

# Modelado morfométrico del volcanismo a partir de la reconstrucción paleogeomorfológica

## *Morphometric modelling of volcanism from paleogeomorphology reconstructions*

A. Rodriguez-Gonzalez<sup>1</sup>, J.L. Fernandez-Turiel<sup>2</sup>, F.J. Perez-Torrado<sup>1</sup>, D. Gimeno<sup>3</sup> y M. Aulinas<sup>3</sup>

1 Dpto. Física (Geología), ULPGC. 35017 Las Palmas de Gran Canaria. alerglez@gmail.com; fperez@dfis.ulpgc.es

2 Instituto de Ciencias de la Tierra Jaume Almera, CSIC. C/ Solé i Sabaris s/n, 08028 Barcelona. jlfernandez@ija.csic.es

3 Dpto. Geoquímica, Petrología i Prospecció Geològica, UB. 08028 Barcelona. domingo.gimeno@ub.edu; meritxellaulinas@ub.edu

**Resumen:** A partir de una cuidadosa reconstrucción paleogeomorfológica del terreno volcánico puede realizarse un modelado morfométrico preciso, gracias al cual, y partiendo de la topografía actual, se obtienen mapas topográficos y modelos digitales de los terrenos (MDT) previos y posteriores a la erupción. Para su obtención, es necesario discutir el tamaño de pixel correcto, los métodos de interpolación y la calidad de los MDT. En un entorno de Sistema de Información Geográfico (SIG), la información geológica del cono, de las lavas y depósitos piroclásticos de caída, así como los MDT antes mencionados, permiten determinar las principales características morfológicas de estos edificios (e.g., volumen de materiales y pendientes del terreno pre-erupción). Pero además, deben definirse los criterios necesarios para determinar la precisión y exactitud de los distintos parámetros morfométricos. La calibración y validación de los modelos morfométricos se realizó en terrenos volcánicos simulados, mientras que para la verificación se tomó como ejemplo el volcán de El Lentiscal, en Gran Canaria, típico volcán basáltico monogénico cuya historia erosiva se encuentra en la primera etapa de degradación. La metodología desarrollada tiene un interés general, siendo aplicable igualmente a otros contextos geodinámicos, tanto en la Tierra como en otros planetas del Sistema Solar.

**Palabras clave:** lava, cono de escoria, morfometría, MDT, SIG.

**Abstract:** *An accurate and precise morphometric modelling can be extended to past eruptions after a careful paleogeomorphological reconstruction of volcanic landforms in a setting of oceanic island. This reconstruction was used to create contour maps to derive the pre-, post-eruption and present-day digital elevation models (DEM). The right pixel size, interpolation method and quality of these DEMs were discussed. The process in a GIS framework of the geological information of cone, lava flow and tephra fall deposits together and the before-mentioned DEMs allowed determining the main morphological features of these volcanic landforms and their derivatives (e.g., eruption volume and pre-eruption slopes). The criteria needed to obtain accurate and precise measurements of the currently used morphometric parameters were defined. The calibration and validation of the morphometric modelling was performed on simulated volcanic landforms. The verification of the procedures was carried out on El Lentiscal volcano, a typical monogenetic basaltic eruption at Gran Canaria Island (Spain), the erosional history of which is in the first step of degradation. The proposed morphometric modelling is of general interest due to it is applicable to other geotectonic settings in the Earth and in the other inner planets of the Solar System.*

**Key words:** *lava flow, scoria cone, morphometry, DEM, GIS.*

## INTRODUCCIÓN

El modelado en morfometría volcánica proporciona mediciones fiables de la erupción, morfología del edificio y permite derivar, por ejemplo, el volumen de materiales extruidos, la pendiente y las orientaciones del terreno. Estos parámetros son importantes para determinar la acumulación o degradación de los terrenos volcánicos. En relación a los cambios en la morfología y en las tasas volumétricas de acumulación, estos parámetros permiten comprender procesos volcánicos como el comportamiento eruptivo, la dinámica del magma y los ciclos eruptivos, así como predecir el riesgo de un volcán y realizar el correspondiente plan de

mitigación (Harris et al., 2007). Respecto a la degradación, las variaciones de la morfología original permiten comprender los patrones que afectan a la erosión o a los movimientos de masas y su evolución, facilitando la evaluación de riesgos (Branca y Del Carlo, 2005).

