



MAX-PLANCK-GESELLSCHAFT

“Lo único que quiero, es volver a estar en tierra firme”. Éste es el deseo de todo aquel que debe soportar un mar embravecido a bordo de un velero o esté atravesando una tormenta con un avión. Pero el suelo bajo nuestros pies lejos está de ser tan firme como parece. De hecho, la corteza terrestre se fisura un poco cada día, porque las placas tectónicas en el lecho oceánico se separan en las zonas de divergencia brotando lava por las fisuras. La consecuencia:

Tierra se formó hace 4.500 millones de años a partir de material meteorítico) ofrecieron puntos de referencia sobre la estructura y la composición del globo terráqueo. Según estos estudios, la corteza y el manto terrestre se componen, principalmente, de silicatos de hierro y magnesio; el núcleo, en cambio, que se inicia a unos 3.000 kilómetros de profundidad, se compone principalmente de hierro metálico. En general, la temperatura y la densidad aumentan

Huellas al rojo vivo

Porqué los científicos hacen perforaciones en los volcanes

los continentes se alejan y acercan entre sí muy lentamente. Los terremotos y las erupciones volcánicas son las señales visibles de las poderosas fuerzas que generan estos movimientos.

CONTINENTES EN MOVIMIENTO

Alfred Wegener formuló la hipótesis de la **deriva continental** por primera vez en 1912. Pero durante largo tiempo, incluso a los científicos les pareció descabellada la idea de que partes del planeta se estuvieran moviendo; por eso, la teoría de Wegener fue resistida durante más de 50 años. Los expertos parecían estar sólo de acuerdo sobre lo que los volcanes *no* son: ni la idea de Goethe (1749-1832), que suponía que se originaban por incendios en minas de carbón subterráneas de tamaño infinito, ni la noción de Humboldt (1769-1859), que sugería que se trataba de válvulas de seguridad para descargar las fuerzas que se distribuían alrededor del globo terráqueo, eran científicamente sostenibles en el tiempo.

GEÓLOGOS EN UN VIAJE AL CENTRO DE LA TIERRA

Recién la exploración sistemática del interior de la Tierra en el siglo XX trajo claridad. En primer lugar, las mediciones sísmicas y el análisis químico de los meteoritos (la

en dirección al centro de la Tierra. Por eso, se produce mucho calor e inmensas corrientes de flujo de materiales tanto en el núcleo principalmente líquido, como en el manto sólido. Los investigadores llaman convección a estos movimientos que, por primera vez, les permitieron encontrar una explicación plausible para la teoría de la deriva continental: la convección en el manto terrestre es la fuerza que impulsa el desplazamiento de los continentes. La teoría de Wegener finalmente se impuso en la década de 1960. Con moderno instrumental técnico, los geólogos lograron estudiar sistemáticamente las muestras de roca tomadas del lecho oceánico. Para su sorpresa, en los estudios lograron establecer que éstas tenían, a lo sumo, una antigüedad de 200 millones de años. La

antigüedad de 200 millones de años. La

corteza continental, en cambio, tiene una antigüedad que



→



▲ El volcán Kilauea en Hawaii (erupción del 29.06.1983 que todavía continúa hasta hoy: © NOAA National Geophysical Data Center; Boulder, EE.UU.)

→ promedia los dos mil millones de años. ¿Existe algún proceso, por el cual los suelos oceánicos se renuevan de manera continua?

La respuesta la brinda la teoría **tectónica de placas** vigente hasta el día de hoy. Según ella, por las dorsales oceánicas permanentemente aflora nuevo material rocoso desde el manto terrestre. La nueva corteza formada durante el proceso se desplaza por encima del manto terrestre en forma de grandes placas a una velocidad de hasta diez centímetros por año, como si fueran cintas transportadoras hacia ambos lados de la dorsal. A medida que se mueven, dos placas continentales pueden colisionar o superponerse. De este modo se formaron cordilleras como la del Himalaya. Por suerte, los continentes tienen un comportamiento bastante estable. Por el contrario, a más tardar dentro de 200 millones de años, las placas oceánicas volverán a ser tragadas por el manto terrestre en las llamadas **zonas de subducción**. Mientras que estos procesos subterráneos únicamente pueden ser registrados por instrumental muy preciso, en la superficie generan un efecto apreciable en forma de terremotos y erupciones volcánicas.

