

# Nace un continente

Un laboratorio pionero ayuda a reconstruir la historia geológica de Sudamérica al determinar la edad de las rocas

Igor Zolnerkevic

**R**esulta difícil imaginar que los basamentos rocosos que sostienen a los continentes no sean eternos y estáticos. Sin embargo, a lo largo de la segunda mitad del siglo XX se tornó claro para los geólogos que los continentes se mueven lentamente, abriendo y cerrando océanos en derredor, y que su estructura interna es fruto de una compleja soldadura de inmensos bloques de rocas que fueron creciendo y enmarañándose en la superficie del planeta durante el transcurso de más de 4 mil millones de años.

Impulsados por el calor del interior de la Tierra, estos bloques, en ocasiones, se fragmentaron en unidades menores, y en otras, se fusionaron en supercontinentes, modificando así constantemente las facciones del mapamundi. Esta conturbada dinámica, explicada mediante la denominada teoría de la tectónica de placas, erigió varias cordilleras de montañas, hoy en día completamente erosionadas, pero que han sido tan altas como las actuales cordilleras de los Andes y del Himalaya. También creó y terminó con innumerables océanos ancestrales hasta esculpir el actual contorno de los continentes.

La tarea de dilucidar cada paso de esta historia es literalmente un rompecabezas de proporciones globales cuyas piezas todavía no se conocen completamente. El Centro de Investigaciones Geocronológicas (CPGeo), dependiente del Instituto de Geociencias (IGC) de la Universidad de São Paulo (USP), que funciona desde hace casi 50 años, fue la entidad pionera de América Latina en el dominio del arte de la geocronología

Chapada dos Veadeiros,  
norte de Goiás





–la determinación precisa de la edad de eventos geológicos grabados en las rocas–, esencial para reconstruir la evolución de los continentes.

“Todo lo que se sabe de geocronología sobre América del Sur empezó con nosotros”, recuerda Umberto Cordani, uno de los fundadores del CPGeo y hasta ahora uno de sus investigadores principales. Mediante sus dataciones de rocas, los investigadores del CPGeo contribuyeron a la consolidación de la teoría de la tectónica de placas, como así también ayudaron a esclarecer la historia de los bloques rocosos que se amalgamaron para formar Sudamérica.

El centro nació como fruto de una iniciativa del geólogo Viktor Leinz, entonces profesor catedrático de la Universidad de São Paulo (USP), junto al físico John Reynolds, de la Universidad de California, en Berkeley, Estados Unidos. Reynolds fue uno de los pioneros en el desarrollo de métodos de geocronología y el responsable de la instalación de laboratorios en varios países. Con apoyo de la National Science Foundation, el físico estadounidense adquirió los equipos necesarios, mientras que Leinz obtuvo en la FAPESP y el CNPq los recursos necesarios para la instalación y el mantenimiento del laboratorio de la USP.

Inaugurado en 1964, el laboratorio fue operado inicialmente por Reynolds, por el físico Koji Kawashita y por los entonces noveles geólogos Gilberto Amaral y Cordani. Durante la primera datación que les tocó hacer, los investigadores efectuaron un descubrimiento importante, publicado en 1966 en la revista *Geochimica et Cosmochimica Acta*. De acuerdo con





Chapada Diamantina (Bahía), 1.400 millones de años

sus mediciones, las rocas volcánicas de la Formación Serra Geral, en la cuenca del Paraná, se habrían formado durante el período Cretácico Inferior (hace entre 100 y 150 millones de años), mucho tiempo después de lo que suponían los geólogos de la época. Esa investigación desencadenó discusiones acerca de la evolución de la cuenca del Paraná, un tema que, según Cordani, sigue erigiéndose en uno de los problemas abiertos de la geología brasileña.

En 1967, la revista *Science* publicó el artículo científico que Cordani considera como el principal aporte del CPGeo a la ciencia. Aunque la deriva de los continentes ya había sido postulada en 1912 por el geocientífico alemán Alfred Wegener, hasta comienzos de los años 1960 predominaba entre los geólogos la teoría verticalista:

## La evolución de la cuenca del Paraná sigue siendo uno de los problemas abiertos de la geología brasileña

la idea de que los continentes siempre estuvieron en el mismo lugar, y la estructura de las rocas, sus pliegues y sus fallas podían explicarse exclusivamente debido al hundimiento y el erguimiento de los bloques rocosos. Pero entre 1964 y 1968, salió publicada una serie de artículos científicos que exhibía las principales evidencias y planteaba por primera vez cuáles serían los mecanismos subyacentes en la teoría de la tectónica de placas.