Los parámetros morfométricos tienen en común que pueden ser medidos después de la erupción, sin conocimiento de los fenómenos en función del tiempo. Esto es una ventaja cuando no hay datos que dependen de parámetros temporales medidos durante la erupción, como la duración, la velocidad de las coladas de lavas y aquellos relacionados con las tasas efusivas, que sólo

pueden ser obtenidos para las erupciones históricas o actuales. En consecuencia, los modelos morfométricos pueden ser aplicados al vulcanismo antiguo.

Muchas estimaciones previas de la morfometría volcánica fueron basadas en la aplicación de métodos por fórmulas derivadas. Por ejemplo, el volumen del cono tradicionalmente se calculaba mediante la fórmula geométrica del cono truncado (Wood, 1980), mientras que el volumen de la colada de lava se determinaba multiplicando el área cubierta por la colada por la potencia media estimada (Wilson y Head, 1983).

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) proporcionan un adecuado marco metodológico para la elaboración de modelos morfométricos de erupciones volcánicas. Los parámetros morfológicos y sus derivados se pueden determinar con mayor exactitud que con los métodos anteriormente citados. El procesamiento en el SIG de la información obtenida durante el trabajo de campo, junto a los antecedentes de cartografía geológica y la topografía permite obtener los datos morfométricos en terrenos volcánicos. Las diferentes herramientas del software de SIG permiten una medición directa y precisa de los parámetros horizontales (diámetro, longitud,...). Sin embargo, es necesario llevar a cabo algún tipo de proceso para determinar los parámetros verticales (altura del cono, profundidad del cráter, etc.). El modelado de superficies desempeña un papel fundamental para la comparación del antes y el después de la erupción. Los efectos de la erupción sobre la topografía se analizan utilizando los modelos digitales del terreno (MDT) (Rowland et al., 2003).

El objetivo de este trabajo es proponer una metodología para una efectiva aplicación de modelos morfométricos a erupciones antiguas, de forma que se puedan determinar los parámetros morfológicos y sus derivados con una confianza razonable en un entorno de isla oceánica. El primer paso fue calibrar y validar los procedimientos usando edificios volcánicos simulados. Una vez logrado este objetivo, la metodología se ha verificado en un caso real, una erupción basáltica típica en una isla volcánica intraplaca: el volcán de El Lentiscal en la isla de Gran Canaria. Para ello, se llevó a cabo una intensa y cuidadosa reconstrucción paleogeomorfológica de la superficie volcánica anterior y posterior a su erupción

## MARCO GEOLÓGICO

Gran Canaria se encuentra en un avanzado estado de rejuvenecimiento que comenzó hace unos 5 Ma (Carracedo et al., 2002). Sus últimas manifestaciones, de edad probable holocena, se circunscriben al sector septentrional de la isla, donde forman una serie de conos estrombolianos y calderas freatomagmáticas alineados en dirección NO-SE. La erosión y la acción antrópica afecta de forma desigual a estos volcanes, pero, incluso en el peor de los casos, la degradación no impide una detallada reconstrucción paleogeomorfológica de los mismos.