SOPLETES QUE CREAN VOLCANES

Una de las zonas volcánicas más activas del planeta es la de las islas del archipiélago de Hawaii. Éstas se forman a partir de violentas

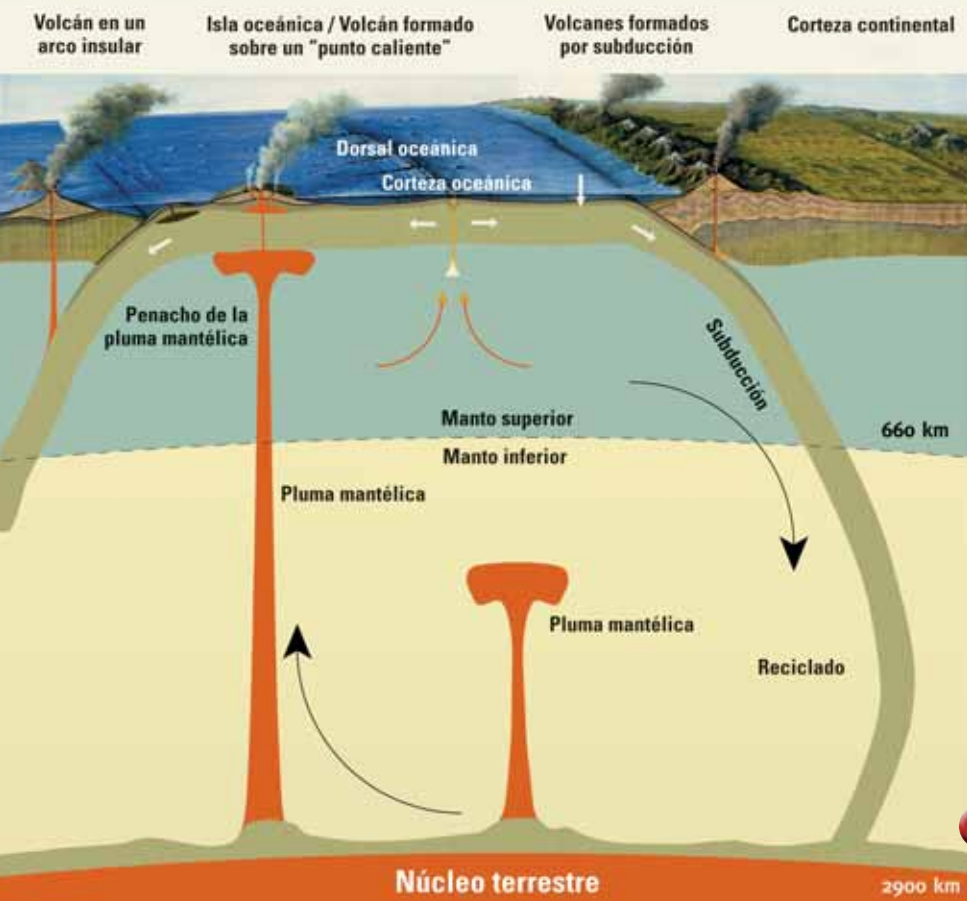
erupciones que escupen tanta lava, que en menos de un millón de años crean conos volcánicos por encima del océano, algunos con varios kilómetros de altura. Luego, los volcanes se extinguen hundiéndose nuevamente en el lecho marino debido a su propio peso; muchos de ellos con el tiempo desaparecen por completo debajo de la superficie oceánica. Así, en los últimos 70 millones de años surgió una cadena que se extiende a lo largo de casi 7.000 kilómetros y tiene unos 100 volcanes de los cuales, actualmente, sólo los más recientes están activos, por ejemplo, los volcanes de Mauna Loa y Kilauea en la isla central de Hawaii (**Fig. A**). Dado que allí se puede estudiar muy bien la lenta formación y crecimiento de los volcanes, los vulcanólogos de todo el mundo realizan sus investigaciones en este lugar, incluso los científicos del Instituto Max Planck de Química con sede en Maguncia. Como a muchos otros de sus colegas, a los científicos de Maguncia les fascina sobre todo, el hecho de que, comenzando en el extremo noroeste, cada una de las chimeneas de esta cadena de volcanes es más joven a medida que se avanza en dirección sudeste. El motivo es que debajo de la cadena de islas y a una profundidad aproximada de 100 kilómetros en el interior del manto, encontramos lo que se llama **punto caliente** (**Fig. B**). Como si fuera un "soplete gigante", este punto caliente escupe lava que va abriéndose paso por la sólida corteza

oceánica formando primero un "monte submarino" (**Sea Mount**) que luego puede emerger del océano formando una **isla volcánica**. Como la corteza terrestre se desplaza sobre el manto, el volcán se va alejando de su fuente hasta que finalmente se extingue. En su lugar, el "soplete" volverá a formar otro volcán. De este modo y durante millones de años, el punto caliente de Hawaii ha generado esa larga cadena de islas y montes submarinos.

