

Cuando Buenos Aires y Montevideo estuvieron en el polo

En nuestra vida diaria tendemos a considerar la geografía como inmutable. Sin embargo, ningún rasgo geográfico es estático. Los océanos crecen o desaparecen y los continentes se desplazan, colisionan y se fragmentan. Por ejemplo, gracias a los métodos de posicionamiento satelital, sabemos que Buenos Aires y Ciudad del Cabo están hoy un metro más alejadas entre sí que al comienzo del milenio. A lo largo del tiempo geológico la cara de nuestro planeta ha cambiado tanto que sería difícil reconocerla. Los estudios paleogeográficos, sin embargo, permiten reconstruir cómo fueron esas variaciones y, recientemente, llevaron a determinar que hace 2080 millones de años (Ma) la región donde hoy están Buenos Aires y Montevideo estuvo literalmente ubicada en el polo sur.

Alfred Wegener, paleomagnetismo y paleogeografía

Hoy podemos medir con precisión el movimiento de los continentes cada año, un movimiento que había sido inferido hacia 1912, cuando eso no se podía hacer, por el físico, meteorólogo y explorador alemán Alfred Wegener (1880-1930) en su revolucionaria teoría de la *deriva continental*. Según este, los continentes que hoy conocemos habrían estado reunidos en una única masa continental, que llamó Pangea, el continente universal. Tal teoría no fue bien acogida por la mayor parte de la comunidad de científicos de la Tierra de entonces, y la prematura muerte de Wegener hizo que quedara olvidada por casi tres décadas.

¿DE QUÉ SE TRATA?

El paleomagnetismo como una herramienta que permite reconstruir las paleogeografías.

Resucitó con la difusión de una disciplina geofísica novedosa, el paleomagnetismo, la cual estudia el campo magnético de la Tierra en tiempos pretéritos y permite determinar a qué distancia de los polos magnéticos y con qué orientación se encontraba cada continente en determinado momento del pasado geológico. Así, los estudios paleomagnéticos permiten establecer las ubicaciones geográficas de los continentes a lo largo de dicho pasado a partir de la determinación de dónde se encontraron, durante ese lapso, los polos magnéticos, a los cuales se da el nombre de polos paleomagnéticos. Los polos geográficos son dos puntos fijos en la Tierra, determinados por su eje de rotación, que se ubican a 90° del ecuador. Por otra parte, por el comportamiento del campo magnético de la Tierra, es decir, por el hecho de que esta actúa como un imán con dos polos, existen en el planeta dos polos magnéticos. Son los que nos indica la brújula, no son puntos fijos y se encuentran normalmente a alguna distancia de los polos geográficos. Sin embargo, si uno promedia la posición de estos polos magnéticos por algunos miles de años, ellos coinciden con los geográficos. Los polos paleomagnéticos, en consecuencia, representan la posición promedio de los polos magnéticos en algún lapso del pasado geológico, y por lo tanto los geográficos.

