

# Datación de la evolución volcánica combinando datos paleomagnéticos y modelización geomagnética: Isla Decepción (Islas Shetland del Sur, Antártida)

## *Dating the volcanic evolution combining paleomagnetic data and geomagnetic modeling: Deception Island (South Shetland Islands, Antarctica)*

B. Oliva Urcia<sup>1</sup>, I. Gil Peña<sup>2</sup>, A. Maestro<sup>1,2</sup>, J. López-Martínez<sup>1</sup>, J. Galindo Zaldívar<sup>3,4</sup>, R. Soto<sup>5</sup>, A. Gil Imaz<sup>6</sup>, J. Rey<sup>7</sup> y O. Pueyo<sup>6</sup>

1 Dpto. de Geología y Geoquímica, Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Madrid, 28049 Madrid. belen.oliva@uam.es

2 Instituto Geológico y Minero de España, 28003 Madrid

3 Dpto. de Geodinámica, Universidad de Granada, 18071 Granada

4 Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra, 18071 Granada

5 Instituto geológico y Minero de España, Unidad de Zaragoza, 50006 Zaragoza

6 Área de Geodinámica Interna, Dpto. Ciencias de la Tierra, Universidad de Zaragoza, 50009 Zaragoza

7 ESGEMAR, Puerto de Málaga, local PP/L1-05, 29001 Málaga

**Resumen:** La combinación de 20 nuevas estaciones de paleomagnetismo, con 17 estaciones previas y un modelo geomagnético ha permitido establecer la evolución multiepisódica del edificio volcánico cuaternario de la Isla Decepción (Antártida). Se han analizado tres estaciones en brechas volcánicas y dos estaciones en lavas pertenecientes a los materiales extruidos con anterioridad al colapso de la caldera. Entre los materiales extruidos posteriormente al colapso de la caldera se han analizado 10 estaciones en lavas y cinco estaciones en diques que cortan a los materiales pre- y la base de los post-colapso de caldera. A pesar de la incertidumbre por el uso de promedios de datos paleomagnéticos, la correlación con el modelo geomagnético y la existencia de tefras a escala regional permiten establecer que las unidades pre-colapso de caldera (F1 y F2) son anteriores a 12.000 a AC, mientras que la caldera colapsó en torno a los 8300 a AC y las unidades posteriores al colapso de la caldera (S1 y S2) han extruido con posterioridad a 2000 a AC.

**Palabras clave:** paleomagnetismo, modelo geomagnético, datación, tefras.

**Abstract:** The combination of 20 new paleomagnetic sites with 17 previous sites and a geomagnetic model has allowed establishing the multi-episodic evolution of the Quaternary volcanic edifice of Deception Island (Antarctica). Paleomagnetic analyses have been carried out in three sites from volcanic breccia and two sites from lavas of the pre-caldera collapse units. Among the post-caldera collapse units, 10 sites in lavas have been analyzed in addition to 5 sites in dikes that intrude pre- and the lower part of the post-caldera collapse units. Despite the uncertainty of using averages of paleomagnetic data, the correlation with the geomagnetic model and tephra layers occurrences allow establishing that the pre-caldera collapse (F1 and F2) are older than 12,000 yr BC, while the caldera collapse occurred at about 8300 yr BC and the post-caldera collapse units (S1 and S2) deposited after 2000 yr BC.

**Key words:** paleomagnetism, geomagnetic model, dating, tephras.

## INTRODUCCIÓN

Los métodos más comunes para datar rocas volcánicas son los radiométricos: K/Ar, <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar, Pb/U o <sup>14</sup>C. Sin embargo, en ocasiones no es posible aplicarlos, como en situaciones de alteraciones post-depósito, cuando el contenido mineral no es el apropiado o las rocas son tan jóvenes que no muestran la transformación radioisotópica. La datación con <sup>14</sup>C en la Antártida es problemática por el efecto reservorio incierto de radiocarbono, lo que proporciona edades envejecidas (Björck et al., 1991).

Las dataciones realizadas mediante la combinación de datos paleomagnéticos con modelos geomagnéticos y curvas de referencia han sido utilizadas con éxito en arqueomagnetismo (Gómez-Paccard y Beamud, 2008),

donde los errores de la media paleomagnética utilizada suelen ser muy bajos.

El objetivo de este trabajo es presentar los resultados obtenidos al combinar los datos paleomagnéticos de los materiales volcánicos de la Isla Decepción con el modelo geomagnético disponible para edades de menos de 14.000 años (Pavón-Carrasco et al., 2014) y obtener así una evolución temporal del edificio volcánico.

