

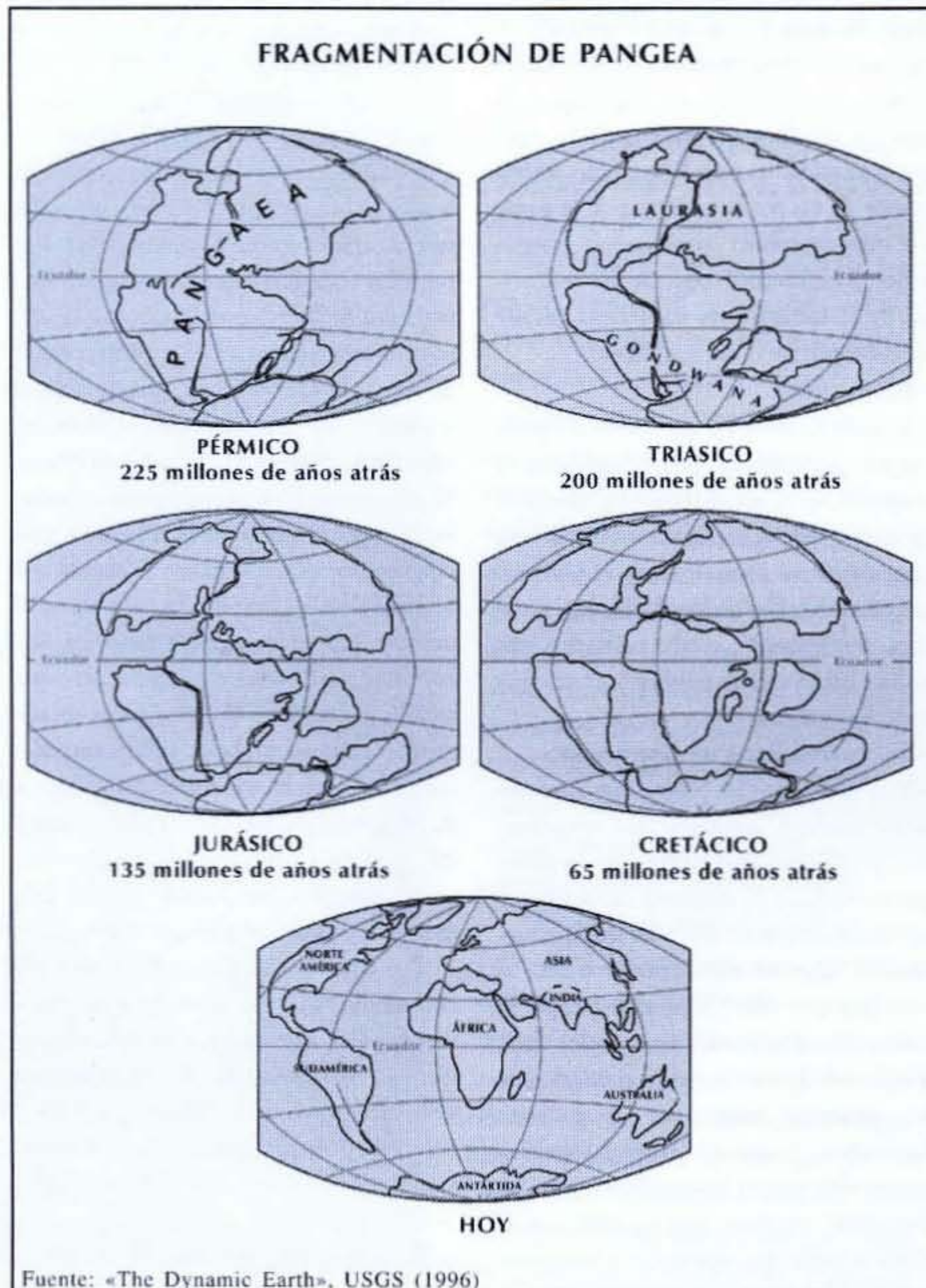
Deriva continental

La Tierra *vive*

por Guillermo Mattei*
gmattei@df.uba.ar

La intuición humana parecería conducir naturalmente a la idea de que la Tierra es un planeta estático e inmutable. Ni siquiera fenómenos espasmódicos, violentos y capaces de dejar secuelas en el lapso de una vida humana tales como terremotos, volcanismo o maremotos contribuyen a alterar esa imagen. Sin embargo, una película de la historia de la Tierra —con fotogramas de millones de años— no mostraría a nuestro planeta como una simple roca esférica que vaga por el espacio sino como un complejo sistema en el cual se producen cambios espectaculares. Tan espectaculares como continentes chocando entre sí, agrupándose hasta formar un supercontinente único y volviéndose a fragmentar nuevamente en un ciclo que motorizan las fuerzas vitales de la Tierra.