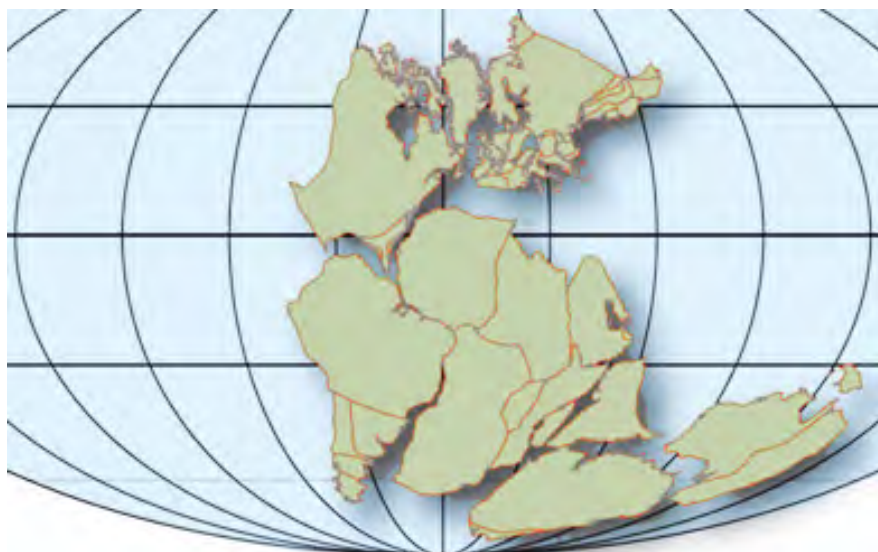
Si entre dos momentos del tiempo geológico un continente no se desplazó, la ubicación de los polos paleomagnéticos deducida por el estudio paleomagnético de sus rocas no variará. Si, en cambio, el continente se desplazó en ese lapso, sus polos paleomagnéticos diferirán, permitiendo inferir cómo fue ese desplazamiento. Los polos paleomagnéticos de igual edad de dos continentes deben coincidir pero, si no lo hacen, significa que un continente se movió con respecto al otro. Cuánto y cómo se desplazó un continente en determinado lapso se puede descubrir comparando la posición de sucesivos polos paleomagnéticos, los que definen una curva de deriva polar aparente. (Se dice 'aparente' dado que, cuando se representan los diferentes polos paleomagnéticos, parecería que el polo geográfico se desplazó, cuando en realidad lo hizo el continente.) Como todo cálculo estadístico, la posición determinada para cada polo paleomagnético lleva asociada cierta incerteza que se suele graficar como un círculo: cuanto mayor el círculo, más incierta la posición del polo.

Cuando se realizaron los primeros cálculos estimativos de las posiciones de polos paleomagnéticos, a finales de la década de 1950, se comprobó que todos los continentes, efectivamente, habían estado unidos en uno hace aproximadamente 250Ma, a principios de

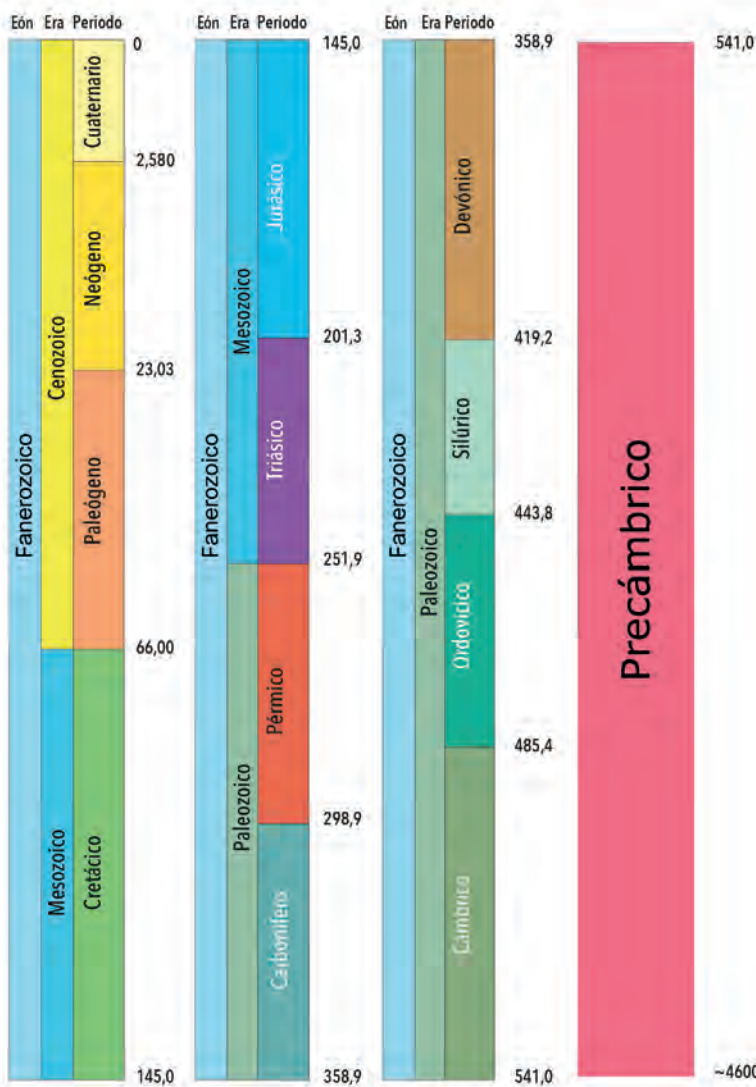
la era geológica mesozoica o el Mesozoico (252-66Ma). Se constató así empíricamente la existencia de Pangea, el continente universal previsto por la teoría wegeneriana. Pocos años más tarde, el estudio del magnetismo del fondo de los océanos y el de la propagación de las ondas sísmicas en el interior de la Tierra permitió incorporar la deriva continental a una teoría más completa, la tectónica de placas. En el último medio siglo, las investigaciones paleogeográficas han permitido reconstruir con precisión la ruptura de Pangea y la formación de los continentes y océanos actuales, y convertido a Wegener en el fundador sin proponérselo de la paleogeografía.