## SITUACIÓN GEOLÓGICA Y MATERIALES MUESTREADOS

La Isla Decepción pertenece al archipiélago de las Shetland del Sur, situado al NO de la Península Antártica, de la que está separada por la Cuenca de

Bransfield (Fig. 1). Las alineaciones de edificios volcánicos de la Cuenca de Bransfield tienen una orientación NE-SO, paralela a su eje. La Cuenca está dividida por fallas de salto en dirección orientadas principalmente en dirección NO-SE. El vulcanismo de la Isla Decepción evolucionó durante el Cuaternario desde lavas almohadilladas a erupciones estrombolianas y freatomagmáticas subaéreas. Los depósitos volcánicos se dividen en unidades anteriores al colapso de la caldera (pre-colapso) y posteriores al colapso (post-colapso) (Smellie y López-Martínez, 2000). Las nuevas estaciones muestreadas en las unidades pre-colapso se localizan en la Fm Fumarole Bay (F1, 4 estaciones) y en la Fm Basaltic Shield (F2,

1 estación). Los afloramientos muestran depósitos subhorizontales o con buzamientos bajos. Las unidades post-colapso que se han muestreado corresponden al Miembro de Kendall Terrace (S1, 6 estaciones), conos de Collins Point (P2, que es parcialmente equivalente en edad a S2, 3 estaciones) y la Fm Stonethrow Ridge (S2). Los diques son probablemente equivalentes en edad a S1. P2 y S2 se han combinado a la hora de analizar los datos paleomagnéticos. De las 17 estaciones previas, 2 estaciones pertenecen a F2, 6 estaciones a F3, 8 estaciones a S2 y una corresponde a una erupción histórica ocurrida en 1840 AD (considerada dentro del conjunto de S2).



FIGURA 1. Localización de la Isla Decepción (a) y b) localización y marco regional tectónico de la región norte de la Península Antártica. La Cuenca de Bransfield aparece marcada con un recuadro. c) Localización de la Isla Decepción al norte del eje de expansión de la Cuenca de Bransfield (Grad et al., 1992).

Estudios paleomagnéticos previos concluyen que los minerales de coercitividad baja presentes en los depósitos volcánicos de la Isla Decepción promedian el registro de la variación secular (Baraldo et al., 2003).

## MÉTODOS

El muestreo se ha realizado en el campo con una perforadora portátil de gasolina refrigerada con agua. Los especímenes se orientaron en campo con un clinómetro y brújula. Las 157 muestras se desmagnetizaron térmicamente en el laboratorio de la Universidad de Barcelona (CCiTUB-CSIC), usando hornos TSD-1 (Schonsted) y MMT80 (Magnetic Measurements). Se calentaron progresivamente las muestras desde temperatura ambiente hasta 580 °C en 11-14 pasos (cada 50-20 °C) hasta la desmagnetización completa. La remanencia magnética de las muestras se ha medido en un JR6A (AGICO Inc. Brno, Czech Republic). Se ha calculado una componente estable de

alta temperatura con más de 6 pasos y  $MAD < 5^\circ$  (desviación angular máxima, por sus siglas en inglés). Las temperaturas de desbloqueo varían entre 350° y 580 °C, lo que sugiere que la Ti-magnetita es el principal portador de la remanencia magnética.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La componente característica se ha calculado en el 88% de las muestras analizadas. Las inclinaciones medias varían entre  $-56^\circ$  y  $85^\circ$ , donde la esperada sería de  $63^\circ$ , siguiendo la fórmula del dipolo magnético para la posición de la Isla Decepción. Los datos paleomagnéticos en latitudes altas presentan la debilidad del alto error asociado a esas latitudes ( $\sigma_{DEC} = \sigma_{95} / \cos INC$ ). Los errores promedio en la declinación magnética calculada son  $\sim 19^\circ$  (para  $\sigma_{95} < 5^\circ$ ).

Los datos paleomagnéticos de materiales arqueomagnéticos y volcánicos bien datados se usan para construir modelos geomagnéticos (Pavón-Carrasco et al., 2014) y curvas de referencia, los cuales permiten calcular cambios en la superficie del campo magnético terrestre. De tal manera que posteriormente se puede comparar el modelo geomagnético con datos paleomagnéticos de materiales de edad desconocida, con la finalidad de establecer su datación (Gómez-Paccard y Beamud, 2008, entre otros).

En materiales volcánicos, el hecho de que los vectores magnéticos se agrupen dentro de una misma unidad indica que el movimiento de esos materiales se produce antes de que se bloquee la remanencia magnética (en este caso la remanencia se bloquea por debajo de 580°C). Además, la variación secular puede producir dispersión de los datos entre unidades de edad diferente (> 100 años) aunque no haya movimiento relativo entre esas unidades.

