

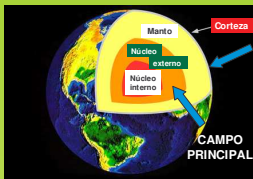
EL CAMPO MAGNÉTICO TERRESTRE Y EL ESTUDIO DE VOLCANES ACTIVOS

Isabel Blanco Montenegro^{1,*}, Riccardo De Ritis², Iacopo Nicolosi², Alessandro Pignatelli², Luís Gaya-Piqué³, Massimo Chiappini²

(1) Dpto. de Física, Universidad de Burgos; (2) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Roma, Italia; (3) Planetary Geodynamics Laboratory, GSFC, NASA, USA

* Escuela Politécnica Superior, Avda. de Cantabria s/n, 09006 Burgos; Tel. 947 258 978; Fax. 947 259 349; e-mail: iblanco@ubu.es

1. EL CAMPO MAGNÉTICO TERRESTRE



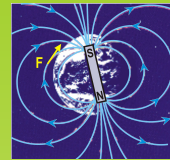
Estructura interna de la Tierra y localización de las fuentes del campo magnético de origen interno.

Si situamos un magnetómetro en cualquier punto de la superficie terrestre, alejado de fuentes artificiales de campos magnéticos, mediremos un campo magnético de origen natural que consta de varias contribuciones:

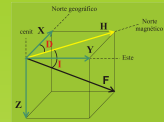
La más importante se origina en el **núcleo externo** de la Tierra, que está compuesto fundamentalmente de hierro fundido, y se debe a las corrientes convectivas que tienen lugar en el mismo a causa de la rotación de la Tierra. Este campo se conoce como **campo principal**, puesto que supone más del 90% del campo total. El campo principal es diferente en cada lugar de la Tierra y además varía en el tiempo de forma compleja.

Una segunda contribución, mucho más débil, proviene de la **corteza terrestre**, la parte más superficial de la Tierra, y se debe a la presencia de minerales magnéticos en las rocas. Las propiedades magnéticas desaparecen con las altas temperaturas (en general, por encima de 600 °C). Debido a que en el interior de la Tierra la temperatura aumenta con la profundidad, sólo la parte más superficial contribuye al campo magnético terrestre (de forma general, las primeras decenas de kilómetros). Esta segunda contribución se denomina **campo cortical** y es a la que prestaremos más atención aquí.

La tercera componente del campo magnético terrestre es el llamado **campo externo**, cuyo origen está relacionado con el flujo de partículas cargadas que proviene del sol (viento solar) y se sitúa en la **ionosfera** y la **magnetosfera**.



El campo magnético principal es aproximadamente equivalente al que produciría un gigantesco imán en el centro de la Tierra, con su polo sur cerca del polo norte geográfico. La figura muestra las líneas de campo magnético y el vector campo (F) en un punto cualquiera próximo a la superficie terrestre. En Burgos, el módulo del campo magnético principal a 1 de noviembre de 2005 es de 45160 nT (nanoTesla).



Las componentes magnéticas (X, Y, Z, H) y los ángulos D (declinación) e I (inclinación) se definen a partir de la proyección del vector campo magnético (F) en un sistema de referencia local definido por el norte, el este y la vertical. La proyección horizontal del vector F nos indica la dirección del norte magnético. Es la dirección a lo largo de la cual se alinearía una brújula y, en general, no coincide con la del norte geográfico. El ángulo que forman el norte geográfico y el norte magnético (D en el dibujo) se conoce como **declinación**. En Burgos, la declinación a fecha 1 de noviembre de 2005 es de 2.5° en dirección oeste, mientras que la inclinación es de 57°.

2. LAS ANOMALÍAS MAGNÉTICAS

El contenido en minerales magnéticos no es el mismo en todas las rocas de la corteza terrestre. En general, depende de su composición química, su historia geológica, la temperatura, etc. Por esta razón, las diferentes estructuras geológicas presentan distintas magnetizaciones, y son los contrastes de magnetización los que originan variaciones en el campo magnético cortical. Estas variaciones se conocen con el nombre de **anomalías magnéticas** y pueden ser medidas en la superficie de la Tierra. Su estudio constituye una potente herramienta en el conocimiento de la estructura del subsuelo.

La forma más cómoda y rápida de medir las anomalías magnéticas es el **aeromagnetismo**. Esta técnica consiste en instalar un magnetómetro a bordo de un helicóptero o una avioneta y realizar perfiles, cubriendo el área de interés, a lo largo de las cuales se mide y registra el campo magnético. El sensor magnético debe situarse a cierta distancia del fuselaje para evitar la contaminación de los datos con el campo magnético debido a la aeronave. Puesto que el campo magnético que se registra contiene también, como ya hemos comentado, las contribuciones del campo principal y el campo externo, éstos deben ser eliminados de los datos para así poder aislar el campo cortical y obtener el mapa de anomalías magnéticas de la zona de interés.



Sensor magnético



La imagen de la izquierda muestra cómo se realiza una magnetometría aérea. El sensor magnético se aloja dentro de una estructura aerodinámica, denominada bird, que cuelga a 30 metros por debajo del helicóptero. La imagen superior es una fotografía del cráter del volcán Stromboli en las islas Eolias (Italia), tomada desde el helicóptero mientras se realizaba un vuelo aeromagnético. Stromboli es el único volcán del mundo con actividad intermitente desde hace 2500 años.

3. EL ESTUDIO DE VOLCANES ACTIVOS



El Vesuvio es un volcán potencialmente peligroso para los más de un millón de habitantes de Nápoles y alrededores, que viven literalmente sobre las laderas del volcán. En la imagen se muestra una fotografía de su última erupción, ocurrida en 1944. En la actualidad se encuentra en estado de baja actividad. La erupción del Vesuvio del año 79 d.C. destruyó las ciudades romanas de Pompeya y Herculano.