Reconstrucción de la geografía global de hace millones de años

Se tiene evidencia de que Pangea duró alrededor de 100 millones de años, pues se formó en el Pérmico y comenzó a disgregarse a fines del Triásico. Durante el Paleozoico, coexistieron dos grandes continentes o supercontinentes, llamados respectivamente Gondwana y Laurasia, que al unirse dieron nacimiento a Pangea. Ambos aparecieron a principios de la era paleozoica (hace unos 540 millones de años) por el amalgamamiento de continentes más pequeños, los que a su vez habían estado unidos en otro supercontinente, llamado Rodinia, hace unos mil millones de años.



Interpretación de cómo pudo haber sido Pangea, el continente universal cuya existencia predijo Alfred Wegener hacia 1912 cuando formuló su teoría de la deriva continental. Según este, los continentes que hoy conocemos habrían estado reunidos en el pasado en una única masa continental, a la que dio ese nombre. Los estudios paleomagnéticos confirmaron hacia finales de la década de 1950 que, efectivamente, todos los continentes estuvieron unidos en uno hace aproximadamente 250Ma. Hoy se piensa que Pangea existió por unos 100Ma, al cabo de los cuales se disgregó. Las líneas horizontales del esquema representan el ecuador (centro) y los paralelos de 30° norte y sur. Adviértase que la masa continental estaba francamente volcada al hemisferio sur.



Las reconstrucciones paleogeográficas, como se llama a los modelos sobre la geografía de nuestro planeta en el pasado geológico, no solo se basan en la técnica del paleomagnetismo. Los fondos de los océanos han podido ser datados con precisión gracias a que guardan memoria de los cambios de polaridad del campo magnético terrestre, lo que permite reconstruir las cuencas oceánicas con exactitud, aunque solo para los últimos 180 millones de años. Por su parte, algunas rocas sedimentarias portan evidencias de los ambientes en que se formaron. Es decir, se puede inferir si se depositaron en climas fríos, como por ejemplo los depósitos de glaciares, o en climas cálidos, como con los arrecifes o depósitos salinos. Además, el registro de los organismos fósiles ayuda a ajustar las reconstrucciones paleogeográficas. Muchos organismos no tienen capacidad de cruzar los océanos, pues solo pueden vivir en plataformas marinas de escasa profundidad. Encontrar las mismas especies de organismos fósiles en continentes hoy muy alejados indica que no lo estaban cuando vivieron esos animales. Algo similar puede hacerse con muchas plantas fósiles. Con todas

Divisiones del tiempo geológico: eras y períodos que conforman el eón Fanerozoico (primeras tres barras), el lapso de la historia geológica posterior al Precámbrico (barra de la derecha). El texto menciona los siguientes paleocontinentes: Atlántica (2100-2000Ma), Rodinia (1300-700Ma), Gondwana (550-320Ma) y Pangea (320-200Ma). Versión simplificada de la Tabla Cronoestratigráfica Internacional 2020 publicada por la Comisión Internacional de Estratigrafía de la Unión Internacional de Ciencias Geológicas. La tabla completa puede consultarse en www.stratigraphy.org/chart. Los valores están en millones de años; las barras no están dibujadas en escala.