El artículo en *Science* fue producto de una colaboración entre un equipo del Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT), liderado por el geólogo Patrick Hurley, y los investigadores de la USP

Fernando de Almeida, Geraldo Melcher, Paul Vandroos, Kawashita y Cordani. En ese trabajo, los investiga-

dores compararon las edades de varias formaciones rocosas del nordeste brasileño con formaciones similares en África Occidental, contribuyendo para demostrar que ambos continentes formaban uno solo, antes de que el nacimiento del océano Atlántico empezara a separarlos, hace poco más de 100 millones de años. “Contribuimos para un cambio de paradigma en las geociencias”, dice Cordani.

### CRONÓMETROS GEOLÓGICOS

La geocronología se basa en la medición de cantidades ínfimas de ciertos elementos químicos aprisionados dentro de los minerales en las rocas. Dichos elementos, denominados isótopos radiactivos, se transforman en otros durante el transcurso de miles de millones de años. Mediante el empleo del primer método desarrollado en el CPGeo, llamado potasio-argón, por ejemplo, los investigadores saben exactamente cuánto tiempo se demora para que una cantidad de isótopo radiactivo potasio-40 se transforme en isótopo argón 40. De este modo, la proporción entre las cantidades de potasio 40 y argón 40 funciona como una especie de cronómetro, marcando

el tiempo desde que el argón se formó y quedó aprisionado en el mineral que contiene potasio.

A tal fin, los geocronólogos emplean instrumentos denominados espectrómetros de masa, capaces de separar y medir las cantidades de distintos isótopos de elementos químicos. Dentro de los espectrómetros de masa, las muestras se calientan a altas temperaturas y liberan elementos: sus átomos pierden electrones y se ionizan. Entonces, los campos magnéticos separan esos núcleos ionizados de acuerdo con sus masas y cargas eléctricas, conduciéndolos hasta los sensores que los contabilizan.

Además del método potasio-argón, los laboratorios del centro, en la actualidad aplican casi todas las técnicas de datación de rocas que se fueron desarrollando a lo largo de los años, a medida que sus investigadores realizaban estudios en el exterior para aprenderlas o recibían a investigadores visitantes extranjeros que ayudaban a implementarlas, mediante intercambios que fueron posibles merced a las becas de la FAPESP. “En la actualidad somos uno de los centros de geo-

cronología más completos del mundo”, afirma Benjamin Bley de Brito Neves, investigador del CPGeo. “Cada método tiene sus cualidades, sus defectos y finalidades”, explica.

