

# Memorias magnéticas de las misiones jesuíticas

En ruinas situadas en el sur de Brasil, geofísicos recuperan información acerca de cómo era el campo magnético terrestre hace 350 años

PUBLICADA EN JUNIO DE 2016

**E**l piso de arcilla cocida de las ruinas de las Misiones Orientales, o los *Sete povos das Missões*, en portugués, en el noroeste de Rio Grande do Sul, preserva algo más que la memoria del traumático proceso de catequización de los indios guaraníes que llevaron a cabo los curas jesuitas, que terminó en una guerra sangrienta y en la expulsión de la orden religiosa y de sus seguidores de aquella región a mediados del siglo XVIII. Ese material guarda también un valioso registro para entender de qué manera varía el campo magnético natural de la Tierra en el transcurso de los siglos.

Al analizar fragmentos de pisos de tres misiones jesuíticas, los geofísicos Wilbor Poletti, Gelvan Hartmann y Ricardo Trindade, todos de la Universidad de São Paulo (USP), descubrieron cuál era la intensidad del campo magnético terrestre en el sur de Brasil durante la segunda mitad del siglo XVII. “Son los primeros datos correspondientes a la región sur del país de aquella época”, dice Wilbor Poletti, uno de los autores

del estudio. “En trabajos anteriores, se habían analizado únicamente muestras de las regiones nordeste y sudeste.”

Al combinar los datos de este estudio con los de los anteriores, el equipo de Trindade arribó a la conclusión de que en el siglo XVII la intensidad del campo magnético del sur de Brasil era significativamente menor que en el norte. Esta conclusión indica que un importante fenómeno magnético en actividad en el planeta, la Anomalía Magnética del Atlántico Sur (Amas), empezó a influir sobre la intensidad del campo magnético en el continente sudamericano alrededor de 200 años antes de lo que se suponía. “A diferencia de lo que los modelos actuales sugieren, la anomalía ya se hacía presente en el continente entre 1650 y 1700”, dice Trindade. “Necesitamos mejorar los modelos incorporando esos datos.”

De acuerdo con la teoría más aceptada entre los geofísicos, el campo magnético de la Tierra se genera debido al movimiento de la capa de hierro líquido que envuelve al núcleo sólido de hierro del planeta. Como el núcleo de la Tierra gira

más rápido que la superficie, surgen corrientes en ese océano de hierro líquido que producen un campo con dos polos magnéticos opuestos, cada uno de ellos más o menos cercano a los polos geográficos Norte y Sur de la Tierra. Aunque el campo en la superficie del planeta es alrededor de mil veces más débil que el de un imán de heladera, su intensidad es la suficiente como para que la detecten las brújulas que ayudan a los navegantes y exploradores a orientarse por el globo. Más arriba, en la cima de la atmósfera, ese campo magnético, más débil aún,





La Misión de San Miguel, fundada en 1632 en Rio Grande do Sul: pistas de la intensidad del campo magnético en el siglo XVII

actúa como un escudo antipartículas y desvía hacia los polos magnéticos de la Tierra gran parte de las partículas cargadas eléctricamente que llegarían a la superficie del planeta.

El campo magnético terrestre tiene a su vez otras peculiaridades además de los dos polos. Algunas regiones del globo poseen un campo magnético más débil –y otras, más fuerte– de lo que sería de esperarse en caso de que el campo fuese un dipolo perfecto. La mayor y más intensa de esas imperfecciones es precisamente la Amas.

