinos de agua, los molinos de viento y los barcos de vela la energía extrasomática pudo utilizarse en la realización de trabajos de diversa índole. Sin embargo, comparado con el que sobrevendría posteriormente, el impacto de tales máquinas en la naturaleza fue relativamente leve, limitándose principalmente al papel que los barcos desempeñaban en los movimientos migratorios de la especie humana, la difusión geográfica de la tecnología y la redistribución de algunas especies animales y vegetales.

Los grupos humanos se volvieron mucho menos nómadas que en el periodo primitivo, aunque el tiempo que permanecían en un mismo lugar dependía en cierta medida del tipo de agricultura que practicaban. El nuevo modo de vida tuvo repercusiones considerables en las relaciones entre las poblaciones humanas y sus microbios y otros parásitos y agentes patógenos. En algunas regiones, por ejemplo, la malaria y la esquistosomiasis llegaron a constituir enfermedades graves y causa de muerte, contrarrestando así la reducción de la mortalidad obtenida gracias a la protección que las nuevas condiciones de vida ofrecían contra ciertos peligros a que el hombre estaba expuesto en el periodo primitivo.

Pese a los cambios introducidos por la agricultura, el periodo agrícola temprano compartía con el periodo primitivo dos características ecológicas fundamentales que no se dan en las sociedades modernas. En primer lugar, el ritmo de consumo de energía extrasomática (principalmente la del fuego) era paralelo al ritmo de crecimiento de la población humana. En segundo lugar, las actividades del hombre no afectaban en gran medida los ciclos naturales biogeoquímicos de la biosfera, tales como el del carbono, el del nitrógeno y el del fósforo.

El periodo urbano primitivo comenzó hace unos cinco mil años con la creación de las primeras ciudades en Mesopotamia y, poco después, en China y la India. Esos centros urbanos anunciaban el tercer periodo ecológico de la historia del hombre, marcado por una serie de cambios fundamentales en la organización de la sociedad humana y en la vida misma de sus miembros. Algunos de esos cambios han subsistido y constituyen rasgos importantes de muchos asentamientos urbanos del mundo moderno.

El más obvio de tales cambios fue simplemente el enorme incremento del número de personas reunidas en un mismo lugar y el hecho de que la mayoría de ellas no participaban directamente en las actividades de subsistencia tales como la agricultura, la pesca y la caza. Las poblaciones urbanas se mantenían gracias a los excedentes de alimentos producidos por agricultores que vivían y trabajaban extramuros de las ciudades.

Dado que muchas poblaciones urbanas llegaron a depender para su subsistencia de un solo alimento básico —arroz, maíz, cereales o patatas— disminuyó la variedad de productos que cada habitante consumía. En diferentes partes del mundo se generalizaron las enfermedades debidas a carencias específicas, como el raquitismo, el escorbuto, el beriberi y la pelagra. Había la amenaza constante del hambre —que se materializaba frecuentemente— al no disponer las poblaciones urbanas de una gran variedad de fuentes de alimentación a las cuales recurrir cuando un alimento escaseaba.

El incremento de la densidad de población tuvo un efecto considerable en las relaciones entre las poblaciones humanas y los organismos parasitarios o patógenos. Las pestes llegaron a ser una de las características principales de la vida. El tifus, el cólera, la tifoidea, la peste bubónica, la viruela, la diarrea infantil y muchas otras enfermedades infecciosas eran motivo constante de inquietud y miedo y figuraban entre las principales causas de muerte.

Uno de los acontecimientos biosociales más notables que se produjeron con la urbanización temprana fue la especialización del trabajo. Hasta cierto punto, ésta existía en el periodo agrícola temprano e incluso en las sociedades de cazadores y recolectores; pero si se deja de lado la división del trabajo entre los sexos, la mayoría de la gente hacía de todo. Fue durante el periodo urbano temprano cuando se implantó realmente la especialización.