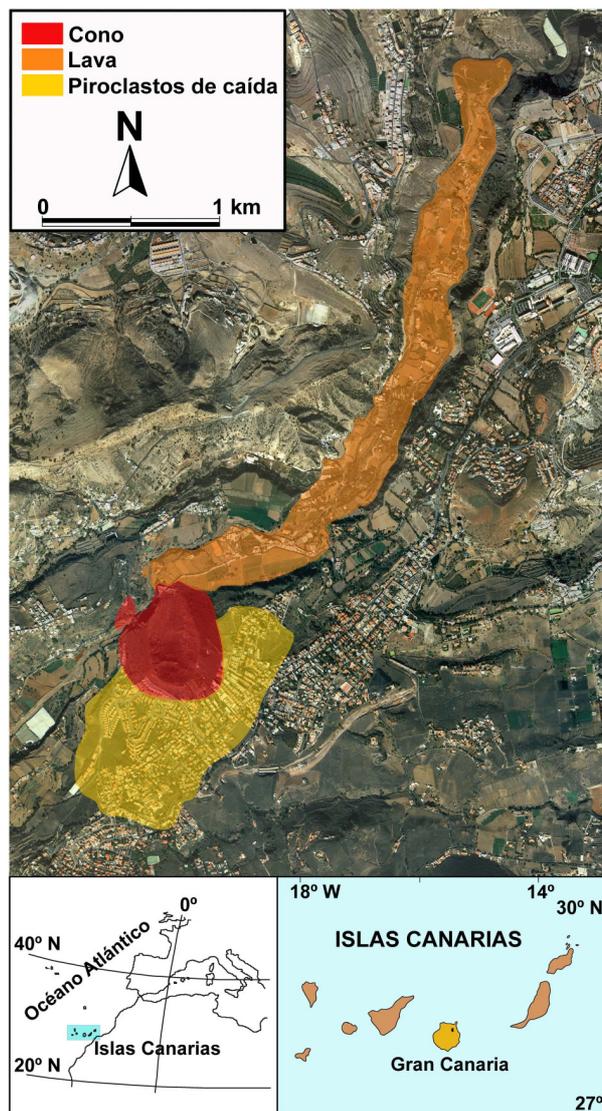


FIGURA 1. Localización del volcán de El Lentiscal (Gran Canaria, Islas Canarias) y mapa geológico de sus materiales.

El volcán seleccionado como ejemplo, El Lentiscal, se localiza en el sector NE de la isla a escasos kilómetros de su capital. Consiste en un típico cono de escorias de 300 m de altura, con un cráter abierto en herradura hacia el norte desde donde surge una potente colada de lava que inmediatamente es canalizada a fondo del Barranco de Guinguada, donde recorre unos 4 km. Desarrolla, además, un manto de piroclastos de proyección aérea de <1 m de espesor medio que se extiende hacia el sureste (Fig. 1).

La historia erosiva de la erupción del volcán de El Lentiscal está en la primera etapa de degradación (Davidson y De Silva, 2000), caracterizada por unos materiales frescos, un cono joven con fuertes pendientes y una colada de lava bien conservada. La erosión más activa se presenta al norte y oeste del cono, donde el barranco ha diseccionado parte del flanco, y a ambos lados de la colada de lava, que en algunos tramos de su recorrido queda colgada y provoca la caída de grandes bloques en el lecho del barranco. A pesar de ello, la estructura general del cono y la colada de lava sigue

siendo perfectamente reconocible, por lo que su reconstrucción paleo-geomorfológica permite obtener de forma fiable mapas y MDT de la topografía pre- y post-eruptiva.

## RECONSTRUCCIÓN TOPOGRÁFICA

El enfoque utilizado en el presente trabajo tiene como punto de partida un intenso trabajo de campo, que consiste principalmente en el reconocimiento e identificación de las diferentes unidades volcánicas principales que configura la erupción (cono, lava y piroclastos de caída), así como también el tipo de relieve sobre el cual emerge la erupción. Estas unidades son cartografiadas a escala 1:5.000 y, en ocasiones, a escala 1:1.000 para obtener una mayor precisión en la delimitación de los contactos entre las unidades volcánicas y en la identificación de la extensión máxima alcanzada por las mismas (ver figura 1).

Existe una gran variedad y cantidad de parámetros morfométricos que se usan para definir un cono, una colada de lava y un manto de piroclastos de caída. Son bien conocidos, por lo que no se introducirán detalladamente aquí. Por citar algunos ejemplos, en el caso del cono, se toman cota máxima y mínima de la base del cono, eje mayor y menor del cono, altura máxima, pendiente, orientación, etc. En la lava, se hacen medidas sistemáticas en toda su extensión y a ambos lados de la colada, ya que este caso, está afectada por la incisión de dos barrancos; se toman potencias de lava, pendiente, dirección de flujo, medidas de las incisiones tanto en lava como en sustrato, etc., siendo estas georreferenciadas (con GPS y mapas topográficos) para su posterior procesado en el SIG. Referente a los depósitos piroclásticos de caída, se toman medidas de potencias en todos aquellos casos en que los afloramientos lo permitan.

