



Los investigadores suponen que la cuna de la vida se encuentra en el fondo del mar, en las fuentes termales del profundo lecho marino. Estas fuentes surgen en las zonas donde las placas tectónicas se desplazan y el agua de mar se calienta al filtrarse al interior de la corteza terrestre. El agua caliente disuelve los minerales de la corteza oceánica y vuelve a ascender distribuyendo su rico cargamento en el mar. Para los organismos que viven allí en total oscuridad, esto representa un continuo suministro de compuestos inorgánicos de los

que los continentes alguna vez estuvieron conectados y luego se separaron les pareció demasiado descabellada. Pero Wegener se preguntó qué otra cosa podría hacer que el perfil de América del Sur encaje tan bien en el africano y los fósiles de *Mesosaurus* se encuentren únicamente al este de América del Sur y en África Occidental pero en ningún otro sitio? Pero para sumar más adeptos a su teoría, al alemán le faltaba una explicación convincente acerca de cómo las enormes placas tectónicas son puestas en movimiento.

Donde la tierra se sale de sus casillas

Investigación en el lecho marino

cuales, a partir de su oxidación, obtienen la energía para construir hidratos de carbono. Con la ayuda de sumergibles tripulados o no, en estas **fuentes hidrotermales** los investigadores clasificaron cientos de especies nuevas de gusanos, moluscos y artrópodos. Se trata de un hábitat marino completamente nuevo: "*Nada podía disminuir la emoción de ver a los animales por primera vez*", escribió uno de los participantes de la primera expedición de este tipo a la fosa Galápagos en 1978.

TIERRA MOVIDA

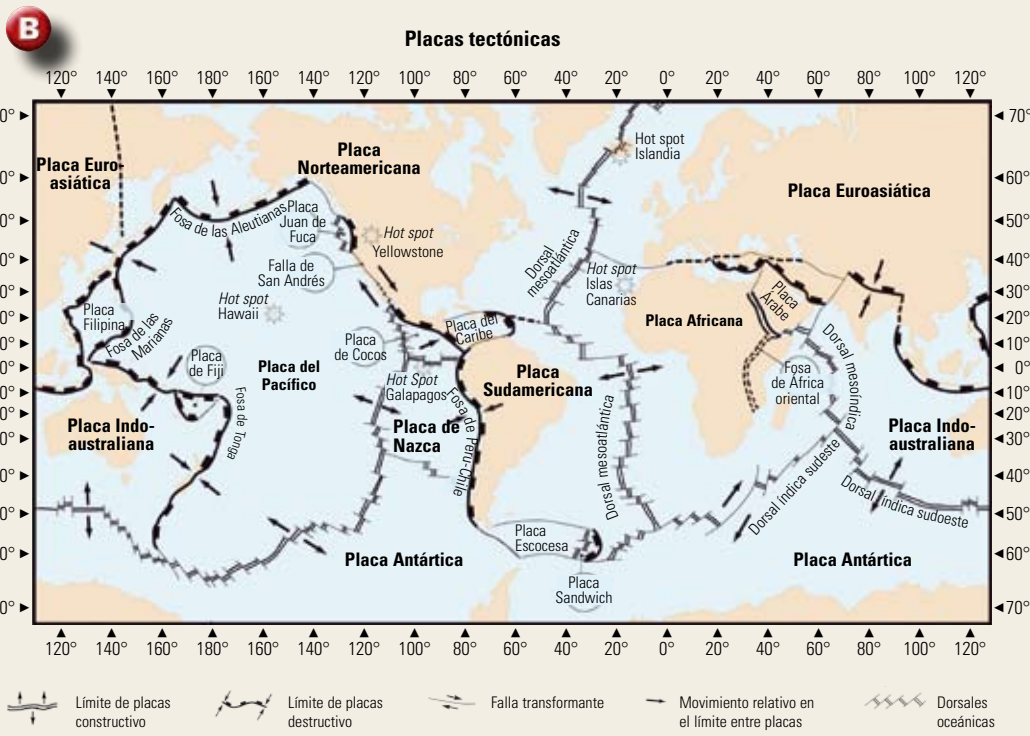
La fosa Galápagos es una fosa oceánica en el Pacífico que separa dos placas tectónicas más pequeñas: la Placa de Cocos y la Placa de Nazca (**Fig. B**). Con una velocidad de unos pocos centímetros por año, las llamadas corrientes convectivas separan ambas placas entre sí. Este "colado continuo" mantiene a la corteza de nuestro planeta en constante movimiento. Sin embargo, cuando en 1912 el meteorólogo alemán Alfred Wegener por primera vez formuló su teoría de la **deriva continental**, los expertos lo desacreditaron. La idea de