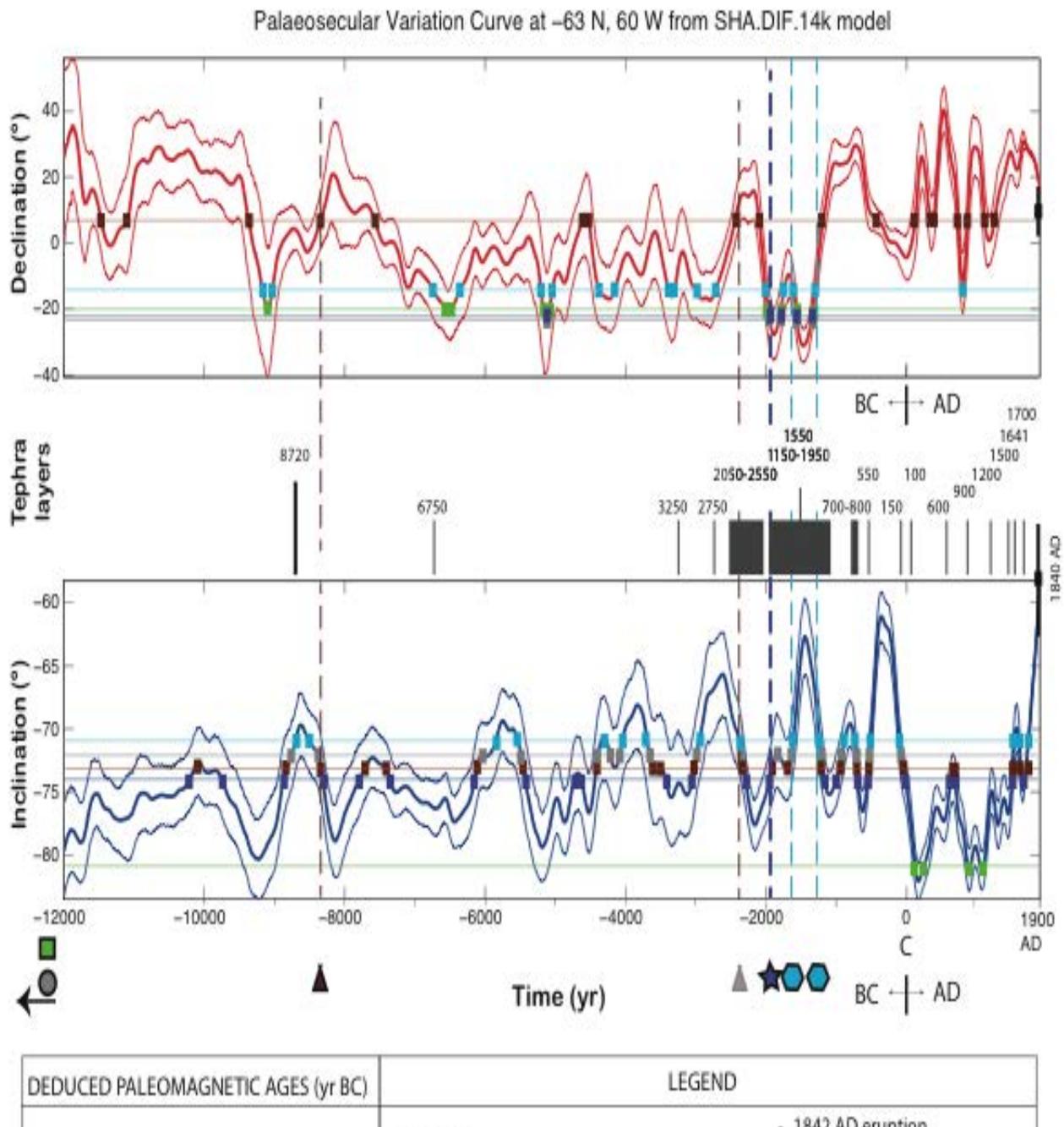


FIGURA 2. Edades probables de las unidades volcánicas obtenidas después de comparar los datos paleomagnéticos con el modelo geomagnético. Cuando las líneas horizontales de color (declinación e inclinación promedio) se cruzan con el modelo geomagnético (valores promedio) un cuadrado marca el cruce. Las líneas discontinuas verticales marcan la edad probable obtenida cuando la inclinación y la declinación del dato paleomagnético se solapan con el modelo geomagnético. El dato de la erupción histórica se ha marcado con su error. Además, se ha añadido la presencia de capas de tefras a escala regional (Moreton, 1999, Smellie, 1999). (Figura tomada de Oliva-Urcia et al., 2015).

En este trabajo se comparan medias paleomagnéticas agrupadas en 5 unidades siguiendo la división y terminología de unidades mencionada anteriormente (Smellie y López-Martínez, 2000): F1, F2 y F3 (unidades pre-colapso de la caldera) y, S1 y S2 (unidades post-colapso de la caldera).