La importancia ecológica de este aspecto del desarrollo radica en parte en el hecho de que, por primera vez en la historia humana, dentro de una misma sociedad vivían diferentes grupos en condiciones completamente distintas. La especialización del trabajo condujo a su vez a reforzar la tendencia de las comunidades humanas a establecer jerarquías. En lugar de ser relativamente espontánea, transitoria y basada en la naturaleza del trabajo, la estructura jerárquica de la sociedad se volvió mucho más rígida, extremada y permanente. Y a menudo el rango era hereditario, en lugar de basarse en un consenso sobre las aptitudes y la personalidad del individuo.

La urbanización introdujo además nociones enteramente nuevas de propiedad. En los tiempos primitivos un individuo era "dueño" sólo de los utensilios que él mismo fabricaba y de aquello que podía transportar fácilmente cuando se trasladaba de un lugar a otro. En el periodo agrícola temprano los animales, las cosechas y los depósitos de cereales se convirtieron, por lo menos en los primeros tiempos, en propiedad comunal. Pero en las ciudades la propiedad individual y familiar era de particular trascendencia como lo es hasta ahora en muchas partes del mundo.



Foto Bossu © Sygma, París

Cruce de autopistas en Villefranche, cerca de Lyon, Francia —construcción característica de nuestra moderna sociedad industrial, ávida consumidora de energía.

Al igual que en los periodos precedentes, los ciclos naturales biogeoquímicos se mantenían todavía intactos y la proporción de energía empleada por la sociedad seguía siendo paralela a la del crecimiento demográfico. La biosfera en su conjunto y la mayoría de los ecosistemas a los que pertenecían las poblaciones humanas se conservaban, pese a ciertas fluctuaciones a corto plazo, en un estado de equilibrio dinámico. Naturalmente, la aparición de las ciudades no significó el fin de las sociedades agrícolas autosuficientes en materia de subsistencia, que aun siguen existiendo en algunas regiones del mundo.

Hasta muy avanzado el periodo, pocas ciudades tenían más de cien mil habitantes. Roma constituía, en la época de Jesucristo, una excepción notable, con una población de cerca de un millón de personas. Sin embargo, aunque las ciudades albergaban hasta hace poco sólo un porcentaje muy pequeño de la población total, las consecuencias ecológicas de su existencia misma no guardan proporción alguna con el número de personas que en ellas viven.

El periodo industrial moderno, o tecnológico, comenzó con la llamada revolución industrial. Esa transición industrial (expresión que nos parece más justa) se inició en Europa y en América del Norte hace unos 150 o 200 años y sigue desarrollándose en muchas partes del globo. Y aunque principió hace sólo siete u ocho generaciones, dicho periodo ha tenido repercusiones sobre la Tierra y su funcionamiento completamente desproporcionadas en relación con su duración. Sus características ecológicas no se asemejan a las de ninguno de los periodos precedentes de la existencia humana, como puede advertirse con extraordinaria nitidez en la situación actual en que se hallan la población humana, la energía y los ciclos biogeoquímicos.

Aunque los periodos agrícola y urbano tempranos habían descubierto cierta protección contra algunas causas de muerte que caracterizaron al periodo primitivo, aparecieron en ellos la malnutrición y las pestes como nuevos factores de mortalidad. En el periodo industrial moderno el conocimiento enormemente acrecentado de las necesidades nutricionales de nuestra especie y las nuevas concepciones de la salubridad y de la medicina, incluida la revolución farmacológica, han dado como resultado un cambio extraorinario en la dinámica de la población. Como consecuencia, la población humana se duplica actualmente cada 35 o 40 años mientras que en los dos periodos precedentes ello sucedía cada 1.500 años.