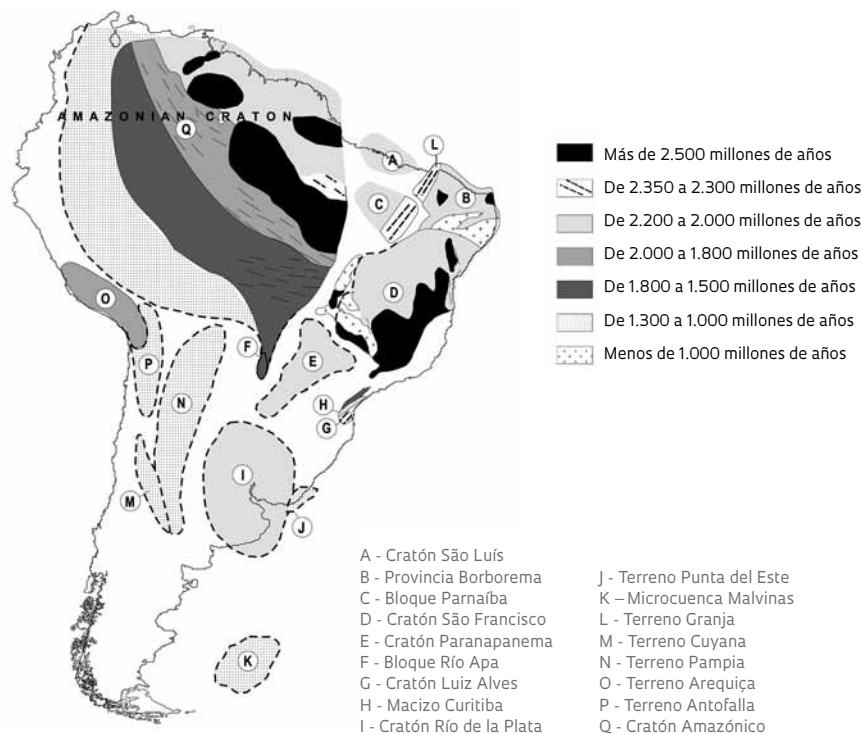
El método potasio-argón data los episodios en los cuales las rocas pasaron por cambios de temperaturas desde su formación. El método rubidio-estroncio, implementado a comienzos de los años 1970, suministra la edad de los movimientos que deformaron a las rocas. En tanto, en los años 1990, con la compra de otros equipos financiada por la FAPESP, se implementaron nuevos métodos, tales como el samario-neodimio, que determina el momento en que el magma que dio origen a las rocas subió hasta la corteza terrestre, y el método uranio-plomo, que informa acerca del tiempo en que el magma se enfrió y se cristalizó en roca. Existen muchos otros métodos (argón-argón, plomo-plomo, renio-osmio, etc.), y cada uno de ellos resulta ideal para determinar la fecha de un determinado evento geológico registrado en cierto tipo de roca.

Cordani explica que los primeros 30 años del CPGeo se dedicaron a un extensivo mapeo de las edades de las rocas de los principales bloques que forman la corteza continental de Sudamérica: los antiguos, inmensos y estables bloques de rocas conocidos como cratones, formados en su mayoría hace entre 500 y 4 mil millones de años, siendo que el más grande es el cratón amazónico, que alberga el 52% del territorio brasileño, seguido por los cratones de São Francisco y del Río de La Plata, y fragmentos continentales menores, además del reciente cinturón de la cordillera de los Andes, aún en constante crecimiento debido al embate entre la placa tectónica oceánica de Nazca y la placa continental sudamericana.

Este esfuerzo de décadas, que contó siempre con el apoyo de la FAPESP, fundamentalmente en su etapa final, mediante dos proyectos temáticos coordinados por Cordani –“La evolución tectónica de Sudamérica”, entre 1993 y 1996, y “La evolución de la corteza de Sudamérica”, entre 1996 y 2000–, culminó en la publicación del libro *Evolução Tectônica da América do Sul*, durante el 31º Congreso Geológico Internacional, realizado en la ciudad de Río de Janeiro, en el año 2000. Escrito en colaboración con decenas de investigadores de distintas universidades de Brasil y del exterior, dicho libro contiene la síntesis más completa existente hasta aquel momento, de la evolución de cada núcleo rocoso del continente, y delinea la historia que muestra cómo crecieron y se juntaron.

## Vestigios de Rodinia

Fragmentos que se esparcen por América del Sur



### UN NUEVO NIVEL

Aunque en líneas generales la historia de la formación de América del Sur ya se comprende bien, todavía hay muchos detalles importantes que deben develarse. “La geología se encarga de interpretar la información disponible en determinado momento”, explica Miguel Basei, del CPGeo, quien coordinó el más reciente proyecto temático del centro, “América del Sur en el contexto de los supercontinentes”, que se inició en 2005 y concluyó en 2011.

Gracias a la refacción y la ampliación del CP-Geo en el marco del proyecto, sus investigadores obtuvieron una cantidad récord de datos sobre la edad y la composición química de las rocas. Fueron miles de dataciones realizadas anualmente, que hicieron posible confirmar



o refutar una serie de hipótesis sobre la evolución de los bloques que se fusionaron para formar Sudamérica, como así también sus antiguas conexiones con bloques en otros continentes, especialmente en África.