Para llevar a cabo una reconstrucción paleogeomorfológica de la erupción de El Lentiscal, con el fin de obtener el antes y el después de la erupción, el primer paso fue configurar el mapa geológico actual (ver figura 1). Después, la labor se centró en la reconstrucción geomorfológica tridimensional del cono, colada de lava y manto de piroclastos de caída, basada en los correspondientes MDT. Estos MDT deben tener una resolución de pixel o tamaño de celda idóneo, acorde a la escala de trabajo, y que permita cuantificar eficazmente todos los parámetros y validarlos con los datos de campo. De no ser así, el grado de fiabilidad y efectividad de la metodología no sería el correcto. Aún así, la elección del MDT adecuado, dependiendo de la escala de trabajo, lo determina un proceso complejo y extenso, por lo que aquí, únicamente se presentan aspectos muy generales pero que son relevantes para la obtención de resultados acordes a los objetivos del trabajo.

Toda esta información fue usada para modificar la actual topografía y así obtener las superficies del antes y después de la erupción. La fuente topográfica actual utilizada fueron los mapas topográficos digitales a

escala 1:5000 de GRAFCAN del año 1996, con equidistancia entre curvas de nivel de 5 m. Los mapas del antes y después de la erupción resultantes muestran claramente los cambios en la superficie introducidos por el cono y la colada de lava, mientras que los cambios en la superficie originada por los depósitos de piroclastos de caída de proyección aérea son casi imperceptibles a la escala de trabajo.

En el caso de la colada de lava, el proceso es sencillo para las mediciones de la longitud recorrida y el área ocupada, que directamente se obtienen mediante las herramientas geográficas del software del SIG. Sin embargo, para los demás parámetros son necesarios procesos más complejos.

Un cálculo muy importante es el volumen individual de cada uno de los productos estimados de una erupción, en el caso de El lentiscal, cono, colada de lava y manto piroclástico de caída de proyección aérea. El volumen de los depósitos piroclásticos (tanto los que constituyen el cono como los que forman el manto de proyección aérea) permite la obtención del denominado Índice de Explosividad Volcánica, en el original inglés *Volcanic Explosivity Index* o VEI (Newhall y Self, 1982), que guarda una relación directa con descriptores tales como tipo de erupción, altura de la columna eruptiva, etc.

En cuanto al volumen total de la erupción, no basta con sumar los volúmenes independientes de los diferentes productos, es necesario, además, tomar en cuenta un factor de corrección surgido del concepto de volumen de roca densa equivalente, conocido habitualmente con el término anglosajón *Dense Rock Equivalent* o DRE. El volumen estimado por separado de cada unidad volcánica o volumen bruto incluye tanto la parte sólida como la hueca de los materiales de la erupción. La diferencia de porosidad entre los piroclastos y la lava es evidente, pero también hay diferencias dentro de cada material. Por ejemplo, la porosidad de la lavas oscila entre 4 a 60%.

La aplicación de este procedimiento a la erupción de El Lentiscal se ha realizado considerando una corrección del 75% para el cono y los depósitos de piroclastos de caída (Mangan y Cashman, 1996) y del 25% para la colada de lava, tomando como referencia una colada de lava basáltica tipo aa (Wolfe et al., 1987). Como resultado, se ha determinado que la erupción de El Lentiscal produjo un volumen total de 10.471.090 m<sup>3</sup> de roca densa equivalente, de los cuales, el 25% corresponde al cono, el 71% a la colada de lava y sólo un 4% a los depósitos piroclásticos de caída de proyección aérea.