En 1929, el inglés Arthur Holmes sugirió un posible mecanismo: cuando el material rocoso se calienta en las profundidades del manto terrestre, se reduce su densidad elevándose a la superficie



► Representación de un "*black smoker*"; una fuente termal que normalmente emana un líquido rico en minerales y azufre con una temperatura de varios cientos de grados centígrados. Algunos de los minerales disueltos precipitan y se amontonan formando una chimenea alrededor de la fuente. Estas chimeneas del fondo oceánico son el hábitat para bacterias, que a su vez, alimentan a gusanos, moluscos, crustáceos y peces.





◀ La corteza terrestre (litósfera) está fracturada formando siete placas grandes y varias más pequeñas. En las dorsales oceánicas las placas adyacentes se fracturan (límite de placa constructivo o divergente) y aquí el magma del manto brota formando nueva corteza oceánica. En las profundas fosas oceánicas la corteza se hunde y es tragada por el manto (subducción). Los bloques continentales son alejados fuera de la zona de fractura y empujados hacia las zonas de subducción, como si estuvieran sobre una cinta transportadora. Sólo una colisión contra otra placa continental puede detener este movimiento (límite entre placas convergente o destructivo). En el proceso, las capas de la litósfera se comprimen superponiéndose cientos de kilómetros unas sobre otras. Esto lleva a la formación de altas cordilleras.

© Adaptado de Earth Science Reference Tables - Edición 2001 (revisado en noviembre de 2006)

→ donde se enfría y se hunde, sólo para volver a calentarse y subir de nuevo. Esta corriente convectiva de rocas calientes del manto debajo de la corteza podría proporcionar el impulso necesario para el desplazamiento de los continentes. Para sus razonamientos, Holmes se valió del conocimiento de los sismólogos. Ya en 1890 el geólogo inglés John Milne, que enseñaba en la Universidad Técnica Imperial de Tokio, junto a sus colaboradores desarrolló el primer sismógrafo preciso para el registro de terremotos. Pero los investigadores pronto se dieron cuenta que este instrumento también podría explorar el misterioso interior de nuestro planeta. A partir del comportamiento de las ondas sísmicas llegaron a la conclusión de que la Tierra está compuesta de capas concéntricas: un núcleo interno, del que en aquel tiempo no se sabía si era sólido o líquido, y una capa intermedia de roca densa, el manto terrestre, que se encuentra unos 50 kilómetros por debajo de la superficie exterior (corteza).

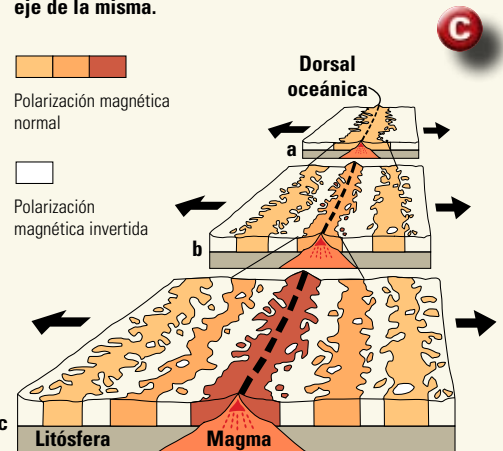
perfil del fondo marino sobre la base de estas mediciones. Lo que mostraba la carta publicada en 1959 por los dos oceanógrafos estadounidenses Bruce Heezen y Maurice Ewing era una cadena montañosa submarina de una magnitud impensada: entre 1.500 y 3.000 metros por debajo de la superficie y a lo largo de 14.000 kilómetros se emplaza una cadena montañosa con una fosa central de 20 a 50 kilómetros de ancho y hasta 3000 metros de profundidad donde fácilmente podría caber el Gran Cañón del Colorado. Es parte de una cordillera volcánica cuya longitud total es de 75.000 kilómetros que, como la costura de una pelota de tenis, se extiende alrededor del mundo desde el Océano Ártico hasta el Atlántico alrededor de África, Asia y Australia a través del Océano Pacífico hasta la costa oeste de América del Norte: las **dorsales oceánicas** (Fig. B). Pero ¿cómo podrían haber surgido estas formaciones?