PENACHOS DE MAGMA CALIENTE

A fines de la década de 1960 el geofísico Jason Morgan desarrolló una teoría sobre el origen de los puntos calientes que, en la actualidad, es ampliamente aceptada: una capa de rocas particularmente caliente, pero generalmente sólida, proveniente del manto terrestre (probablemente desde profundidades cercanas a los 2.900 kilómetros) se vuelve inestable y brota en forma de hongo hacia la superficie. Debido al descenso de la presión cerca de la superficie del manto terrestre, esta llamada **pluma mantélica** comienza a fundirse a unos 100 kilómetros de profundidad. La masa fundida llamada magma, asciende a través de fisuras o canales que va abriendo en la roca hasta llegar a las llamadas cámaras de magma que se forman a unos cinco o seis kilómetros por debajo de la base de un volcán. En estas cámaras el material fundido que acaba de brotar del manto comienza a cristalizarse y a mezclarse para formar el material que, finalmente, será eyectado a la superficie de la Tierra en forma de lava. Los científicos aún discuten el origen de las rocas de la pluma. ¿Se trata acaso de rocas "normales" provenientes de las profundidades del manto terrestre o será que al formarse los "penachos de magma" otros procesos geológicos más complejos desempeñan algún papel? Entre otros lugares, los científicos buscan la respuesta en una de las perforaciones más profundas del mundo. En este momento están perforando la ladera del presuntamente casi extinto volcán Mauna Kea en Hawaii. Un equipo internacional, del cual participan el Instituto Max Planck de Química y el Centro de Geoinvestigaciones de Potsdam, se ha propuesto alcanzar una profundidad de cinco kilómetros hasta las capas de magma de varios cientos de miles de años de antigüedad. Los núcleos de perforación que los científicos extraen se limpian *in situ*. Luego, las pequeñas muestras obtenidas se analizan en el instituto con sede en Maguncia, entre otros lugares.

◀ Vista en corte de la corteza y del manto terrestre oceánico. © Instituto Max Planck de Química