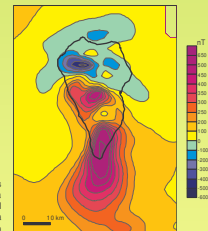
El tiempo geológico transcurre tan despacio desde la perspectiva humana que con frecuencia nos resulta difícil comprender que la Tierra es un sistema dinámico en continua evolución. El fenómeno del volcanismo constituye una evidencia directa de dicho dinamismo y nos hace conscientes de que el suelo que pisamos puede no ser tan firme como pensamos. La humanidad ha convivido desde siempre con los volcanes. Sin embargo, el análisis del riesgo volcánico no se ha convertido en un objetivo científico hasta hace aproximadamente 15 años, sufriendo un gran impulso con la declaración, por parte de la UNESCO, del decenio 1990-2000 como la **Década para la Mitigación de los Desastres Naturales**.

Una adecuada evaluación de la peligrosidad de un volcán pasa necesariamente por un conocimiento lo más exhaustivo posible de la historia eruptiva previa: sólo podremos prevenir el comportamiento futuro del volcán si conocemos su pasado. Los geólogos son capaces de reconstruir la historia eruptiva reciente estudiando los materiales más superficiales. Sin embargo, los productos de erupciones antiguas no afloran en la superficie, ya que han sido cubiertos por otros más jóvenes. En el caso de las islas volcánicas (por ejemplo, las Canarias) la dificultad es aún mayor, ya que más del 90% del volumen del edificio volcánico se encuentra por debajo del nivel del mar.

¿Cómo es posible, entonces, conocer la evolución del volcán a lo largo de toda su historia? La respuesta nos la da la geofísica, en particular la prospección sísmica, la gravimetría y la disciplina que nos aquí nos ocupa: las anomalías magnéticas. En efecto, un volcán es una superposición de distintos materiales y estructuras: coladas de lava, depósitos piroclásticos, diques, intrusiones, cámaras magmáticas, etc. Las anomalías magnéticas reflejan los contrastes de magnetización asociados a las distintas estructuras y, por tanto, su estudio contribuye al conocimiento del volcán en todo su volumen. Como el contenido en minerales magnéticos de las rocas volcánicas es muy elevado, las áreas volcánicas presentan anomalías magnéticas intensas y complejas.



La isla de La Palma es la más occidental de las Canarias. En ella tuvo lugar, en 1971, la última erupción del archipiélago: el volcán Teneguía, al sur de la isla. A la derecha se muestra su mapa de anomalías magnéticas, correspondientes a un vuelo aeromagnético realizado en 1993.



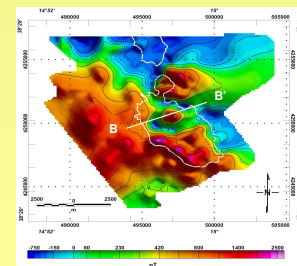
4. UN EJEMPLO: LA ISLA DE VULCANO (ISLAS EOLIAS, ITALIA)



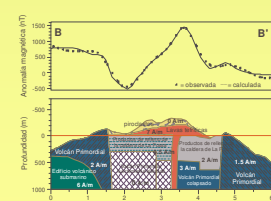
Las islas Eolias, situadas en el Tirreno, al norte de Sicilia, son un archipiélago volcánico formado por siete islas, tres de las cuales se consideran activas en la actualidad: Stromboli, Vulcano y Lipari. Este archipiélago constituye un lugar clásico en la investigación volcanológica. En particular, dos de los cinco tipos de erupciones identificadas por el volcanólogo Mercalli a principios del siglo XX, la vulcaniana y la stromboliana, toman su nombre de la erupción de Vulcano de 1888-1890, y de la actividad de Stromboli, continua desde hace 2500 años.



La historia de Vulcano se remonta a los últimos 13000 años. Durante este tiempo se han alternado episodios constructivos y destructivos en la isla y la actividad ha migrado en dirección SE-NW. Los sucesivos colapsos del edificio volcánico han dado lugar a dos depresiones o calderas. La actividad actual se concentra en el cono de La Fossa. La línea blanca señala la localización del perfil que corresponde al modelo estructural (ver figura de la derecha).



El Instituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia de Italia ha realizado varias campañas aeromagnéticas de Vulcano entre 1999 y 2004. El mapa magnético revela intensas anomalías no sólo sobre la parte emergida de la isla, sino también en la porción submarina. En particular, las anomalías que aparecen en la zona marina occidental han permitido identificar varias estructuras volcánicas hasta ahora desconocidas.



A pesar de su pequeño tamaño, Vulcano es una isla geológicamente muy compleja. Aunque ha sido extensamente estudiada, todavía hay algunos interrogantes que permanecen sin respuesta. El estudio de las anomalías magnéticas más notables (figura de la izquierda) ha contribuido a desvelar algunos de ellos. En la figura superior se muestra un modelo estructural de Vulcano a lo largo de un perfil que atraviesa la Caldera de La Fossa, obtenido a partir de la modelización de las anomalías magnéticas. El modelo magnético ha puesto de manifiesto que al inicio de la formación del cono de La Fossa tuvo lugar la emisión de un gran volumen de lavas félsicas, fuertemente magnéticas. Estas lavas apenas afloran en la superficie, ya que están recubiertas por los piroclastos emitidos en erupciones posteriores y su existencia, aunque propuesta por algunos volcanólogos, no había podido ser probada hasta el momento.