UN NUEVO LECHO MARINO SE FORMA

En su publicación "El origen de las cuencas oceánicas", el geólogo Harry Hess de la Universidad de Princeton aventuró una nueva interpretación de los descubrimientos geológicos. Para aquel entonces, los investigadores habían perfeccionado su visión acerca de la estructura interna de la tierra: asumían un núcleo interno de hierro sólido y líquido en el exterior. Éste estaba rodeado por un manto, a su vez recubierto por la delgada corteza oceánica y la gruesa corteza continental. Hess suponía que la corteza estaba compuesta de

roca pobre en hierro, que había aflorado hasta la superficie después de que la desintegración radioactiva en el interior del planeta hubiera calentado y derretido la roca. Esta corteza alguna vez formó una sola masa continental. El continuo recalentar en el interior del planeta generaría un ciclo convectivo permanente en el interior del manto elevando y hundiendo el material, como ya en 1929

▼ Cuando las placas de la litósfera se fracturan, brota magma hasta la superficie donde se endurece adoptando al mismo tiempo la disposición correspondiente al campo magnético predominante. La corteza recién formada se suelda a la placa y simultáneamente se aleja de la zona de fractura. Cada tantos cientos de miles de años, el campo magnético se revierte y, por ende, también la polarización magnética del lecho oceánico. Las franjas reflejan la secuencia temporal de estas inversiones. Dado que los bloques de piedra se alejan en forma paralela hacia ambos lados de la fosa de fractura, el mosaico rayado es simétrico al eje de la misma.