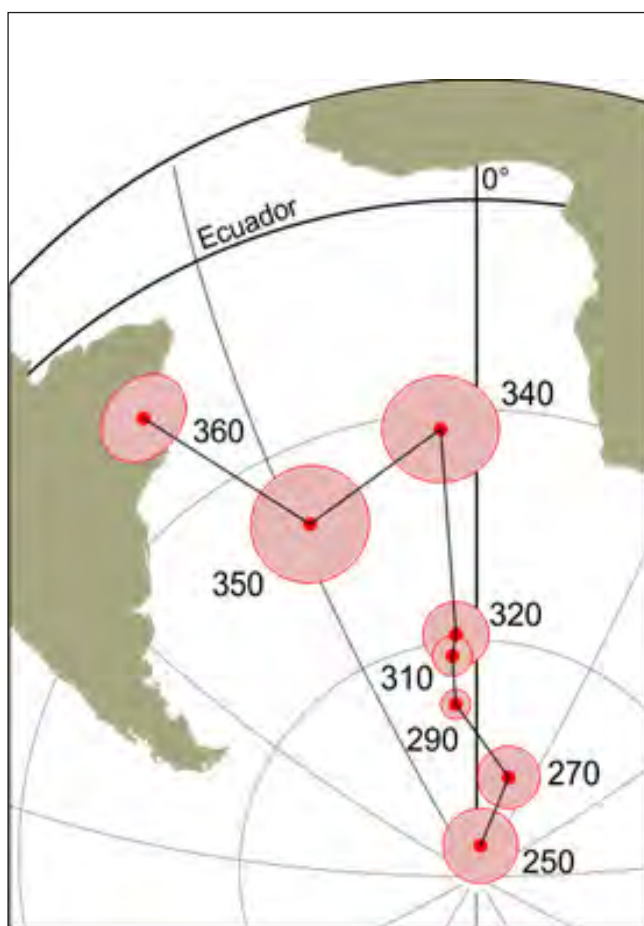
PALEOMAGNETISMO

Unos pocos minerales poseen la propiedad de registrar la dirección y la intensidad del campo magnético terrestre cuando cristalizan o se enfrían por debajo de una temperatura crítica llamada temperatura de Curie. La magnetita, un óxido de hierro, es el más común de ellos; su temperatura de Curie es 578 °C. En ciertas condiciones de tamaño y forma de los cristales ese registro puede permanecer en la roca por miles de millones de años como una magnetización remanente. El descubrimiento de las leyes que gobiernan estos procesos le valió en 1970 el premio Nobel de física al francés Louis Néel (1904-2000).

Dicha magnetización remanente permite establecer la dirección del campo magnético terrestre en el pasado geológico. Por otro lado, este tiene la propiedad singular de que el promedio de las posiciones de los polos magnéticos a lo largo de algunas decenas de miles de años resulta coincidente con las de los polos geográficos. Por ende, si mediante el paleomagnetismo establecemos en un continente la dirección promedio del campo magnético terrestre por un lapso de

diez mil o más años del tiempo geológico, conoceremos la posición del continente con respecto al polo geográfico. Con esa información, se puede calcular la posición del polo paleomagnético y determinar la posición del continente en el globo terráqueo en la época en que se formó la roca estudiada.

Para llevar a cabo estos estudios se deben coleccionar (con frecuencia recurriendo a una perforadora portátil) centenares de muestras orientadas con precisión y llevarlas a laboratorios específicos para su estudio. Es un trabajo no exento de dificultades metodológicas, ya que durante el pasado geológico las rocas pudieron adquirir nuevas magnetizaciones o perder parcial o totalmente la original. Los análisis se llevan a cabo en laboratorios de paleomagnetismo como el del IGEBA, que lleva el nombre de Daniel Valencio, en los que se dispone de instrumental específico operado por científicos y técnicos especializados.