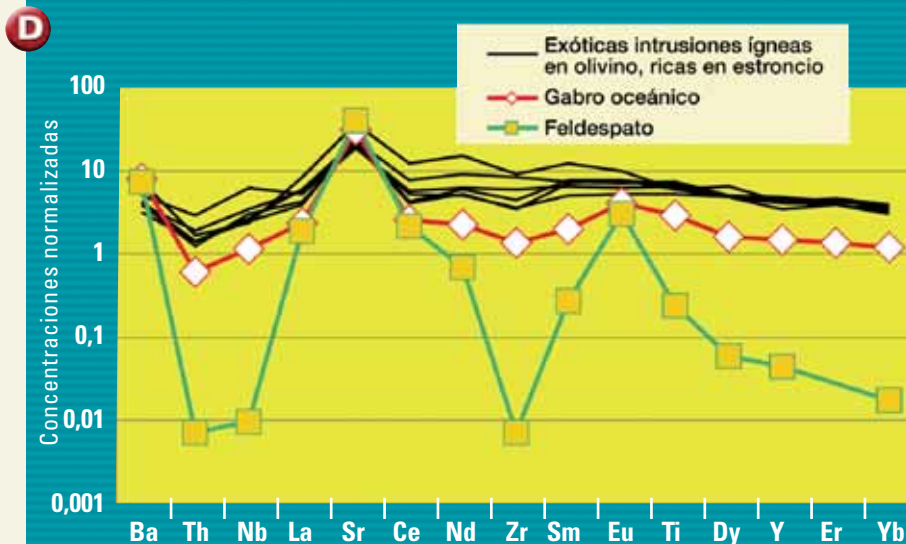


HUELLAS DACTILARES GEOQUÍMICAS

Una vez en el instituto, los núcleos de perforación se procesan en el laboratorio de análisis de rocas (véase la Fig. C). Una prensa hidráulica comprime y rompe las piedras y luego una serie de molinos especiales las pulverizan hasta obtener un fino polvo. A través de un complejo proceso, los investigadores establecen la concentración de determinados elementos traza, por ejemplo bario, rubidio, uranio o lantano. Dado que la concentración de un gran número de elementos traza pertenecientes a una misma muestra de roca varía de acuerdo con su lugar de procedencia, los científicos obtienen una "curva característica" muy específica para cada una de ellas (Fig. D), como si fuera una "huella dactilar geoquímica". La nueva curva se puede comparar con otras ya conocidas y así, la muestra de roca puede asignarse a determinadas formaciones. De este modo, por ejemplo, las rocas de la corteza oceánica profunda poseen una curva característica diferente de aquellas extraídas del manto. Los investigadores proceden como peritos dactilares de la policía, capaces de identificar de forma precisa a los delincuentes mediante sus impresiones digitales, siempre que la huella se encuentre en la base de datos. En un proyecto sin precedentes en las geociencias, los científicos del Instituto Max Planck también construyeron una base de datos de "huellas dactilares geoquímicas". Se trata de la base de datos petrográficos GEOROC. Esta base centraliza los resultados de los análisis de rocas volcánicas de todo el mundo. De este modo, mediante Internet, los científicos pueden acceder desde cualquier lugar a un sistema que les permite comparar sus datos con los de sus



▲ Partes de las muestras obtenidas de núcleos de perforación se cortan en láminas, se las pega en una placa de vidrio y se las pule hasta alcanzar un espesor de unas pocas centésimas de milímetro. La mayoría de los minerales (en este caso basalto de Hawaii) se vuelven transparentes y pueden clasificarse bajo el microscopio.



Para construir una curva característica, las concentraciones de elementos químicos medidas (eje horizontal) se dividen por sus respectivos valores de concentración en el manto terrestre. Los valores así normalizados se unen mediante una línea. El gráfico reproduce las "huellas dactilares geoquímicas" de seis intrusiones "exóticas" por fusión (ígneas) en olivina, ricas en estroncio, provenientes de lava de Mauna Loa, comparadas con la composición de gabro y feldespato oceánico típico del mismo gabro.

colegas y así, entre otros aspectos, intentar establecer el origen de determinadas rocas.

VOLCANES COMO GIGANTESCAS PLANTAS DE RECICLADO

El meticuloso análisis de diversas lavas de Hawaii muestra que los volcanes expulsan a la superficie un conjunto de rocas de origen muy variado desde el interior de la Tierra. En este sentido, las "huellas dactilares geoquímicas" de las muestras de los volcanes Mauna Loa y Mauna Kea coinciden con las de las rocas de la corteza oceánica profunda, constituidas principalmente por feldespatos. Otros volcanes están formados en su mayoría por basaltos que provienen de la corteza oceánica superior. No obstante, los investigadores de Maguncia pudieron demostrar que este material no coincide con el que hoy yace debajo de los volcanes. Se trata, más bien, de rocas "recicladas" de una corteza oceánica, que probablemente fueron tragadas por el manto terrestre hace mil o dos mil millones de años en las zonas de subducción, permaneciendo latentes a grandes profundidades y, finalmente, volvieron a emerger por el empuje de una pluma mantélica. Ya a comienzos de la década de 1980, Albrecht Hoffmann encontró primeros indicios geoquímicos de un proceso semejante. Ahora, veinte años después, sus especulaciones se confirmaron: los volcanes forman parte de un colosal proceso de reciclado geológico. Estos resultados han llamado poderosamente la atención, porque contradicen la idea previa de que los penachos de magma trasladan rocas "normales" desde lo profundo del manto a la superficie del planeta.

¿ERUPCIÓN VOLCÁNICA EN EL RIN?