“El nivel de nuestro conocimiento ha experimentado un salto”, afirma Colombo Tassinari, del CPGeo. Las nuevas perspectivas de la historia geológica salieron publicadas en capítulos de libros y en dos centenares de artículos científicos. Entre las publicaciones se destacan las ediciones especiales de 2011 del *International Journal of Earth Science* y del *Journal of South American Earth Sciences*, enteramente dedicadas a las conclusiones del proyecto.

La mayor revolución llegó con la instalación del Shrimp –sigla en inglés de Microsonda Iónica de Alta Resolución–, un tipo de espectrómetro de masa proyectado para trabajar fundamentalmente con el método de uranio-plomo con suma meticulosidad. Solamente existen 16 de estos instrumentos en actividad en el mundo, y el de la USP es el único de Latinoamérica. Fabricado por Australia Scientific Instruments, fue adquirido en 2005 con financiación de la FAPESP (un millón y medio de dólares) y de Petrobras (idéntico monto). En 2010 se inauguró un nuevo edificio al lado del IGc, construido especialmente para albergar al Shrimp y sus equipamientos periféricos.

Uno de ellos es un microscopio de catodoluminiscencia, que obtiene imágenes de cristales de circón (el mineral que contiene uranio), cuyo tamaño varía entre 30 y 300 micrones (milésimas de

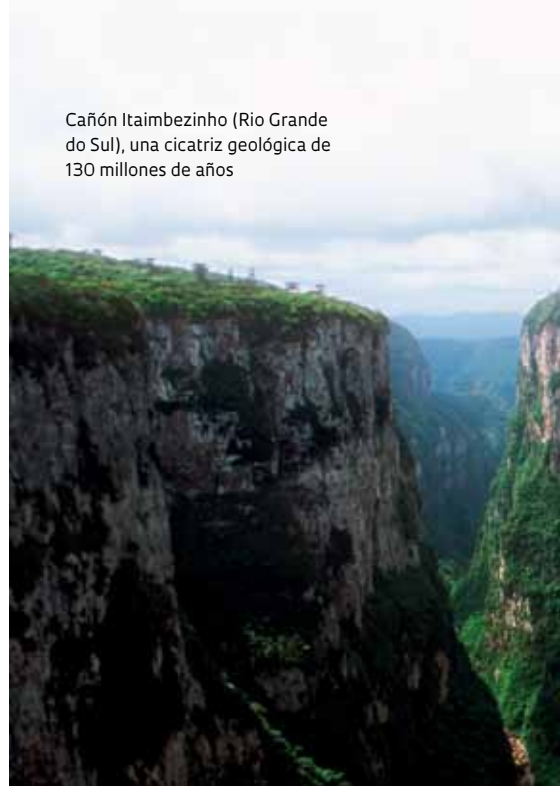
milímetro). Las imágenes revelan la estructura interna del circón, que contiene el registro de los diversos crecimientos y modificaciones por los que pasó desde su primera cristalización. Al igual que las diversas capas de una cebolla, cada capa externa de la partícula corresponde a un episodio que fundió y luego recristalizó el mineral. “Cada pizca de circón puede, a veces, contar la historia completa de una región”, explica Tassinari.

El Shrimp funciona disparando un haz de iones de oxígeno, capaz de acertarle a un punto específico seleccionado por los investigadores en el fragmento de circón, con una precisión de hasta cinco micrones. El haz libera los átomos de uranio y plomo aprisionados en ese punto de la partícula para su análisis en el espectrómetro de masa. De este modo es posible descubrir la edad de cada evento de recristalización.

El interés de Petrobras por financiar la compra de Shrimp radica en su utilidad para la búsqueda de petróleo. Por medio de las dataciones minuciosas que se hacen con el instrumento, los geólogos descubren cómo se formaron las rocas sedimentarias de una cierta región y cuáles fueron los cambios de temperatura que sufrieron a lo largo de su historia, datos importantes para determinar la posibilidad de que contengan reservas petrolíferas.

Mientras que cada análisis isotópico del Shrimp tarda alrededor de 15 minutos, los investigadores muchas veces optan por realizar esas mediciones con algo menos de precisión, pero en 50 segundos y con un costo de operación un tercio más barato, usando el Neptune, un espectró-

Cañón Itaimbezinho (Rio Grande do Sul), una cicatriz geológica de 130 millones de años



metro de masa de ablación por láser adquirido en 2009 con fondos de la Finep e instalado con apoyo de la FAPESP.