Sucesivas posiciones del polo paleomagnético entre hace 360 y 250 Ma según las mediciones realizadas en rocas sudamericanas, que revelaron un desplazamiento importante de Gondwana, el bloque continental del que formaba parte lo que hoy es Sudamérica. El gráfico indica que la porción de Sudamérica que formó parte de Gondwana fue cambiando su posición con el tiempo. El tamaño de los círculos rosados es inversamente proporcional a la certeza de las mediciones paleomagnéticas. Los valores están en Ma.

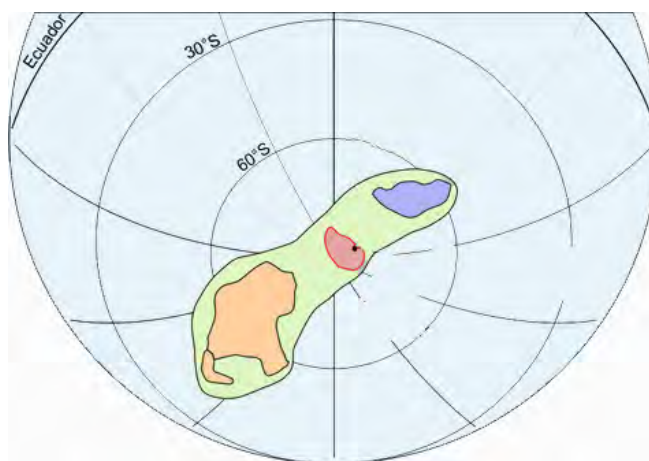
estas líneas independientes de evidencia, los paleogeógrafos logran arribar a modelos bastante confiables, particularmente para los últimos 200 millones de años, y algo menos confiables para los últimos 540 millones de años. Pero ello solo significa que conocemos con razonable certeza no más del último 12% de la historia geográfica de la Tierra.

El difícil estudio del pasado remoto

El Precámbrico abarca el 88% de la historia geológica y es un lapso para el cual resultan difíciles las reconstrucciones paleogeográficas. La mayoría de las herramientas que se utilizan para tiempos más recientes son inaplicables o arrojan resultados muy inciertos. Así, el registro fósil de entonces es extremadamente pobre y

hace un aporte prácticamente nulo. Los indicadores del paleoclima son de interpretación dudosa, pues los modelos climáticos actuales probablemente no sean aplicables al Precámbrico. Además, la propia actividad geológica hace que cuanto más antiguas sean las rocas, mayor sea la probabilidad de que hayan perdido sus caracteres originales. Para colmo, los continentes actuales no existían entonces. Hoy los continentes están integrados por bloques de corteza muy antigua, llamados *cratones*. En el Precámbrico, en distintos lapsos cada cratón pudo haber sido un continente independiente o haber estado anexado a otros. Además, cada cratón pudo desplazarse a muy diferentes posiciones en el globo. La enorme duración del Precámbrico y las menores evidencias que disponemos de él hacen extremadamente arduo reconstruir su historia paleogeográfica. Para intentarlo, es habitual valerse de determinar con la mayor precisión posible la edad de las rocas, inferir cómo se formaron y definir sus posiciones en el globo mediante análisis paleomagnéticos.

América del Sur está hoy constituida por varios cratones precámbricos. Los más importantes son los de Amazonia, San Francisco y el Río de la Plata. El último abarca buena parte de la llanura pampeana, la mayor porción del Uruguay y un sector del sur del Brasil. Los afloramientos de rocas antiguas –desafortunadamente para la reconstrucción de la paleogeografía– ocurren en sectores pequeños del cratón rioplatense, como el sistema de Tandilia (compuesto por las sierras de Olavarría, Tandil