Otro rasgo sobresaliente del periodo industrial moderno, que determina a su vez muchas otras características suyas, ha sido la creación masiva de máquinas y de procesos de fabricación que emplean una energía extrasomática. Las principales fuentes de ésta son los combustibles fósiles, en primer lugar el carbón y hoy sobre todo el petróleo y el gas natural. En algunos lugares la energía hidroeléctrica desempeña un papel considerable y la energía nuclear está pasando rápidamente al primer plano. En países altamente industrializados, como Estados Unidos, la cantidad de energía utilizada *per capita* es hoy treinta veces mayor que antes de la transición industrial.

De este modo, a diferencia de los periodos anteriores, el ritmo de incremento de la utilización de energía en el periodo industrial moderno no va parejas con el ritmo de aumento de la población y la proporción de la energía extrasomática empleada por la sociedad aumenta continuamente. En términos generales, tal aumento es dos veces más rápido que el de la población.

En muchas regiones los ciclos naturales biogeoquímicos ya no están intactos. Por ejemplo, la manipulación de los ciclos del carbono y del fósforo pueden plantear graves problemas en el futuro. En el caso del ciclo del nitrógeno, grandes cantidades de desechos nitrogenados producidos por las comunidades humanas, que en los periodos precedentes volvían al suelo, se pierden ahora en los ríos y los océanos y los procesos de elaboración industrial descargan importantes cantidades de óxido de nitrógeno en la atmósfera.

Un cambio primordial de índole cualitativa en este periodo ha sido la producccción, frecuentemente masiva, de miles de nuevos compuestos químicos, muchos de los cuales tienen efectos considerables en los sistemas bióticos. Grandes cantidades de esas substancias químicas sintéticas van a parar a los océanos, al suelo, a la atmósfera y, naturalmente, a los organismos vivos.

Otras dos características de la etapa actual de la existencia humana son su complejidad y su imprevisibilidad. La economía moderna y el sistema económico de interdependencia entre los países están volviendo mucho más complejos de lo que fueron hasta hace apenas una generación el problema de la utilización de la tierra y el de los recursos naturales. Por ejemplo, hoy se dispone de máquinas para talar grandes superficies forestales en un espacio de tiempo extraordinariamente corto. Con la tecnología moderna de las comunicaciones, una decisión tomada hoy en un centro financiero de una zona templada puede conducir en el lapso de una semana a la tala de una selva tropical (que había necesitado cien años para crecer) a 10.000 km de distancia.

Si resultan acertadas ciertas predicciones que hoy suelen hacerse sobre el incremento futuro de la utilización de la energía, hacia el año 2050 la humanidad estará empleando aproximadamente tanta energía como la que utilizan todas las otras especies animales y vegetales juntas. No es preciso ser un especialista para advertir que semejante incremento del uso de la energía y el consecuente aumento de la utilización de los recursos y la descarga de desechos no pueden continuar indefinidamente.

¿Durante cuánto tiempo podrá la biosfera tolerar la carga cada vez mayor que la sociedad humana le impone? Hay quienes creen que la humanidad es incapaz de controlar el proceso acelerador que amenaza con destruir la biosfera y la civilización y que el colapso del sistema será total y entrañará la extinción de la especie humana. En cambio otros, más optimistas, tienen fe en que el hombre, con su gran ingeniosidad e inventiva, logrará alcanzar un nuevo equilibrio ecológico antes de que sea demasiado tarde. □

STEPHEN BOYDEN, *australiano, es especialista del Centro de Estudios sobre los Recursos y el Medio Ambiente de la Universidad Nacional Australiana, Camberra, y director del programa de investigaciones integradas sobre la ecología de Hong-Kong que se lleva a cabo en el marco del programa de la Unesco "El hombre y la biosfera" (MAB). El señor Boyden aborda más ampliamente el tema de este artículo en un libro que se publicará a finales de año.*

MALCOLM HADLEY *es miembro de la División de Ciencias Ecológicas de la Unesco. Zoólogo de formación, tiene a su cargo la coordinación de las actividades en las regiones tropicales húmedas en el marco del programa de la Unesco "El hombre y la biosfera".*