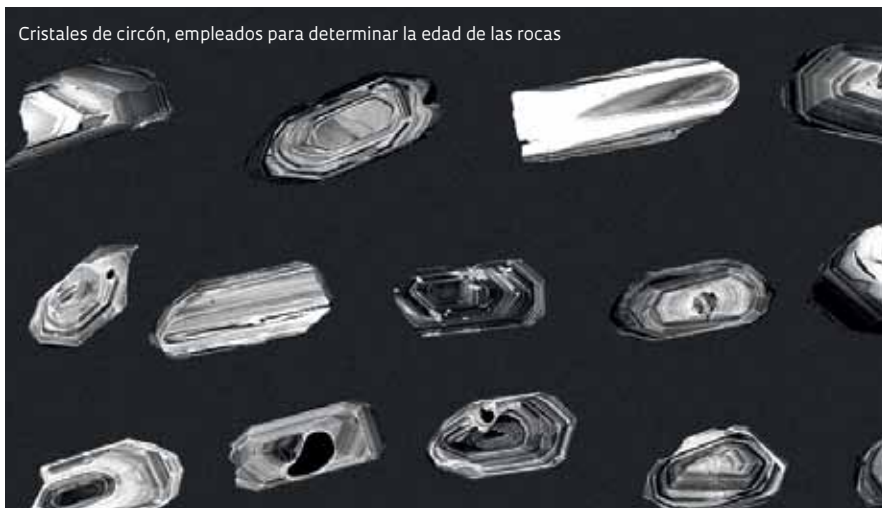
Es uno de los cuatro instrumentos de esta índole que funcionan en el país. En lugar de un haz de oxígeno, el Neptune emplea un haz de luz láser para arrancarles a los circones trozos de 20 a 30 micrones que serán analizados por el espectrómetro. Asimismo, los nueve colectores de isótopos del Neptune permiten medir la cantidad de varios elementos químicos distintos al mismo tiempo. La velocidad del Neptune les permite a los geólogos datar más de 60 circones en un día, un ritmo ideal para estudios preliminares de reconocimiento y para datar rocas sedimentarias formadas con detritos de otras rocas.

Dentro del proyecto temático, el CPGeo adquirió también un tercer espectrómetro de masa convencional, el Triton. Es un aparato más sencillo, pero de última generación, que analiza muestras de minerales disueltos al cabo un parsimonioso tratamiento químico. Con todo, el paso lento de siete análisis por día vale la pena debido a la alta precisión de la medida.

#### EL PASADO SUPERCONTINENTAL

Los científicos del CPGeo estudian todas las eras de la Tierra. Pero en el último proyecto temático sus investigaciones se concentraron en un período crítico de la historia de la corteza continental sudame-

Cristales de circón, empleados para determinar la edad de las rocas





ricana, cuando muchos de sus pedazos formaron parte de dos supercontinentes.

Al principio, hace alrededor de 4.500 millones de años, la superficie del planeta estaba cubierta por un mar de lava. “La Tierra es una bomba térmica y su enfriamiento es lo que produce las rocas”, explica Bley. Hace 4.000 millones de años, el planeta se enfrió lo suficiente como para que surgiesen las primeras masas de tierra firme (las rocas más antiguas conocidas fueron descubiertas en 2008, en la provincia de Quebec, Canadá, con 4.280 millones de años). No obstante, fue

recién hace 2.500 millones de años que las masas continentales lograron alcanzar tamaños considerables, aunque aún eran menores que los continentes actuales, separadas por enormes océanos.

“Al menos seis veces en la historia de la Tierra, esas masas continentales se reunieron en supercontinentes y luego se fragmentaron”, dice Bley. El proyecto temático se enfocó fundamentalmente en un período aproximado entre 1.300 y 500 millones de años atrás, cuando todas las masas del planeta, incluyendo terrenos que actualmente constituyen gran parte de Brasil, se amalgamaron

## Hace unos 4.500 millones de años, la superficie del planeta estaba cubierta por un mar de lava

en un supercontinente conocido como Rodinia. Bley, junto con Reinhardt Fuck, de la Universidad de Brasilia (UnB), y Carlos Schobbenhaus, del Servicio Geológico Brasileño, participaron en una colaboración internacional que publicó en 2008, en la revista *Precambrian Research*, la reconstitución más detallada que se haya hecho hasta ahora de la formación y el desmembramiento de Rodinia.