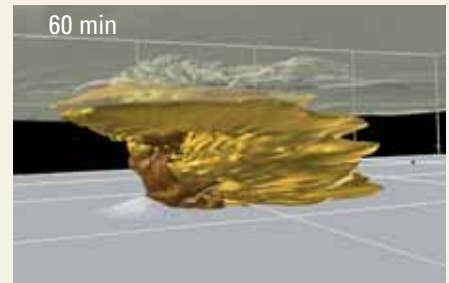
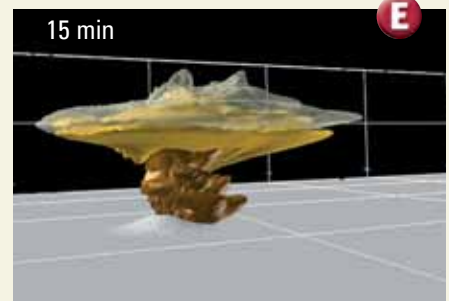
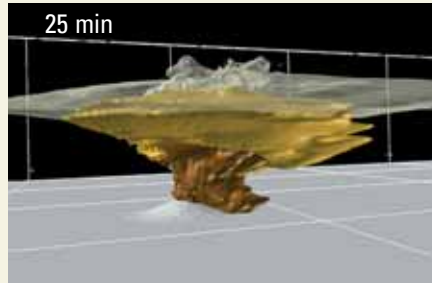
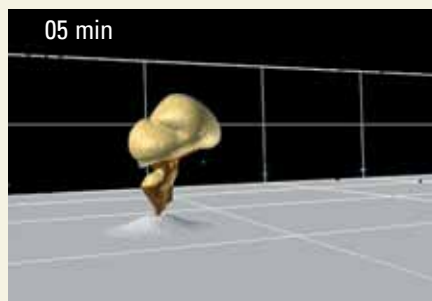
En Maguncia, los geocientíficos tienen la posibilidad de estudiar montañas de fuego menos espectaculares aunque no menos interesantes. En el noroeste de Maguncia, el campo volcánico del cordón de Eifel del Oeste presenta 240 conos volcánicos a lo largo de sus 50 kilómetros de extensión, como así también, el campo volcánico de Eifel del Este que, en sus 35 kilómetros de extensión, cuenta con la apreciable cantidad de 100 chimeneas, uno de cuyos cráteres da origen al lago Laach. Donde hoy caminantes y turistas disfrutan de un pacífico paisaje de suaves ondulaciones, hace entre 10 y 40 millones de años burbujeaba una especie de "caldero de bruja" que produjo los típicos **volcanes intraplacas**. Los volcanes de la región de Eifel se emplazan sobre la meseta del Macizo Renano que en los pasados 40 millones de años se plegó dos veces y que todavía hoy se está desplazando. La probabilidad de que en un futuro cercano en la región de Eifel se produzca el nacimiento de un nuevo volcán o que las chimeneas latentes vuelvan a hacer erupción es, afortunadamente, bastante pequeña. Hace aproximadamente 10.000 años se produjo la última erupción que formó el lago Laach y tuvo devastadoras consecuencias. En aquel entonces, vastas extensiones de Europa fueron cubiertas por una capa de ceniza. Dicho sea de paso: aún con la base de datos de Maguncia, hasta la fecha ningún científico pudo probar realmente cómo surgieron los campos volcánicos de Eifel. Aunque también en este caso, los científicos suponen que una pluma mantélica pudo haber sido el motivo.

→ EXPLOSIONES EN EL CINTURÓN DE FUEGO

Los geólogos sí tienen una idea más precisa acerca de cómo se formaron los volcanes a lo largo del "Cinturón de Fuego del Pacífico", que abarca la tierra firme y los archipiélagos de los países, cuyas costas baña este océano. Aquí se produjeron prácticamente todas las espectaculares erupciones de los últimos 200 años (por ejemplo la del Monte Santa Helena en 1980, en el estado de Washington, EE.UU., la del volcán El Chichón en 1982, México y la del Pinatubo en 1991, Filipinas). La mayoría de los volcanes se encontraban muy cerca de la costa del continente y a lo largo de zonas de subducción, donde por otra parte, también se producen la mayoría de los terremotos. Las lavas particularmente ricas en silicatos de los **volcanes en zonas de subducción** son viscosas y suelen estar cargadas de dióxido de azufre, de cloruro y de fluoruro de hidrógeno, aunque también de vapor de agua. Al ascender la lava, los gases que primero se liberan en la masa de magma, borbotean a la superficie terrestre, como si fueran pequeñas burbujas de dióxido de carbono en una botella de gaseosa, pero con resultados menos refrescantes: la presión en el interior de las burbujas de gas es suficiente para desgarrar en forma explosiva la masa ígnea de rocas en pequeños jirones de lava antes de llegar al punto de desborde natural, acelerando la mezcla de gas/sólido a velocidad supersónica, catapultándola a kilómetros de altura hacia la atmósfera. El agua subterránea o superficial que se incorpora a la mezcla se evapora repentinamente y ocupa varias veces su volumen líquido potenciando el poder destructor de semejantes cargas propulsivas. La columna ascendente de la erupción absorbe grandes cantidades de aire frío que, en contacto con los productos calientes eyectados, también se calienta y genera una propulsión adicional. Las partículas de ceniza y las moléculas de gas más livianas son transportadas hasta la estratosfera, a más de 40 kilómetros de altura y luego se distribuyen alrededor del globo.