Apenas iniciada la Primera Guerra Mundial (1914) el meteorólogo alemán Alfred Wegener se reponía de las heridas de combate en un hospital militar. Mucho tiempo para pensar, seguramente tanto como el que tuvo Einstein en la famosa Oficina de Patentes de Berna (Suiza) o el que la parálisis corporal le impuso al conocido astrofísico inglés Stephen Hawking. Wegener meditaba sobre algo que los especialistas ya habían advertido: las costas de Sudamérica y las de África coincidían casi con la precisión de dos piezas contiguas de un rompecabezas. Sin embargo, la genialidad de Wegener permitió sintetizar evidencia paleontológica y geológica en una afirmación osada: ¡ambos continentes habían estado juntos en el pasado! Desde la mirada de un historiador de la ciencia, hoy es posible decir que Wegener, como Einstein y Hawking, logró interpretar la parte de la realidad que le tocaba estudiar (los fenómenos planetarios) guiado por el reflejo casi estético que precede a los grandes aportes científicos. El historiador también debería apuntar otra característica de las ideas revolucionarias como aquella: la tardía comprensión por parte de los pares científicos. Recién en la década del sesenta este modelo, llamado de *deriva continental*, pudo afianzarse como explicación de la dinámica terrestre. Wegener murió en medio de una tormenta ártica a los cincuenta años, en 1930, un año después de conseguir su primer puesto académico en la universidad.



Vayamos a tierra firme

Actualmente la superficie de la Tierra está tapizada por alrededor de una docena de bloques o placas (de diferentes tamaños) de tierra continental, técnicamente, de *corteza continental*. Cualquier escolar sabe que los continentes están circundados por agua, pero pocos saben que el fondo está formado por otra docena de bloques marinos de *corteza oceánica*. Ambos tipos de cortezas están “apoyadas” sobre la parte superior de la capa interna de la Tierra llamada *manto* (estrictamente, en el límite que separa la *litosfera* de la *astenosfera*) a unos doscientos kilómetros de profundidad. El legado de Wegener dice que las cortezas “deambulan” siguiendo un ciclo natural. En una parte del ciclo los bloques continentales se integran sucesivamente en bloques cada vez mayores hasta formar un supercontinente único —llamado *Pangea*— y, en la otra parte del ciclo, los bloques se fragmentan, separándose unos de otros. La *Pangea* más reciente data de unos cien millones de años (Cretáceo), pero se estima que hubo al menos otras cinco desde la formación de la Tierra hace cuatro mil setecientos millones de años.

Pero, ¿cuál es la fuerza que gobierna el movimiento de estas placas? “El motor es el calor interno que libera la Tierra”, explica el doctor en geología Ernesto Cristallini. Esta monumental danza de bloques basa su dinámica en las diferencias entre los dos tipos de cortezas. La continental es rica en rocas graníticas y sedimentarias y la oceánica en basálticas y volcánicas. La continental es mala conductora del calor y la oceánica muy buena.

Cristallini, que es un joven docente e investigador del departamento de geología de la FCEyN, indica: “Cuando de un gran bloque de corteza continental se trata (digamos África) el calor irradiado por la parte líquida del núcleo terrestre se va acumulando debajo de él”. Ese calor con-

tribuye a deformar la cara interna del bloque, primero, y a quebrar la cara superficial, después. Finalmente el bloque de partida se transforma en otros dos más chicos ligados por una capa de material de menor espesor que, tarde o temprano, cederá su lugar al material de la corteza oceánica que surge de las profundidades y que sí permite liberar el calor que pugna por salir. De ahí en más comienza la recesión de los dos bloques resultantes. Inversamente, en la otra parte del ciclo, diferentes pedazos de corteza continental chocan integrándose en continentes cada vez más grandes hasta llegar al supercontinente único o *Pangea*.