Reconstrucción paleogeográfica de las posiciones que ocupaban hace 2080 Ma algunos de los principales bloques de la antigua corteza terrestre, llamados cratones, que hoy son parte de Sudamérica. En el centro, en rosado, el cratón del Río de la Plata con Buenos Aires y Montevideo indicadas por el punto negro; en violáceo, el cratón Amazonia y en anaranjado el San Francisco, hoy en el noreste del Brasil unido entonces con el cratón africano del Congo. El área verde interpreta el posible continente Atlántica. Se advierte que hace unos 2080 Ma la región ocupada por ambas capitales rioplatenses estaba en las inmediaciones del polo sur.

y Balcarce), la isla Martín García y el suroeste de Uruguay. Prácticamente todo el resto está cubierto por miles de metros de sedimentos de la llanura chaco-pampeana.

Desde hace dos décadas, investigadores de la UBA y de la montevideana Universidad de la República venimos trabajando en develar la historia paleogeográfica del cratón rioplatense. En tiempos más recientes se sumaron al grupo colegas de las universidades Nacional de La Plata y de São Paulo. La herramienta principal, aunque no única, con la que encaramos la tarea es el paleomagnetismo, que podemos determinar y medir en el laboratorio Daniel Valencio del IGEBA.

Nuestra colaboración comenzó con el estudio de rocas de fines del Precámbrico, pero en la última década comenzamos a poner nuestra atención en rocas mucho más antiguas de nuestro cratón, aquellas de entre 2000 y 2100Ma, que no se habían estudiado antes para fines paleogeográficos. Las rocas de esas edades que resultan

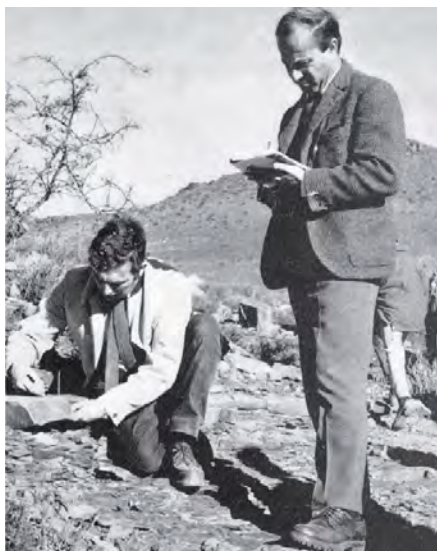
mejores para tales estudios afloran en el sur y el oeste del Uruguay. Se trata de rocas graníticas y similares que corresponden a decenas de pequeños cuerpos rocosos formados por magma enfriado y cristalizado en profundidad, llamados plutones. Midiendo en el mineral circón (silicato de zirconio, $ZrSiO_4$) de esas rocas la desintegración radiactiva del uranio, que genera plomo, pudimos establecer con alta precisión la edad de varios de esos plutones, los cuales, según todas las mediciones, se formaron hace entre 2050 y 2110Ma.

Estudiamos la memoria magnética de cerca de 600 muestras de 18 granitos diferentes y pudimos establecer la dirección del campo magnético de hace más de 2000 millones de años para nueve de ellos. Gran parte de los resultados que comentamos formaron parte de la tesis doctoral de uno de los autores y fueron publicados recientemente en la revista *Precambrian Research*. Con ellos hemos podido reconstruir la posición del cratón del Río

DANIEL VALENCIO Y LOS PASOS INICIALES DEL PALEOMAGNETISMO IBEROAMERICANO

Como disciplina científica, el paleomagnetismo data de la década de 1950. En 1962, Daniel Alberto Valencio (1928-1987), que con el tiempo alcanzó la posición de investigador superior del Conicet, obtuvo por concurso el cargo de profesor de geofísica en la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la UBA. Se puede considerar que ese nombramiento marcó el inicio de los estudios paleomagnéticos en la Argentina. En 1964, con la colaboración de su alumno y hoy profesor emérito de la misma universidad Juan Francisco Vilas, Valencio fundó el primer laboratorio de paleomagnetismo de Iberoamérica, desde el cual se difundió la disciplina a otros países. Su acción