1986-Año Internacional de la Paz / 7

Más de 400 representantes de 115 organizaciones internacionales no gubernamentales y de 71 organizaciones nacionales de 36 países participaron en la Conferencia "Juntos por la paz" que se celebró en Ginebra del 20 al 24 de enero pasado con ocasión del Año Internacional de la Paz. Auspiciada por la Junta de la Conferencia de Organizaciones No Gubernamentales (organismo de consulta del Consejo Económico y Social de las Naciones Unidas), la conferencia se ocupó de temas tales como el desarme, el desarrollo, el progreso social, la justicia, los derechos humanos, la satisfacción de las necesidades esenciales de la humanidad y la preparación de las sociedades para que vivan en paz. Al final de las sesiones se aprobó por aclamación un llamamiento del que reproducimos a continuación algunos fragmentos:



FALTAN solamente quince años para que termine nuestro siglo y estamos convencidos de que todos los seres humanos tienen el deber y la obligación de aunar sus esfuerzos para que el siglo venidero comience en un mundo de paz. Tenemos la certeza de que ello es posible y de que pueden detenerse e invertirse las peligrosas tendencias que actualmente se observan en los asuntos mundiales. Advertimos signos de esperanza en el nuevo espíritu de diálogo entre los jefes de estado y en la determinación de los pueblos de alcanzar la paz.

No es preciso recordar aquí todo cuanto la amenaza. La carrera hacia una catástrofe nuclear prosigue con el mismo ímpetu. Como la tierra y los océanos ya no pueden soportar el peso de las armas, se explora el espacio para acumularlas en él. Armas no nucleares matan diariamente a centenares de personas. El hambre causa millares de víctimas cada día. Millones de seres humanos gimen aún bajo el yugo de la dominación y la explotación. El apartheid continúa negando la justicia y destruyendo vidas.

Hacemos pues un llamamiento a obrar conjuntamente por un mundo de paz en el cual la guerra no esté meramente ausente, en el cual la supervivencia no sea simplemente posible, sino un mundo donde prevalezca la justicia y se respete la dignidad humana.

Reiteramos que la carrera de armamentos constituye la mayor amenaza a la paz y a la supervivencia. De ahí que nuestro llamamiento a este respecto sea urgente.

Al mismo tiempo que nos comprometemos a actuar juntos por el desarme, llamamos a todos a aportar su concurso y su apoyo a los esfuerzos que se realizan para poner inmediatamente fin a todas las pruebas de armas nucleares y para alcanzar la firma de un tratado sobre la prohibición completa de tales pruebas, la prevención de una carrera armamentista en el espacio ultraterrestre, la eliminación de las armas químicas y de destrucción en masa y una reducción substancial de los arsenales de armas tradicionales. Creemos que de aquí hasta fines del siglo es posible aplicar un programa sistemático y fiable de eliminación de las armas nucleares.

Consideramos que la paz está indisolublemente vinculada con el desarrollo y el progreso social y que su base es la justicia, y que las privaciones y desigualdades la amenazan. Pedimos pues que se adopten iniciativas para un desarrollo estratégico con miras a instaurar un nuevo orden económico internacional que garantice relaciones económicas equitativas entre las naciones y dentro de ellas y, además, que se respete realmente el derecho de los pueblos a decidir sobre su propio destino, así como su derecho a la autodeterminación y al desarrollo interdependiente, a la no ingerencia de otros países en sus asuntos internos y a vivir en condiciones de seguridad y de progreso social.

Hacemos hincapié en que el ejercicio de los derechos humanos y de la libertad es un elemento esencial de la paz y que su violación constituye una de las causas principales de los conflictos armados. Cuanto más plenamente goce de sus derechos cada persona dentro de una sociedad, más estable será ésta; cuanto más completamente se respeten los derechos humanos, más estables serán las relaciones internacionales.