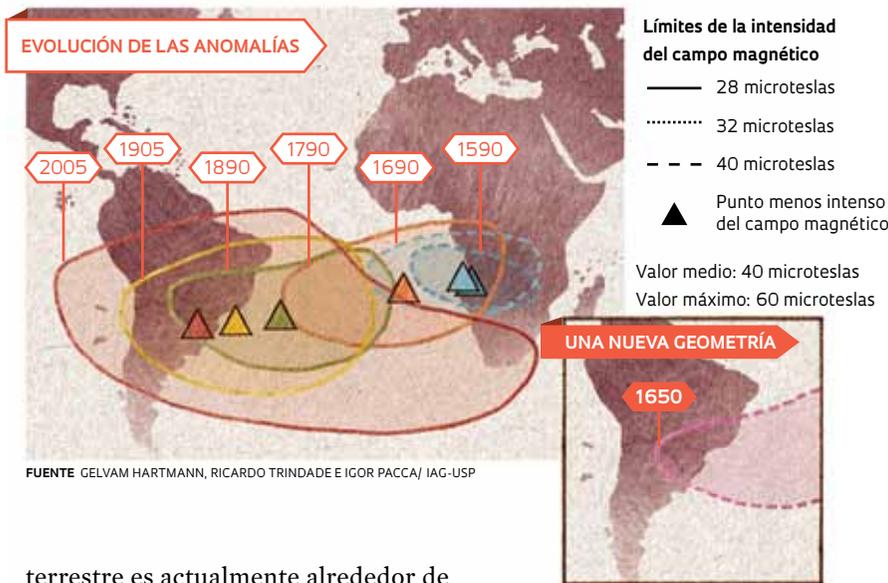
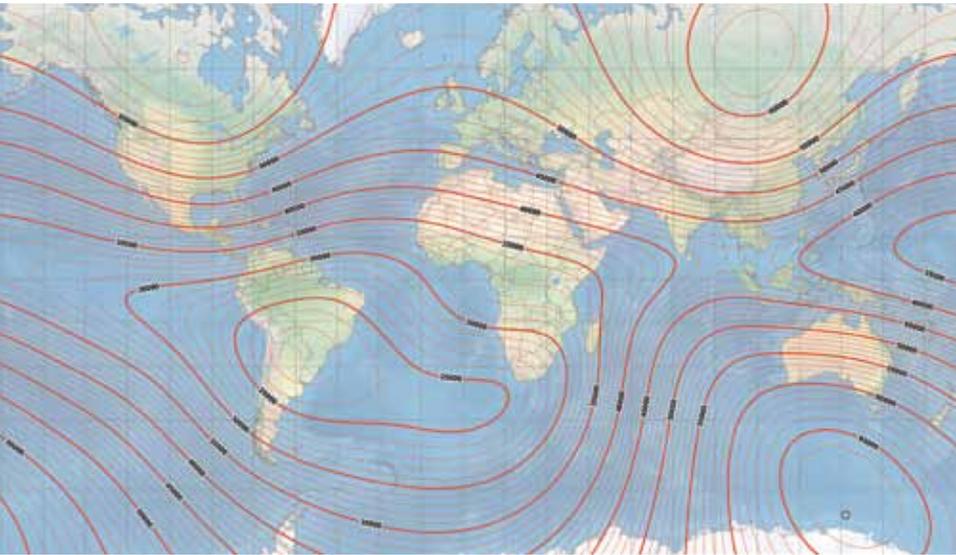
La intensidad media del campo terrestre es de 40 microteslas, en tanto que su valor medio es de tan sólo 28 microteslas en la zona cubierta por la Amas, que ocupa buena parte de la franja austral del océano Atlántico, aparte de una vasta área del centro y del sur de América del Sur. En el centro de esta anomalía, actualmente situado en Paraguay, el campo baja a 22 microteslas. Esa menor intensidad afecta el funcionamiento de satélites de comunicaciones e incluso las observaciones de telescopios espaciales. El telescopio Hubble, de la agencia espa-

cial estadounidense, la Nasa, no funciona cuando pasa sobre la Amas.

Para los geofísicos, el estudio minucioso de anomalías magnéticas como ésta puede ayudar a entender mejor de qué modo las variaciones en el movimiento del hierro líquido del interior del planeta alteran el campo terrestre en el transcurso del tiempo. “La Amas es muy debatida porque puede ser la causa de la disminución general en la intensidad de todo el campo magnético de la Tierra que viene registrándose durante los últimos siglos”, explica Poletti. “El campo

# El campo magnético de la Tierra

El mapa actual de la intensidad, medida en nanoteslas, muestra la extensión de la Anomalía Magnética del Atlántico Sur



terrestre es actualmente alrededor de un 10% menos intenso de lo que lo era cuando empezó a medirlo con precisión Carl Friedrich Gauss, en 1839.”