Este contrapunto de cortezas ocurre porque, en lenguaje geológico, la *actividad tectónica* de los planetas está asociada a la capacidad de liberar calor interno. La Tierra tiene el tamaño suficiente como para albergar un núcleo líquido y caliente en su interior. La Luna, Marte, Mercurio y Venus no pueden decir lo mismo: o son verdaderas rocas frías o han perdido el calor mínimo que necesita un planeta para la actividad de placas.

Precisamente, luego de su formación posdoctoral en la Universidad de Cornell (Estados Unidos) Cristallini hoy es un especialista en la llamada *tectónica de placas* y, en particular, en descubrir cómo la

interacción entre bloques puede ocultar apetecibles reservorios de petróleo. Una vez más, las modelizaciones que la ciencia hace de la realidad también terminan influyendo en la vida cotidiana del hombre.

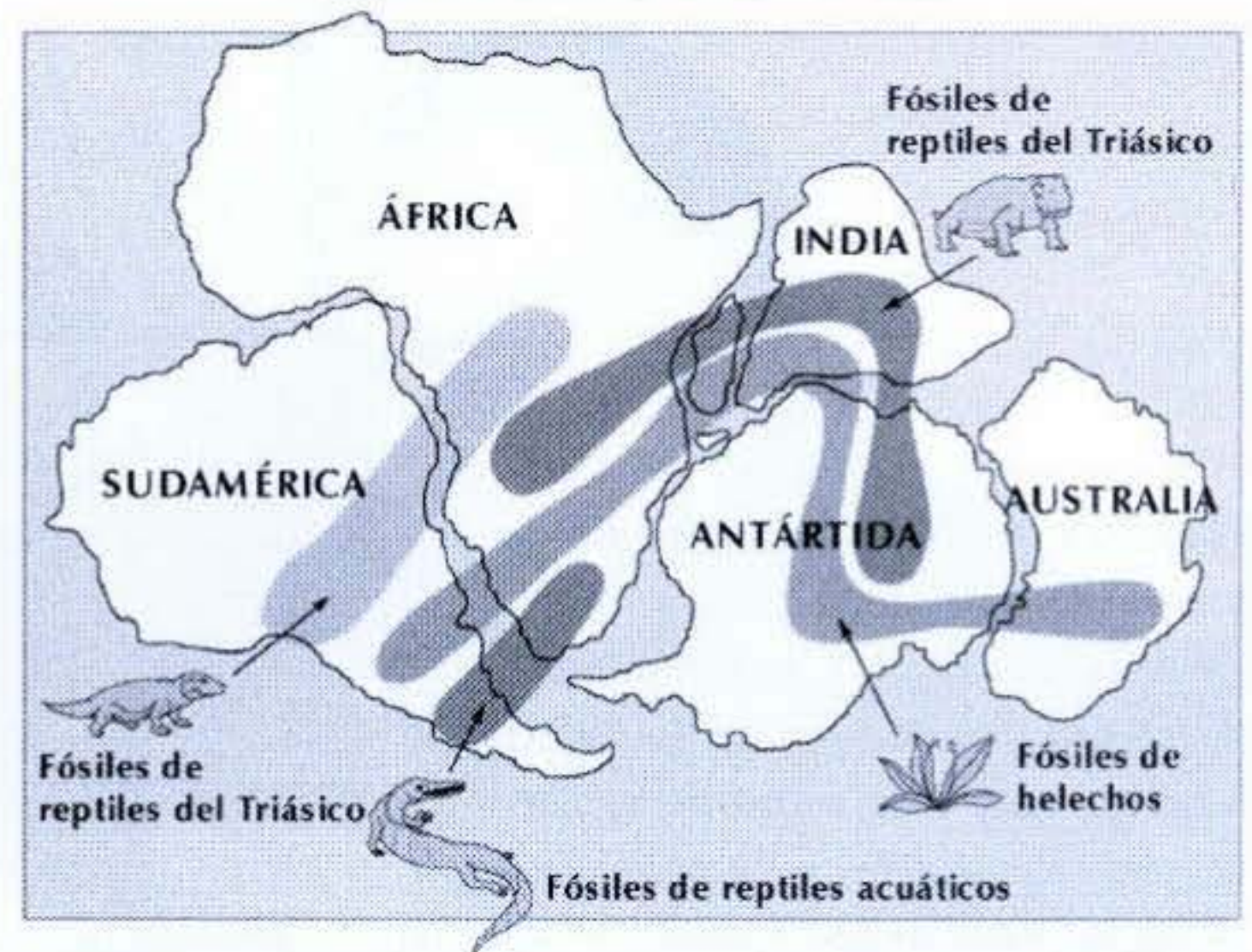
La evidencia

La tectónica de placas, como modelo conceptual de la deriva continental, encontró sólidas evidencias en la paleontología y en la sismología.