Tenemos plena conciencia de que la paz es un requisito indispensable para la satisfacción de las necesidades básicas del ser humano, tales como la alimentación, la vivienda, la salud, la educación, el trabajo y un medio ambiente adecuado. Y al encomiar las recientes acciones conjuntas que a través de los continentes se han llevado a cabo para responder a ciertas necesidades urgentes de alimentos, sugerimos que se realicen esfuerzos más sistemáticos y concertados para evitar la muerte por hambre y que se adopten políticas a largo plazo a fin de garantizar alimentos para todos.

Hacemos un llamamiento a efectuar acciones mancomunadas tendientes a obtener una reducción substancial de los gastos militares con objeto de enderezar la utilización errónea que se hace actualmente de los recursos disponibles. Estamos todos de acuerdo en que cada cañón que se fabrica, cada buque de guerra que se bota al agua, cada cohete que se dispara, constituyen en fin de cuentas un robo a quienes tienen hambre y no se les da alimento, a quienes tienen frío y no se les da vestido.

Conscientes de la importancia que tiene la preparación de las sociedades para que vivan en paz, preconizamos una nueva orientación de la educación, de la ciencia, de la cultura, de la religión y de los medios de comunicación propicia a tal efecto. Los recursos disponibles en estas esferas pueden utilizarse de manera más constructiva en favor de la paz.

Los países deben buscar juntos la paz. Sólo podremos crear un porvenir común haciendo frente a la crisis común con que nos enfrentamos y construyendo la paz sobre la base del concepto de seguridad común. Instamos a una mayor cooperación internacional cuyo instrumento universal es la Organización de las Naciones Unidas. Nos comprometemos a seguir apoyándola así como a sus organismos.

Sabemos perfectamente que las dificultades son inmensas, pero confiamos en que la decisión de los pueblos de alcanzar la paz permitirá vencerlas. Tenemos optimismo y esperanza porque estamos "juntos por la paz". Y es con este espíritu como reafirmamos nuestro compromiso con la causa de la paz y os invitamos a todos vosotros, habitantes de la tierra, a uniros y hacer frente al desafío. □

Tarifas de suscripción :
1 año : 78 francos franceses (España :1.950 pesetas); 2 años (únicamente en Francia) : 144 francos. Tapas para 12 números (1 año) : 56 francos.
Reproducción en microfilm (1 año) : 150 francos.

Redacción y distribución :
Unesco, place Fontenoy, 75700 París.