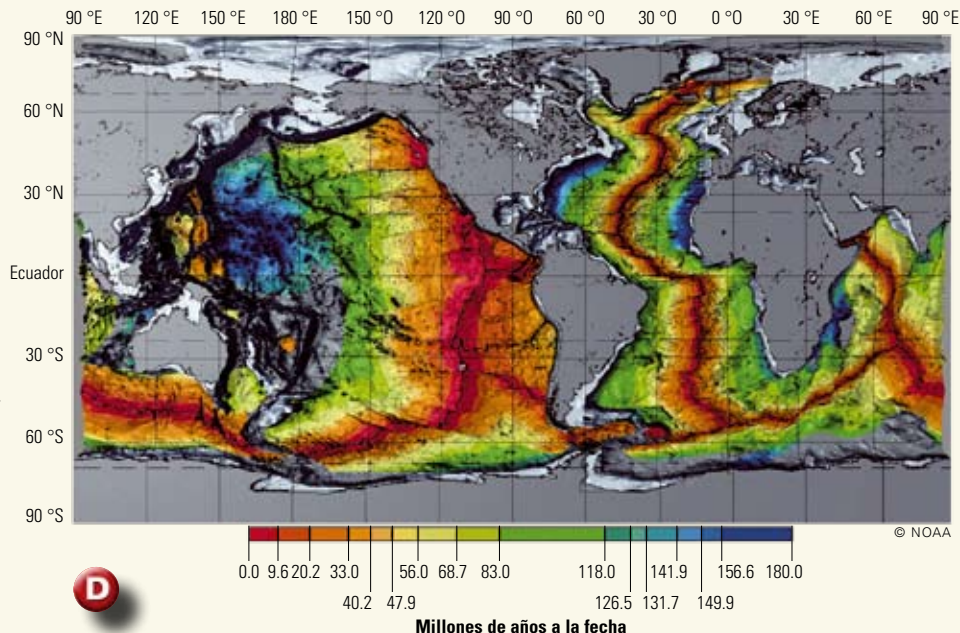
© United States Geological Survey

propuso Arthur Holmes. Hess llegó a la conclusión de que la **convección del manto** se habría separado en numerosos ciclos de circulación independientes provenientes del núcleo. Donde las corrientes alcanzan la superficie brota material fundido que, al formar nueva corteza oceánica, construye dorsales oceánicas. Donde las corrientes convectivas descienden, la antigua corteza oceánica ya enfriada de las profundas fosas oceánicas colapsa de nuevo al interior del manto. De este modo, el fondo marino al mismo tiempo se expande y se desplaza (en inglés: *seafloor spreading*).

A comienzos de la década de 1960, finalmente el estudio magnético de las crestas submarinas iba a proporcionar evidencias a favor de este concepto. Desde 1929, los investigadores sabían que el campo magnético terrestre se invierte cada cientos de miles de años. Por eso, las rocas de diferentes períodos geológicos pueden presentar una **polarización magnética** opuesta. Sucede que las rocas de la corteza recién creadas registran la fuerza y orientación del campo geomagnético en el momento de su formación: en roca fundida o muy caliente las partículas magnéticas se orientan al azar, pero cuando ésta se enfría lo hacen en función del campo magnético de la Tierra y las partículas son cuasi fijadas en esta posición. Incluso si cambiara el **campo magnético terrestre**, la orientación de las partículas permanecería inalterada. Por ende, las capas de roca poseían una orientación que era "normal" y señalaba hacia el norte como en la actualidad, o bien su campo geomagnético estaba invertido.

BANDAS MAGNÉTICAS ALMACENADAS

Sin embargo, estas inversiones en el patrón del fondo marino no se dieron en capas sucesivas dispuestas perpendicularmente una sobre otra, sino en capas contiguas. Desde el punto de vista magnético, las rocas del lecho marino son "rayadas". Al respecto, en 1963, los dos geofísicos ingleses Fred Vine y Drummond Matthews publicaron la siguiente hipótesis en la revista *NATURE*: si el lecho marino registró la orientación del campo geomagnético al momento de aflorar la roca fundida del manto y éste, como sugirió Harry Hess, efectivamente se desplazó, entonces los bloques de piedra magnetizados de forma normal e invertida deberían alejarse en forma paralela hacia ambos lados de la cresta. Efectivamente, los cambios en la polaridad se mostraban como un mosaico de rayas de material con polarización opuesta simétrico al eje de la



cresta submarina (Fig. C). La determinación de la edad del sedimento oceánico confirmó que las franjas de rocas más jóvenes se encuentran en la fosa oceánica misma, mientras que las rocas más antiguas se ubicaron más lejos (Fig. D).