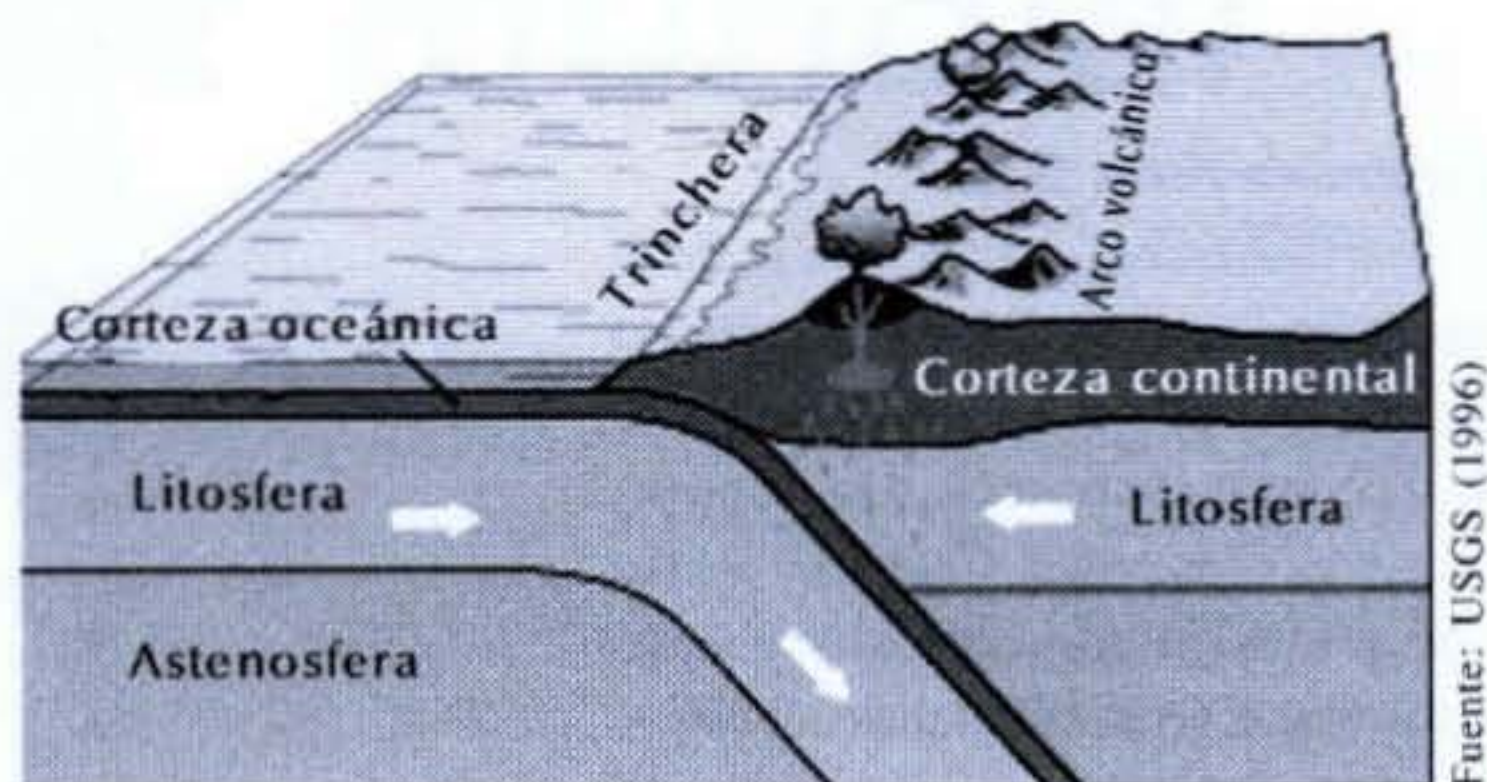
Por un lado, los paleontólogos han certificado muy detalladamente la presencia de la misma clase de fósiles en continentes actualmente bien distantes: Sudamérica y África (reptiles triásicos), Sudamérica y Norteamérica (ciertos fósiles de nuestra precordillera y de los Apalaches), India, Antártida y África (reptiles triásicos) o Australia, Antártida, India, África y Sudamérica (fósiles vegetales). “Ninguna de estas formas de vida tuvo la capacidad de atravesar la actual separación marina de los continentes en cuestión”, diría un detective tratando de resolver el caso.