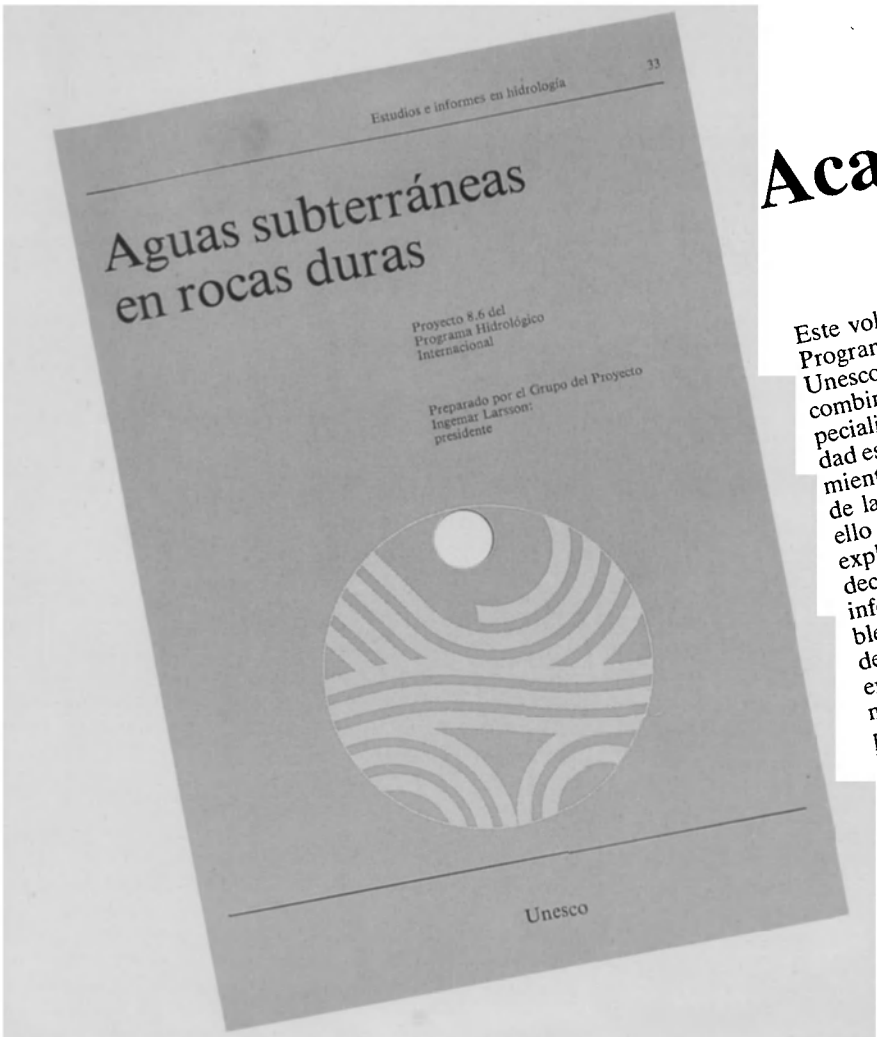
Los artículos y fotografías que no llevan el signo © (copyright) pueden reproducirse siempre que se haga constar **"De EL CORREO DE LA UNESCO"**, el número del que han sido tomados y el nombre del autor. Deberán enviarse a **EL CORREO** tres ejemplares de la revista o periódico que los publique. Las fotografías reproducibles serán facilitadas por la Redacción a quien las solicite por escrito. Los artículos firmados no expresan forzosamente la opinión de la Unesco ni de la Redacción de la Revista. En cambio, los títulos y los pies de fotos son de la incumbencia exclusiva de ésta. Por último, los límites que figuran en los mapas que se publican ocasionalmente no entrañan reconocimiento oficial alguno por parte de las Naciones Unidas ni de la Unesco.

La correspondencia debe dirigirse al director de la revista.

Redacción (París):
Subjefe de redacción : Olga Rödel
Secretaría de redacción : Gillian Whitcomb
Español : Francisco Fernández-Santos
Jorge Enrique Adoum
Francés : Alain Lévêque
Neda el Khazen
Inglés : Roy Malkin
Ruso : Nikolai Kuznetsov
Arabe : Abdelrashid Elsadek Mahmoudi
Braille : Frederick H. Potter
Documentación : Violette Ringelstein
Ilustración : Ariane Bailey
Composición gráfica : Georges Servat, George Ducret
Promoción y difusión : Fernando Ainsa
Proyectos especiales : Peggy Julien

Ediciones (fuera de París):
Alemán : Werner Merkli (Berna)
Japonés : Seiichiro Kojimo (Tokio)
Italiano : Mario Guidotti (Roma)
Hindi : Rajmani Tiwari (Delhi)
Tamul : M. Mohammed Mustafa (Madrás)
Hebreo : Alexander Broido (Tel-Aviv)
Persa :
Portugués : Benedicto Silva (Rio de Janeiro)
Neerlandés : Paul Morren (Amberes)
Turco : Mefra Ilgazer (Estambul)
Urdu : Hakim Mohammed Said (Karachi)
Catalán : Joan Carreras i Marti (Barcelona)
Malayo : Azizah Hamzah (Kuala Lumpur)
Coreano : Paik Syeung-Gil (Seúl)
Swahili : Domino Rutayebesibwa (Dar es Salam)
Croata-serbio, esloveno, macedonio y serbio-croata : Bozidar Perkovic (Belgrado)
Chino : Shen Guofen (Pekín)
Búlgaro : Goran Gotev (Sofía)
Griego : Nicolas Papageorgiu (Atenas)
Cingalés : S.J. Sumanasckara Banda (Colombo)
Finés : Marjatta Oksanen (Helsinki)
Sueco : Lina Svenzén (Estocolmo)
Vascuence : Gurutz Larrañaga (San Sebastián)
Tai : Savitri Suwansathit (Bangkok)