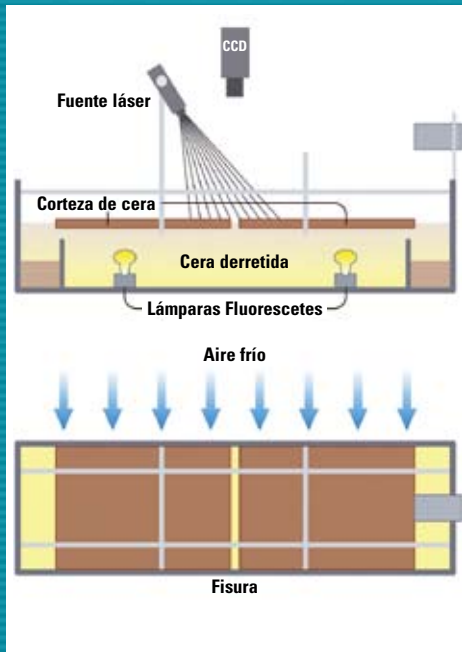
Las franjas de rocas del fondo marino con polarización "normal" e invertida, junto con el concepto de "**Seafloor-Spreading**" y la secuencia temporal de las inversiones magnéticas fueron la clave para la comprensión de la deriva continental: si en las dorsales oceánicas surgen nuevos fondos marinos por periódicos ascensos de magma, entonces la corteza oceánica más antigua será desplazada. Como si fuera una cinta transportadora, ésta se mueve en dirección a las profundas fosas marinas. Allí se enfría y endurece para, finalmente, hundirse en el manto por entre los bordes de las placas. Los científicos llaman a este proceso **subducción**. Cada año, se forman unos 20 kilómetros cúbicos de corteza oceánica (esto representa alrededor del 90% de la producción de magma mundial), que se "sueldan" a las placas a lo largo de las dorsales oceánicas y éstas a su vez las desperdigán. Islandia se encuentra sobre la dorsal mesoatlántica, pudiéndose observar el proceso de expansión incluso en tierra. Sin embargo, observar el deslizamiento de la corteza terrestre es tan emocionante como ver crecer la hierba: la velocidad con que las placas se expanden asciende a entre 1 y 18 centímetros por año. Para poder visualizar el movimiento de las placas, normalmente se requiere de complejos modelos informáticos. Pero a veces también puede ser más fácil: Eberhard Bo-

▲ El análisis de núcleos de excavación mostró que el lecho marino envejece a medida que se aleja de la dorsal oceánica. Las rayas de colores en el mapa indican la era geológica en la que se formó el lecho marino. Las dorsales oceánicas son los lugares de nacimiento de los lechos marinos y además, las zonas con lechos de formación más reciente (rojas en la gráfica). El resultado confirma claramente la teoría del **Seafloor-Spreading**.

denschatz, director del Instituto Max Planck para la Dinámica y Autoorganización, simula los movimientos de la corteza oceánica con cera líquida haciendo visibles los movimientos que en la naturaleza por lo general demoran 100 millones de años y más. Lo que Bodenschatz observó en su montaje experimental tiene un parecido sorprendente con lo que sucede en las dorsales oceánicas. Los investigadores del Instituto Max Planck calientan la cera en una cubeta a más de 80°C logrando así su derretimiento (ver recuadro). Para que la cera en la superficie se solidifique, desde arriba se insufla aire fresco de forma vertical. Así, se forma una corteza de apenas unos pocos milímetros de espesor que flota sobre la cera líquida igual que la corteza terrestre sobre el manto. Dos placas de metal de 3 milímetros de espesor que están insertas verticalmente dentro de la corteza, se mueven en direcciones opuestas gracias a un pequeño motor. Durante el proceso, la corteza de cera es expandida de forma lenta y uniforme. A velocidades bajas se forma una grieta a través de la cual brota cera caliente y solidifica - como el magma en los bordes de la corteza terrestre. Cuando los científicos aumentan la velocidad de las "placas" de expansión, en el modelo de cera también surgen →



► En una bañera llena de cera, Eberhard Bodenschatz y su equipo investigan los fundamentos de la Geofísica. Mediante serpentinas calientes dispuestas en el fondo de la tina, la cera alcanza más de 80°C y se derrite. Al mismo tiempo, un ventilador sopla aire fresco (12°C) directamente sobre la cera caliente logrando endurecer su superficie. Con una cámara, los investigadores registran cómo se fractura la corteza de cera. Con la ayuda de una fuente láser, pueden detectar cambios cuantitativos en el perfil de la grieta.



© Instituto Max Planck de Dinámica y Autoorganización

→ las **fallas transformantes** típicas de toda dorsal oceánica: desplazamientos perpendiculares a la dirección de la grieta, donde parte de la misma también se desplaza hacia un lado. Por ende, secciones enteras de la dorsal se desplazan de forma perpendicular hacia ambos lados de la zona de fractura.