La Amas también ocupó un área menor y estuvo en otro lugar. En 2009, Hartmann e Igor Pacca, profesor emérito de la USP, pionero de los estudios en geomagnetismo en Brasil, utilizaron modelos basados en registros magnéticos históricos del campo terrestre para reconstituir su evolución desde el año 1590. De acuerdo con el resultado que obtuvieron, a finales del siglo XVI, la anomalía cubría tan sólo una pequeña fracción del sur de África y del Atlántico. Desde ese entonces ha venido expandiéndose y desplazándose hacia el oeste.

También de acuerdo con esa reconstitución, la misma sólo habría empezado a influir sobre el campo brasileño durante las primeras décadas del siglo XIX.

En 2011, Hartmann y Trindade publicaron nuevos datos que indican que la Amas se habría desplazado y expandido más rápido de lo que el modelo anterior sugería. Trabajando con arqueólogos brasileños y con científicos del Instituto de la Física del Globo de París (IPGP), en Francia, los

geofísicos de la USP reconstituyeron la historia del campo magnético sobre Brasil desde el siglo XVI al analizar fragmentos de ladrillos de construcciones antiguas de Bahía, São Paulo, Río de Janeiro y Espírito Santo. Los datos de Rio Grande do Sul, recabados ahora por Poletti, Hartmann y Trindade, dotan de mayor asidero a las conclusiones anteriores.

El grupo verificó que el campo terrestre tenía casi la misma intensidad en todo Brasil antes de 1600. Sin embargo, entre los siglos XVII y XVIII disminuyó ligeramente en las regiones sur y sudeste, probablemente debido a que la Amas ya estaría cubriendo esas partes del país. El campo de todas las regiones brasileñas habría vuelto a presentar más o menos la misma intensidad recién a partir del siglo XIX, cuando, presuntamente, la mayor parte del país ya estaría bajo la Amas.

## LAS MISIONES ORIENTALES

Fue Pacca quien, al cabo de un viaje de placer por la zona de las Misiones Orientales, les sugirió a Trindade, Hartmann y Poletti que contactasen en el Instituto del Patrimonio Histórico y Artístico Nacional (Iphan) a los responsables de esas construcciones históricas. Pacca se dio cuenta de que las ruinas de las misiones contaban con la edad y la ubicación ideales como para ocupar una laguna importante en los datos sobre la Amas.

Las misiones fueron grandes poblados construidos por los indios guaraníes catequizados por los sacerdotes de la Compañía de Jesús. El auge de las mismas se dio entre los siglos XVII y XVIII, cuando los jesuitas, patrocinados por las coronas portuguesa y española, mantenían 30 misiones en la Reduções Jesuíticas Guaraníes, una región que actualmente se encuentra en las fronteras entre Brasil, Argentina y Paraguay. Cada misión estaba gobernada por dos curas y allí vivían entre cinco y seis mil indios. “Los sacerdotes conducían a la población con una disciplina religiosa y con la ayuda de los caciques”, dice Raquel Rech, arqueóloga del Iphan, quien colaboró con el equipo de Trindade.

La orden religiosa ya había perdido su influencia ante las coronas ibéricas cuando España y Portugal suscribieron el Tratado de Madrid de 1750, que redefinía las fronteras entre sus colonias sudamericanas. Las siete misiones situadas en el actual territorio brasileño fueron aban-

donadas y destruidas durante la Guerra Guaranítica, de 1754 a 1756. En cuatro de ellas algunas construcciones permanecen de pie: San Miguel, San Lorenzo, San Juan Bautista y San Nicolás. De las misiones de Santo Ángel, San Luis Gonzaga y San Borja, sólo quedan ruinas en el subsuelo de ciudades modernas: parte del material fue recuperado mediante excavaciones arqueológicas.