IMPRIMÉ EN FRANCE (Printed in France) - Dépôt légal : C 1 - Juillet 1986
PHOTOCOMPOSITION : Ateliers de l'UNESCO - PHOTOGRAVURE-IMPRESSION : MAURY-IMPRIMEUR S A , Z.I. route d'Etampes, 45330 MALESHERBES.



Acaba de aparecer

Este volumen, preparado en el marco del Programa Hidrológico Internacional de la Unesco, es el resultado de los esfuerzos combinados de un grupo de destacados especialistas en aguas subterráneas. Su finalidad es cubrir el vacío existente en el conocimiento de la parte de la hidrología que trata de las aguas subterráneas, utilizando para ello los resultados de las investigaciones y exploraciones realizadas durante el último decenio. Propósito del volumen es también informar a los especialistas y a los responsables políticos, especialmente en los países desarrollados, de las posibilidades reales de encontrar y aprovechar las aguas subterráneas en aquellas zonas consideradas como poco prometedoras desde el punto de vista hidrológico. Por último, aparte del aspecto científico y tecnológico de la cuestión, se consideran asimismo algunos aspectos económicos y de planificación.

300 páginas — 100 francos franceses

Para renovar su suscripción

y pedir otras publicaciones de la Unesco

Pueden pedirse las publicaciones de la Unesco en las librerías o directamente al agente general de la Organizacion. Los nombres de los agentes que no figuren en esta lista se comunicarán al que los pida por escrito. Los pagos pueden efectuarse en la moneda de cada país.

Correo Argentino	CENTRAL (B)	Tarifa reducida Concesión Nº 274
		Franqueo pagado Concesión Nº 4074

ANGOLA.(República Popular de) Casa Progreso/Secçao Angola Media, Calçada de Gregorio Ferreira 30, c.p. 10510, Luanda.

ARGENTINA. Librería El Correo de la Unesco, EDILYR S.R.L., Tucumán 1685 (P.B. "A") 1050 Buenos Aires.

BOLIVIA. Los Amigos del Libro, casilla postal 4415, La Paz; Avenida de las Heroínas 3712, casilla postal 450, Cochabamba.

BRASIL. Fundaçao Getúlio Vargas, Editora-Divisao de Vendas, caixa postal 9.052-ZC-02, Praia de Botafogo 188, Rio de Janeiro, R.J. (CEP.20000). Livros e Revistas Técnicos Ltda., Av. Brigadeiro Faria Lima 1709, 6º andar, Sao Paulo, y sucursales : Rio de Janeiro, Porto Alegre, Curitiba, Belo Horizonte, Recife.

COLOMBIA. Insituto Colombiano de Cultura, Carrera 3ª, nº 18/24, Bogotá.

COSTA RICA. Librería Cooperativa Universitaria, Ciudad Universitaria "Rodrigo Facio", San José; Ministerio de Cultura, Juventud y Deportes, Edificio Metropolitano 7º piso, apartado 10227, San José.

CUBA. Ediciones Cubanas, O'Reille 407, La Habana. Para *El Correo de la Unesco* solamente : Empresa COPREFIL, Dragones 456, entre Lealtad y Campanario, La Habana 2.