“Si bien esto es sólo una representación simplificada de la realidad, nuestro modelo parece reflejar fenómenos que se producen de manera muy parecida en la naturaleza”, dice Bodenschatz. El modelo de cera muestra la formación de la corteza en formato reducido y de manera extremadamente acelerada. En la simulación, una hora en el avance de las placas equivale a 140 millones de años en la realidad y una distancia de un centímetro alrededor de 250 kilómetros. Así y todo, el experimento no se deja transferir 1:1 a la litosfera, ya que debido a la gran masa, las fuerzas son obviamente mucho más fuertes que en la cera. A pesar de esto, la densidad de la cera y del magma son muy parecidas como también las propiedades mecánicas. Bodenschatz actualmente está en el proceso de medir con precisión estas propiedades de la cera al derretirse. “Esperamos que nuestro modelo se pueda amplificar y así poder ser transferido a la escala real”, dice el investigador del Instituto Max Planck. Esto también ayudaría a sus colegas de la geofísica a encontrar nuevas explicaciones para los procesos en la corteza terrestre.

EL NIVEL DEL MAR VUELVE A CAER

Sin embargo, casi todas las principales características geológicas de la tierra puede ser explicadas por la tectónica de placas: la deriva de los continentes a lo largo de la historia de la Tierra, la formación de un único continente gigante en cinco oportunidades diferentes con el posterior desmembramiento y también la formación de las montañas o de los volcanes. Las variaciones en la dorsal oceánica junto a la subducción y a su tasa de expansión (la velocidad a la que dos placas tectónicas se alejan una de la otra) incluso ofrecen una explicación para las variaciones en el nivel del mar entre muy largos períodos de tiempo. Geocientíficos de la Universidad de Sydney recientemente reconstruyeron los **cambios en el nivel del mar** ocurridos durante los últimos 140 millones de años en base a modelos que justamente tienen en cuenta estas variables: hace 80 millones de años, durante el período Cretáceo, el nivel del mar alcanzó su nivel máximo; el oeste de Estados Unidos estaba bajo agua, como también grandes partes de Europa y el Norte de África. Desde entonces, el nivel del mar ha disminuido constantemente y ahora está 170 metros más abajo que en aquel momento. La razón es el cambio en el volumen de las cuencas oceánicas. Las dorsales oceánicas yacen a tan sólo unos 2,5 kilómetros de profundidad, mientras que las llanuras abisales están a profundidades de entre 5,5 y 6 kilómetros. Si cambia la proporción entre estas dos

formaciones geológicas, también cambiará el volumen de las cuencas oceánicas. Es como si fuera una bañera: si se eleva o hunde el piso, sube o baja el agua en su interior (con volumen de agua constante). Hace 80 millones de años, cuando se estima que el nivel del mar fue máximo, las dorsales oceánicas eran mucho más largas. La razón: en ese entonces el desmembramiento del supercontinente Pangea estaba en su apogeo y en todos lados crecían océanos. Había más dorsales oceánicas, pero también menos llanuras abisales, de modo que las cuencas oceánicas eran poco profundas y el agua debía invadir los continentes. Basándose en los cálculos del modelo, los investigadores de Sydney predicen que el Atlántico y el Océano Índico continuarán creciendo, mientras que el Pacífico se encoge. En total habrá menos dorsales oceánicas de las que hay ahora, y en cambio, habrá más llanuras abisales. Debido a que el agua tendrá más espacio para repartirse, el nivel del mar caerá 120 metros por debajo del actual. Pero esto sucederá recién en 80 millones de años; los geocientíficos sencillamente manejan otras dimensiones temporales.

PIE DE IMPRENTA

Sociedad Max-Planck, Departamento de Información y Relaciones Públicas, Hofgartenstraße 8, 80539 München / e-mail: presse@gv.mpg.de

Texto y redacción: Dra. Christina Beck

Traducción: Ing. Agr. Roberto Neuwald

Diseño: www.haak-nakat.de

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



SIEMENS

DAAD

Deutscher Akademischer Austausch Dienst
Servicio Alemán de Intercambio Académico

BASF
The Chemical Company



200 AÑOS
BICENTENARIO
ARGENTINO



Ministerio de
Ciencia, Tecnología
e Innovación Productiva
Presidencia de la Nación