Por otro lado, hay cuatro evidencias de tipo sismológico a favor de la tectónica de placas: la rugosidad y juventud del fondo oceánico, la variación del campo magnético terrestre en el pasado, la diseminación del fondo marino más el reciclado de la corteza oceánica y la concentración de

DISTRIBUCIÓN ACTUAL DE FÓSILES COMUNES A CONTINENTES DIFERENTES



CONVERGENCIA DE LA CORTEZA OCEÁNICA SOBRE LA CONTINENTAL



Fuente: USGS (1996)

volcanes y terremotos en profundidades y cordilleras oceánicas.

Antes del siglo XIX, todo lo que yacía debajo de los mares y océanos que cubren los dos tercios de la superficie terrestre era una incógnita. Hoy sabemos que el paisaje submarino está dominado por sistemas montañosos, mucho más imponentes que los que encontramos a cielo abierto, llamados *dorsales oceánicas*. Los primeros mapas sistemáticos de las dorsales se hicieron por métodos acústicos (*batimetría por sonar*) y después de la Segunda Guerra con las técnicas magnéticas de detección de submarinos.

Si de magnetismos hablamos, el mayor imán natural es la propia Tierra. Como buen imán, tiene una *polaridad* definida, lo que significa que presenta una dirección particular y dos polos magnéticos (que no coinciden con el eje de rotación y los polos geográficos). Si bien hace 2600 años que el hombre comenzó a registrar estas propiedades, recién en el siglo veinte los científicos concluyeron que la polaridad del campo magnético terrestre "se dio vuelta" varias veces en el pasado, en intervalos que van desde unos pocos miles de años hasta cientos de miles. Las rocas, a su vez, también se asemejan a pequeños imanes. En particular las basálticas (ricas en hierro) poseen un mineral llamado *magnetita* capaz de alterar una brújula. Los pequeños imanes de las rocas siguen disciplinadamente al gran imán terrestre, alineando su campo con el de la Tierra. Sin embargo, los geólogos encuentran hoy dos tipos de rocas: unas con la polaridad de sus imanes apuntando del mismo modo que el campo terrestre actual (*polaridad*