Todas las misiones tenían el mismo plano arquitectónico, con una gran plaza central de tierra donde se realizaban las actividades diarias de la comunidad. En uno de los costados de la plaza estaba el complejo principal de edificaciones, con una iglesia en el centro, el cementerio de un lado y el patio del colegio y el del taller de los indios del otro. Las paredes de esas construcciones estaban hechas de bloques de rocas tallados y asentados por los indios, un material inútil para el estudio del campo magnético de la época de la construcción de las misiones. Sin embargo, la casa de los curas poseía un patio interno con un piso cubierto de ladrillos, placas elaboradas con arcilla quemada en hornos a temperaturas de alrededor de 1.000 grados Celsius. Poletti explica que a temperaturas superiores a los 580 grados, los momentos magnéticos del mineral magnetita, presente en la arcilla, se alinean con el del campo magnético terrestre. El grado de alineamiento depende de la intensidad del campo magnético en el lugar donde se quema la arcilla. Con el enfriamiento del material, los momentos magnéticos se estabilizan y preservan la intensidad del campo magnético terrestre de aquel momento.

Rech y la historiadora Nadir Damiani, de la Universidad Regional Integrada del Alto Uruguay y de las Misiones, ayudaron a los geofísicos de la USP a recolectar el material que necesitaban. El equipo seleccionó fragmentos de ladrillos de las misiones de San Luis Gonzaga, San Juan Bautista y Santo Ángel, construidas entre 1657 y 1706. También se obtuvieron fragmentos de tejas de arcilla cocida de la misión de Santo Ángel.

Esas mediciones representan una nueva fase de la investigación en arqueomagnetismo en Brasil. En 2011, Hartmann obtuvo los primeros registros arqueomagnéticos del país al estudiar el material de construcciones históricas de São Paulo, Río de Janeiro, Espírito Santo y Bahía. En ese momen-



Ruinas de la misión La Santísima Trinidad de Paraná, en Paraguay: patio calzado con ladrillos

## Ladrillos y tejas de arcilla mantienen el registro del campo magnético del momento en que fueron cocidos

to, sólo una pequeña parte del material se analizó en la USP. La mayor parte de los datos se obtuvieron en el IPGP de París. Más recientemente, Poletti empleó un mismo conjunto de muestras para comparar análisis realizados en el IPGP y en la Universidad de Liverpool, en Inglaterra, y calibrar los instrumentos de la USP para realizar mediciones más confiables. “Ahora podemos hacer los análisis íntegramente en nuestro laboratorio”, dice Trindade.

Poletti también realizó una revisión detallada del banco de datos de las mediciones arqueomagnéticas ya realizadas en América del Sur y arribó a la conclusión de que muchos de los datos del continente se obtuvieron sin tener en cuenta fenómenos físicos que, tal como se sabe actualmente, pueden distorsionar las mediciones. Según los criterios actuales, casi todas las mediciones de intensidad del campo magnético terrestre obtenidas con base en cerámicas precolombinas deberían rehacerse. “Hemos puesto en marcha recientemente una colaboración con los arqueólogos Eduardo Góes Neves y Marisa Afonso, de la USP, para obtener muestras de cerámicas indígenas de la Amazonia”, comenta Poletti. “Pretendemos profundizar en el tiempo nuestras mediciones y completar las lagunas que existen en los datos de los últimos tres mil años.” ■ Igor Zolnerkevich

### Proyectos

1. Análisis del campo geomagnético histórico de América del Sur (nº 2013/ 16382-0); **Modalidad** Beca en Brasil – Doctorado directo; **Beneficiario** Wilbor Poletti Silva; **Investigador responsable** Ricardo Ivan Ferreira da Trindade (IAG-USP); **Inversión** R\$ 102.005,40.
2. Evolución del campo magnético terrestre en América del Sur para los últimos 500 años (nº 2010/ 10754-4); **Modalidad** Beca en Brasil – Posdoctorado; **Beneficiario** Gelvan André Hartmann; **Inversión** R\$ 228.027,05.

### Artículo científico

POLETTI, W. *et al.* Archeomagnetism of Jesuit Missions in South Brazil (1657-1706 AD) and assessment of the South American database. **Earth and Planetary Science Letters**. v. 445, p. 36-47. 2016.