Los principales continentes formados por la fragmentación de Rodinia fueron cuatro: Báltica, Laurentia, Siberia y Gondwana. Este último incluiría a lo que hoy en día es buena parte de Sudamérica, África, la India, Australia y la Antártida. Los cuatro continentes ancestrales también se habrían fusionado una vez más, formando el famoso Pangea, hace 230 millones de años, que luego se desmembró dando origen a los continentes actuales.

La reconstitución de ese pasado remoto es algo más que una curiosidad intelectual. El descubrimiento de yacimientos minerales en una cierta región del globo puede sugerir que otras áreas actualmente distantes, pero que estaban cerca hace

millones de años, también contengan las mismas riquezas. Igualmente, la determinación precisa de la edad de las rocas ayuda en la exploración de esos minerales. Tassinari menciona como ejemplo la datación de rocas de una mina de oro de la región conocida como Cuadrilátero Ferrífero, en Minas Gerais, que revelaron tener 2.000 millones de años. Las compañías mineras ahora buscarán rocas de esa misma edad para prospectar posibles nuevos yacimientos.

Otro logro importante del proyecto fue el descubrimiento por Bley, Fuck y Elton Dantas, de la UnB, de las rocas más antiguas de América del Sur, con 3.600 millones de años, encontradas en la ciudad de Petrolina, estado de Pernambuco. Con todo, dado lo que todavía queda por explorarse en Brasil, Bley sospecha que el récord será superado en breve. “Como la Tierra es muy dinámica, esas rocas antiguas están sumamente ocultas, hay que tener suerte para encontrarlas”, afirma el geólogo. “Pero yo creo que incluso vamos a llegar a los 4.000 millones de años.” ■

### LOS PROYECTOS

1. Evolución tectónica de Sudamérica –nº 1992/ 03467-9 (1993-1995); **Modalidades** Proyecto temático; **Coordinadores** Umberto Giuseppe Cordani –IGC/ USP; **Inversión** R\$ 200.000,00 (FAPESP).

2. Evolución de la corteza de Sudamérica –nº 1995/ 04652-2 (1996-2000); **Modalidades** Proyecto temático; **Coordinadores** Umberto Giuseppe Cordani –IGC/ USP; **Inversión** R\$ 800.000,00 (FAPESP).

3. Sudamérica en el contexto de los supercontinentes –nº 2005/ 58688-1 (2006-2011); **Modalidades** Proyecto temático; **Coordinadores** Miguel Ángel Stipp Basei –IGC/ USP; **Inversión** R\$ 3.611.085,27 (FAPESP).

4. Laboratorio de geocronología con microsonda iónica de alta resolución: soporte para el desarrollo de proyectos de alta tecnología en explotación de petróleo –nº 2003/ 09695-0 (2005-2008); **Modalidades** Asociación para la Innovación Tecnológica (Pite); **Coordinadores** Colombo Celso Gaeta Tassinari –IGC/ USP; **Inversión** US\$ 1.500.000,00 (FAPESP) y US\$ 1.500.000,00 (Petrobras).

### Artículos científicos

1. AMARAL, G. *et al.* Potassium-Argon dates of basaltic rocks from Southern Brazil. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. v. 30, p. 159-89, 1966.

2. HURLEY, P. M. *et al.* Test of continental drift by means of radiometric ages. *Science*. v. 144, p. 495-500, 1967.

3. FUCK, R. A. *et al.* Rodinia descendants in South America. *Precambrian Research*. v. 160, p. 108-26, 2008.

### De nuestro archivo

...Y Sudamérica se hizo, Edición nº 188 –octubre de 2011; *Las edades de la Tierra*, Edición nº 108 –febrero de 2005; *La historia del planeta contada por las rocas*, Edición nº 30 –abril de 1998.