La inclinación magnética de las medias de cada unidad es suficiente como para enmascarar pequeñas variaciones en la inclinación de los materiales por deformación. De hecho, Baraldo et al. (2003) reconocen rotaciones de eje horizontal por inclinaciones magnéticas anómalas, tras descartar que no son debidas a la variación secular. El agrupamiento de las medias de las unidades F2, F3 y S1 es alto, por lo que se descarta que haya variaciones en la inclinación de los materiales. La dispersión de los datos en F1 puede interpretarse como efecto del movimiento de las brechas volcánicas una vez han registrado la remanencia magnética. El hecho que la media de F1 esté más dispersa que la de F3 (materiales similares) puede ser indicativa de que F3 corresponde a flujos más densos que se enfriaron de manera relativamente rápida una vez depositados (Smellie, com. pers.). La dispersión de los datos de S2 se interpreta como debida a la variación secular ocurrida entre las diversas erupciones que tuvieron lugar en diferentes centros volcánicos.

Así pues, comparamos las medias paleomagnéticas de las 5 unidades con el modelo geomagnético que se extiende entre 12.000 AC y 1.900 AD (Pavón-Carrasco et al., 2014) (Fig. 2). Para realizar la comparación, se ha considerado la media del dato sin errores. La edad se estima cuando las declinaciones e inclinaciones convergen al mismo tiempo que la media del modelo geomagnético. El error deducido para el cálculo de las edades en la Isla Decepción varía entre 150 años (para S1) y unos 1000 años (para S2).

Con este procedimiento sólo se encuentra una edad posible para S1, en torno a 2000 años AC, así que las otras unidades se definen a partir de ésta. S2 presenta dos edades posibles, las dos más recientes de 1900 años AC. La unidad F3 tiene dos opciones posibles, 8300 y 2400 años AC, aunque la más joven es menos probable ya que los datos no se solapan exactamente en la vertical. Para F2 y F1 no hay edades probables, por lo que se consideran más antiguas de 12.000 años AC.

Respecto a las capas de tefras estudiadas que tienen un origen probable en la Isla Decepción, sugieren que la capa de 8720 AC tiene relación con la erupción que precedió y que dio lugar a la formación de la caldera (Moreton, 1999; Smellie, 1999). Esta edad es próxima

a la de la unidad F3, por lo que podría considerarse relacionada con ese evento.

Las edades calculadas a partir de los resultados paleomagnéticos comparados con el modelo geomagnético presentan ciertamente errores debido al uso simple de la media (sin considerar el error). A pesar de ello, permiten una estimación de la edad de las unidades que coincide con la presencia de las capas de tefras datadas en la región.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por el proyecto CTM214-57119-R del Plan Nacional de I+D+i.

## REFERENCIAS

- Baraldo, A., Rapalini, A.E., Böhnell, H. y Mena, M. (2003): Paleomagnetic study of Deception Island, South Shetland Islands, Antarctica. *Geophys. J. Int.*, 153: 333–343.
- Björck, S., Sandgren, P. y Zale, R. (1991): Late Holocene tephrochronology of the northern Antarctic Peninsula. *Quat. Res.*, 36: 322–328.
- Gómez-Paccard, M. y Beamud, E. (2008): Recent achievements in archaeomagnetic dating in the Iberian Peninsula: application to four Spanish structures. *J. Archaeol. Sci.*, 35: 1389–1398.
- Grad, M., Guterch, A., Sroda, P. (1992): Upper crustal structure of Deception Island Area, Bransfield Strait, West Antarctica. *Ant. Sci.*, 4: 469–476.
- Moreton, S.G. (1999): *Quaternary tephrochronology of the Scotia Sea and Bellingshausen Sea, Antarctica*. PhD Thesis, Cheltenham and Gloucester College of Higher Education, UK, 164 p.
- Oliva-Urcia, B., Gil-Peña, I., Maestro, A., López-Martínez, J., Galindo-Zaldívar, J., Soto, R., Gil-Imaz, A., Rey, J.J. y Pueyo, O. (2015): Paleomagnetism from Deception Island (South Shetlands archipelago, Antarctica); new insights into the interpretation of the volcanic evolution using a geomagnetic model. *Int. J. Earth Sc.*, doi: 10.1007/s00531-015-1254-3
- Pavón-Carrasco, F.J., Osete, M.L., Torta, J.M. y De Santis, A. (2014): A geomagnetic field model for the Holocene based on archaeomagnetic and lava flow data. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 388: 98–1.
- Smellie J.L. (1999): The upper Cenozoic tephra record in the south polar region: a review. *Glob. Planet. Chang.*, 21: 51–70.
- Smellie J.L., López-Martínez, J. (2000): *Geological Map of Deception Island. BAS GEOMAP Series, Sheet 6-A, 1:25,000*. British Antarctic Survey, Cambridge.