CHILE. Editorial Universitaria, S.S., Departamento de Importaciones, casilla 10110, Santiago; Librería La Biblioteca, Alejandro I 867, casilla 5602, Santiago; Editorial "Andrés Bello", Av. R. Lyon 946, casilla 4256, Santiago.

REPUBLICA DOMINICANA. Librería Blasco, Avenida Bolívar 402, esq. Hermanos Deligne, Santo Domingo.

ECUADOR. Revistas solamente : DINACOUR Cía. Ltda., Santa Prisca 296 y Pasaje San Luis, oficina 101-102, casilla 112b, Quito; libros solamente : Librería Pomaire, Amazonas 863, Quito; todas las publicaciones : Casa de la Cultura Ecuatoriana, Núcleo del Guayas, Pedro Moncayo y 9 de Octubre, casilla de correos 3542, Guayaquil.

ESPAÑA. MUNDI-PRENSA LIBROS S.A., Castelló 37, Madrid 1; Ediciones LIBER, apartado 17, Magdalena 8, Ondárroa (Vizcaya); DONAIRE, Ronda de Outeiro 20, apartado de correos 341, La Coruña; Librería AL ANDALUS, Roldana 1 y 3, Sevilla 4; Librería CASTELLES, Ronda Universidad 13, Barcelona 7.

ESTADOS UNIDOS DE AMERICA. Unipub, 205 East 42nd Street, New York, N.Y. 10157.

FILIPINAS. The modern Book Co., 926 Rizal Avenue, P.O Box 632, Manila.

FRANCIA Librairie de l'Unesco, 7, Place Fontenoy, 75700 Paris (C.C.P. Paris 12.598-48).

GUATEMALA Comisión Guatemalteca de Cooperación con la Unesco, 3a Avénida 13-30, Zona 1, apartado postal 24, Guatemala.

HONDURAS. Librería Navarro, 2a Avenida 201, Comayaguela,Tegucigalpa.

MARRUECOS. Librairie "Aux Belles Images", 281, avenue Mohamed V, Rabat; *El Correo de la Unesco* para el personal docente : Comisión Marroquí para la Unesco, 19, rue Oqba, B.P. 420, Rabat (C.C.P. 324-45).

MEXICO. Librería El Correo de la Unesco, Actipán 66, Colonia del Valle, México 12, D.F.

MOZAMBIQUE. Instituto Nacional do Livro e do Disco (INLD), Avenida 24 de Julho, 1921, r/c e 1º andar, Maputo.

NICARAGUA. Librería Cultural Nicaraguense, calle 15 de septiembre y avenida Bolívar, apartado 807, Managua; Librería de la Universidad Centroamericana, apartado 69, Managua.

PANAMA. Distribuidora Cultura Internacional, apartado 7571, Zona 5 Panamá.

PARAGUAY. Agencia de Diarios y Revistas, Sra. Nelly de García Astillero, Pte. Franco 580, Asunción.

PERU Librería Studium, Plaza Francia 1164, apartado 2139, Lima; Librería La Familia, Pasaje Peñaloza 112, apartado 4199, Lima.

PORTUGAL. Días & Andrade Ltda., Livraria Portugal, rua do Carmo 70-74, Lisboa 1117 Codex.

PUERTO RICO. Librería Alma Mater, Cabrera 867, Río Piedras, Puerto Rico 00925.

URUGUAY. EDILYR Uruguaya, S.A., Maldonado 1092, Montevideo.

VENEZUELA Librería del Este, avenida Francisco de Miranda 52, Edificio Galipán, apartado 60337, Caracas 1060-A; La Muralla Distribuciones, S.A., 4ª avenida, entre 3ª y 4ª transversal, "Quinta Irenalis", Los Palos Grandes, Caracas 106.



Las entrañas candentes de la Tierra

Corrientes de lava incandescente salen del volcán Mauna Loa, en las islas Hawai, durante una erupción producida en 1984.
(Ver el artículo de la página 27).

Foto Krafft c. Explorer. Paris