Dime con qué bloque andas

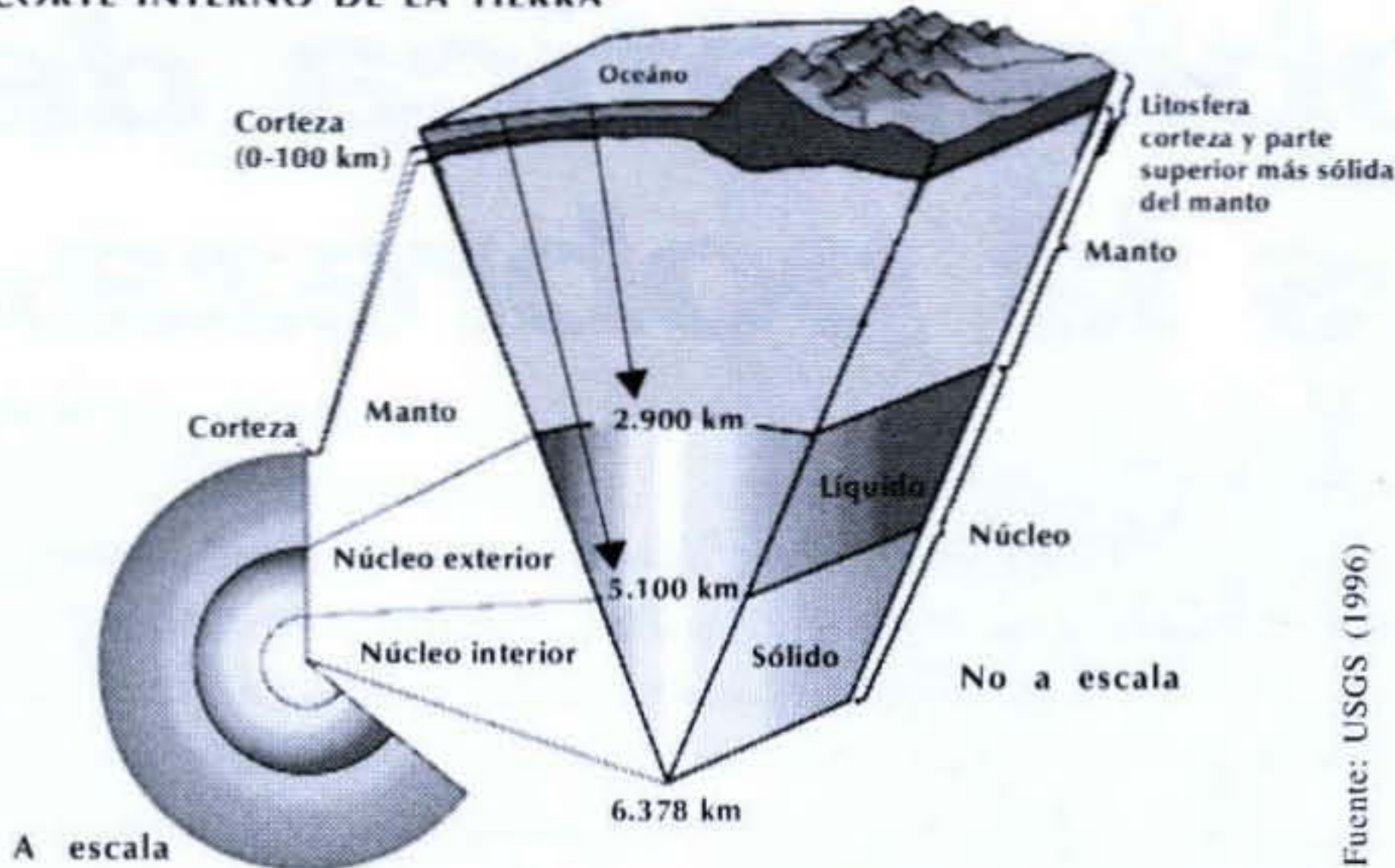
Después de los cómo y porqués de la tectónica de placas, los geólogos han estudiado profundamente la manera que tienen los bloques, de igual o diferente corteza, de interactuar mutuamente. Suena fácil decirlo, pero estamos hablando de choques entre continentes, corteza oceánica que desaparece o placas marinas que se empeñan en empujar la tierra continental. Los geólogos diferencian tres situaciones típicas.

Primero, dos bloques de corteza continental separándose y una dorsal en el medio generando nuevo material. El ejemplo típico es la cordillera atlántica que nace cerca de Islandia y recorre todo el océano imitando la forma de las costas, especialmente, de Sudamérica y África.

En segundo lugar, un bloque de un tipo de corteza desapareciendo o *subduciéndose* por debajo de otro bloque de corteza igual o diferente. El caso en que un bloque oceánico desaparece por debajo de otro continental es el de la llamada Placa de Nazca en la costa peruana y chilena. Allí el suelo marino desaparece por debajo del continente en las *trincheras*, que son "líneas" paralelas a la costa donde la profundidad del fondo cae abruptamente, y empuja a la tierra continental elevándola con una fuerza suficiente como para crear la imponente cordillera de los Andes. El hombre solo percibe la fuerza involucrada por la gran cantidad de actividad sísmica de la región. También éste es el caso de dos placas marinas, una de las cuales desaparece debajo de la otra. Aquí el ejemplo es la zona de la Fosa de las Islas Marianas, donde se encuentran la Placa del Pacífico y la Placa de las Filipinas que generan profundidades récord de once mil metros y mucha actividad volcánica. Finalmente, para este tipo de interacción entre cortezas, el choque entre dos placas continentales sería, en la jerga boxística, una especie de categoría peso-pesado. Aquí no hay subducción, ninguna de las dos placas desciende sino, por el contrario, ambas se deforman hacia arriba y hacia los costados dando lugar, por ejemplo, nada menos que a la cadena de los Himalayas. También puede darse el caso, como en los Alpes, de dos grandes bloques continentales que, luego del encuentro, terminan separados por una difusa y complicada frontera de minibloques.

Las herramientas tecnológicas desarrolladas en las últimas décadas, tales como el Sistema de Posicionamiento Global satelitario y la metrología láser, permiten medir con precisión asombrosa el ritmo de los movimientos relativos entre los bloques: dos centímetros y medio por año para los más lentos y quince centímetros por año para los más rápidos.