promovió los conceptos de la naciente teoría de tectónica de placas en la comunidad geológica argentina y estableció una importante red internacional de colaboraciones que, entre otros resultados, significó la creación de laboratorios similares en México y el Brasil. Las primeras curvas de deriva polar aparente de Sudamérica fueron calculadas por Valencio y su equipo en la década de 1960. Su libro *El paleomagnetismo de las rocas*, publicado en 1980, se convirtió en texto de referencia del mundo hispanohablante. Su laboratorio, hoy parte del IGEBA, se mantiene activo a más de cincuenta años de su creación y lleva el nombre de su fundador.



Izquierda. Alfred Wegener en una expedición a Groenlandia realizada en 1912-1913. Alfred Wegener Institut, Bremerhaven.

Derecha. Daniel Valencio (de pie) y el geofísico británico Kenneth Creer –uno de los pioneros del paleomagnetismo mundial, que entre 1973 y 1993 dirigió el Departamento de Geofísica de la Universidad de Edimburgo– recolectan muestras en Sudáfrica en 1970.

de la Plata en dicho lapso y construir su curva de deriva polar aparente.

¿Un continente llamado Atlántica?

A mediados de la década de 1990, el geólogo estadounidense John JW Rogers (1930-2015) sugirió que hace unos 2000Ma existió un continente formado por los tres principales cratones de América del Sur y los cratones africanos del Congo y África Occidental. Su hipótesis se basó en la similitud de las rocas de 2000 a 2200Ma de los cinco cratones, la que podría explicarse si en ese tiempo tales bloques se hubiesen encontrado próximos y formado un único continente. Nuestro grupo comparó los polos paleomagnéticos de similar edad de dichos cratones para comprobar la validez de la hipótesis de Rogers. Sacamos una conclusión negativa que abre la siguiente disyuntiva: o el continente no existió, o tuvo una configuración muy diferente. No podemos aún dar una respuesta definitiva a esta pregunta, pero hemos encontrado que una configuración muy distinta de Atlántica podría explicar los resultados de nuestra comprobación. En otras palabras, Atlántica pudo haber existido, pero con los cratones agrupados de otra manera.

En síntesis, con la información paleomagnética de que disponemos podemos considerar probable que hace unos 2080Ma el cratón del Río de la Plata formara parte de un continente mayor, Atlántica, y se hubiera desplazado a muy altas latitudes. En ese entonces habría estado literalmente ubicado en el polo. Es decir, la porción de la superficie de la Tierra sobre la que hoy están asentadas las capitales de la Argentina y el Uruguay estaba en ese remoto pasado en el polo sur geográfico. **CH**



Los principales cratones de América del Sur: Amazonia, al norte; San Francisco, en el centro, y Río de la Plata, al sur.

LECTURAS SUGERIDAS

BUTLER RF, 1992, *Paleomagnetism: Magnetic domains to geologic terranes*, Blackwell.

Edición digital, 2004, accesible en websites.pmc.ucsc.edu/~njarboe/pmagsource/

[ButlerPaleomagnetismBook.pdf](#)

ROGERS J J & SANTOSH M, 2004, *Continents and supercontinents*, Oxford University Press.

VALENCIO DA, 1980, *El magnetismo de las rocas*, Eudeba, Buenos Aires.



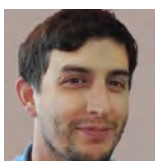
Augusto Rapalini

Doctor en ciencias geológicas, UBA.

Investigador principal en el IGEB, UBA-Conicet.

Profesor titular, UBA.

augrap@yahoo.com.ar



Pablo Franceschinis

Doctor en ciencias geológicas, UBA.

Becrio posdoctoral en el IGEB, UBA-Conicet.

Auxiliar docente, Facultad de Ingeniería, UBA.

pfrances@gl.fcen.uba.ar



Leda Sánchez Bettucci

Doctora en ciencias geológicas, UBA.

Profesora asociada, Instituto de Ciencias Geológicas, Universidad de la República, Montevideo.