CÓMO LOS VOLCANES INFLUYEN EN EL CLIMA

Es probable que la mayoría de las personas nunca experimente directamente estas energías concentradas en forma de una erupción volcánica. En cambio sí puede suceder que – por ejemplo siendo pasajeros a bordo de un avión – suframos las consecuencias: todas las cuatro turbinas de un jet que sobrevolaba Alaska fallaron a más de 10.000 metros de al-



▲ Con un modelo ATHAM, los científicos del Instituto Max Planck de Meteorología y del Centro de Cálculo Climático de Alemania, con sede en Hamburgo, pueden simular la expansión de las nubes de ceniza volcánica en un área de entre cien metros y cien kilómetros.

tura. Si bien el avión comenzó a descender rápidamente, el piloto logró que las turbinas volvieran a encender y aterrizó la nave en forma segura. Pero, ¿qué había ocurrido? La ceniza volcánica de la erupción del Monte Redoubt, al oeste de Anchorage provocó que los detectores de presión de las turbinas dejaran de funcionar. Mientras la ceniza volcánica vuelve a precipitarse sobre la tierra pocos días después, el dióxido sulfúrico (SO_2) liberado, se oxida fotoquímicamente en la estratosfera y se enlaza allí con agua formando gotitas de ácido sulfúrico (H_2SO_4). Su interacción con la radiación térmica y solar altera el clima durante algunos años.

LLUVIA DE CENIZA SOBRE SINGAPUR

Hasta abril de 1991, el Pinatubo no era uno de los volcanes filipinos más mencionados. Vagamente se sabía que había estado activo hace unos 600 años. Pero la lectura geológica de los sedimentos denotaba que este volcán representaría un importante peligro para las poblaciones aledañas si volvía a hacer erupción. El 2 de abril de 1991 volvió a entrar en actividad con primeras explosiones y erupciones de ceniza. En el transcurso de dos meses se incrementaron continuamente los movimientos sísmicos, las erupciones volcánicas y la deformación del cono volcánico. A principios de junio se registraron hasta 2.000 sismos por día y el volcán arrojaba cada día casi 5.000 toneladas de dióxido sulfúrico al aire. Las columnas eruptivas cargadas de ceniza ascendían hasta 8.000 metros en la atmósfera. El 15 de junio, el servicio sísmico comunicó que se había alcanzado el máximo nivel de

alarma: posible erupción masiva en las próximas horas. Una columna permanente de material ígneo ascendía hasta 40 kilómetros de altura, las cenizas caían incluso sobre Singapur, ubicada a 2.500 kilómetros de distancia. La cima del cono estalló y se desplomó...

Las observaciones posteriores a la erupción mostraron que la temperatura en la superficie terrestre había disminuido en promedio $0,5^\circ\text{C}$, que la concentración de ozono en la estratosfera se había reducido en hasta un 50% y que la circulación atmosférica era diferente. Entretanto, con ayuda de simulaciones en computadora (**Fig. E**), los científicos pudieron establecer los factores que determinan el desarrollo de una erupción y su interdependencia. De este modo se detectó que junto con la composición y la temperatura del magma las condiciones meteorológicas del ambiente también determinan la altura de la columna eruptiva y la expansión de los gases traza en la atmósfera.

PIE DE IMPRENTA

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

Redacción: Dra. Christina Beck

Texto: Ute Hänslers

Traducción: Astrid Wenzel

Diseño: www.haak-nakat.de

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

DAAD Deutscher Akademischer Austausch Dienst
Servicio Alemán de Intercambio Académico



SIEMENS

BASF
The Chemical Company