CORTE INTERNO DE LA TIERRA



Fuente: USGS (1996)

subduce la corteza oceánica es muy grande, entonces las gotas de material fundido subirán relativamente cerca de la costa continental porque muy rápidamente la corteza intersecta la isoterma clave. Si la inclinación es poca, el volcanismo debería aparecer más lejos de la costa (cuando finalmente se tope con la isoterma en cuestión) pero, con una hidratación más baja del material, sus efectos también serán menores. Por ejemplo, aclara Cristallini, “en la Cordillera de los Andes que se extiende entre los paralelos 27 y 33 sur (La Rioja, San Juan y Mendoza) no hay volcanismo actual pese a que tanto al sur como al norte sí lo hay: la pendiente de la dorsal que influye en este paisaje es baja”. Sin embargo, esta pendiente no siempre fue pequeña y, para la misma zona, aparece volcanismo hace veinte millones de años en el límite con Chile, hace siete millones algo al oeste de la ciudad de San Juan y hace un millón de años en la Sierra de Pochó, en Córdoba. Esta evolución es una muestra de la progresiva disminución de la inclinación con la que la placa oceánica subduce. Después de esa versión cordobesa de volcanismo, desaparece la actividad en toda esta franja andina.

Los lagos patagónicos, el petróleo venezolano, la erupción del volcán filipino Pinatubo en 1991, la fértil tierra volcánica del Mediterráneo, Islandia, la energía geotérmica de los geysers, el terremoto de México en 1986, las minas chipriotas de cobre, el mar Rojo, los yacimientos gasíferos de Loma de la Lata, el tsunami de 1946 en Hawái, los arrozales indonesios son algunas manifestaciones actuales de la tectónica de placas. En otras palabras, algunas evidencias más de los signos vitales de la Tierra. ■

• Asistente de la Coordinación de los Laboratorios Básicos de Enseñanza del Departamento de Física - FCEyN

normal) y otras en sentido contrario (polaridad reversa). ¿Cómo es posible? Cuando emerge material del interior de la tierra, vía los volcanes, la roca fundida —rica en minerales y gases— en algún momento se enfría, encierra los granos de magnetita y “congela” su campo magnético para toda la eternidad. Es decir, la magnetita puede “guardar” la dirección dónde apuntaba el campo terrestre al momento en que se enfrió el material volcánico que hoy la recubre. Los basaltos son una marca en el tiempo. ¿Dónde hay material basáltico? En el fondo del mar.

Los mapas geomagnéticos del fondo oceánico muestran que la distribución de zonas con polaridad normal y reversa se alternan en bandas paralelas a la línea de las “altas cumbres” submarinas. ¿Cómo interpretan esto los geólogos? El material nuevo proveniente de las profundidades de la Tierra, caliente y poco denso, queda desparramando pendiente abajo. La secuencia de “marcas temporales magnéticas” indica que ese material surgió de las dorsales! Las dorsales son, entonces, fuentes de material nuevo. Pero, si surge material nuevo de las dorsales ¿la corteza oceánica crece indefinidamente? No. Hay zonas llamadas *trincheras*, donde la Tierra se “traga” la corteza oceánica vieja en un balance equilibrado de creación-destrucción. Por ejemplo, el océano Atlántico se expande (hay creación de material) y el Pacífico se contrae (hay profundos caño-

nes que se tragan material).

Finalmente, el hecho de que el mapa planetario de la actividad sísmológica coincida con las dorsales y trincheras es una evidencia más de la tectónica de placas: el doble juego de creación-destrucción necesariamente viene acompañando de fenómenos de propagación de ondas mecánicas a través del material de las cortezas en la forma de sismos.

Paisaje de Catamarca

Si bien los tiempos propios de la tectónica de placas son desproporcionados comparándolos con el lapso de una vida humana (o de toda la humanidad), sus consecuencias están a la vista. Nuestros paisajes continentales están íntimamente ligados a la topografía marina y, particularmente, a cuán suave o abruptamente la corteza oceánica desciende por debajo de la continental (ver Recuadro *Dime con...*).

“Cuando el material de la corteza oceánica, que intenta descender por debajo de los continentes, atraviesa la línea imaginaria de la isoterma de 1200 grados, sus materiales (bien hidratados a una menor profundidad) empiezan a perder agua y así se forman ‘gotas’ de material fundido que tienden a subir por la diferencia de densidades”, explica Cristallini. Este material ascendente es el responsable del volcanismo. Si en la *trinchera* (ver figura de la página 20), la inclinación con la que