Por su parte, el volumen bruto de piroclastos arroja un valor de 12.048.229 m<sup>3</sup>, lo que supone un VEI de valor 2, típico de erupciones estrombolianas (Tabla I).

|                                    | CONO       |           | LAVA      |           | PIROCLASTOS DE CAÍDA |
|------------------------------------|------------|-----------|-----------|-----------|----------------------|
|                                    | Erupción   | Actual    | Erupción  | Actual    | Erupción             |
| Superficie (m <sup>2</sup> )       | 344.560    | 318.693   | 993.703   | 945.728   | 724.347              |
| Volumen Bruto (m <sup>3</sup> )    | 10.599.533 | 9.364.561 | 9.945.377 | 9.569.244 | 1.448.696            |
| Volumen DRE (m <sup>3</sup> )      | 2.649.883  | 2.341.140 | 7.459.033 | 7.176.933 | 362.174              |
| Volumen Evacuado (m <sup>3</sup> ) | 1.234.972  |           | 376.133   |           |                      |

TABLA I. Volumen bruto frente a volumen denso equivalente (DRE) de las unidades volcánicas de la erupción de El Lentiscal.

## CONCLUSIONES

El modelado morfométrico puede ser aplicado a las erupciones volcánicas pasadas después de una cuidadosa reconstrucción paleo-geomorfológica. La calidad de esta reconstrucción dependerá en última instancia del grado de degradación de los edificios volcánicos.

La comparación y el análisis de las superficies del terreno previas y posteriores a la erupción y las actuales, generadas a partir de los MDT correspondientes, permiten llevar a cabo un completo modelado morfométrico de las erupciones volcánicas.

La metodología ha sido verificada de forma particular en el ejemplo de la erupción de El Lentiscal en la Isla de Gran Canaria, aunque es de general aplicación a conos de escorias, coladas de lava y depósitos de piroclastos de caída en cualquier región volcánica. Asimismo, es posible extrapolar esta metodología a otros entornos geodinámicos en la Tierra y en otros planetas del Sistema Solar.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado parcialmente por el Proyecto PI2002/148 del Gobierno de Canarias y por el Proyecto GRANCA (Ref. CGL2004-04039/BTE) de la CICYT. Se llevó a cabo en el marco del Grupo de Investigación Consolidado SGR - 2005 - 795 PEGEFA (Petrología y Geoquímica fundamental y aplicada), financiado por AGAUR - DURSI, Generalitat de Catalunya.

## REFERENCIAS

- Branca, S. y Del Carlo, P. (2005): Types of eruptions of Etna volcano AD 1670-2003: implications for short-term eruptive behaviour. *Bulletin of Volcanology*, 67(8):732-742.
- Carracedo, J.C., Pérez-Torrado, F.J., Ancochea, E., Meco, J., Hernán, F., Cubas, C.R., Casillas, R., Rodríguez-Badiola E. y Ahijado, A. (2002): Cenozoic volcanism II: the Canary Islands. En: *The Geology of Spain* (W. Gibbons y T. Moreno, eds.). Geological Society of London, Londres, 439-472.
- Davidson J. y De Silva S. (2000): Composite volcanoes. En: *Encyclopedia of volcanoes* (H. Sigurdsson, ed.). Academic Press, San Diego, 663-681.
- Harris A.J.L., Dehn J., y Calvari S. (2007): Lava effusion rate definition and measurement: a review. *Bulletin of Volcanology*, 70(1):1-22.
- Mangan M.T. y Cashman K.V. (1996): The structure of basaltic scoria and reticulite and inferences for vesiculation, foam formation, and fragmentation in lava fountains. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 73(1-2):1-18.
- Newhall, C.G. y Self, S. (1982): The volcanic explosivity index (VEI): an estimate of explosive magnitude for historical volcanism. *Journal of Geophysical research (Oceans & Atmospheres)*, 87: 1231-1238.
- Rowland S.K., Harris A.J.L., Wooster M.J., Amelung F., Garbeil H., Wilson L. y Mouginiis-Mark P.J. (2003): Volumetric characteristics of lava flows from interferometric radar and multispectral satellite data: the 1995 Fernandina and 1998 Cerro Azul eruptions in the western Galapagos. *Bulletin of Volcanology*, 65(5):311-330
- Wilson L., y Head J.W. (1983): A Comparison of Volcanic-Eruption Processes on Earth, Moon, Mars, Io and Venus. *Nature*, 302(5910):663-669
- Wolfe E.W., Garcia M.O., Jackson D.B., Koyanagi R.Y., Neal C.A. y Okamura A.T. (1987): The Puu Oo eruption of Kilauea Volcano, episodes 1-20, January 3, 1983, to June 8, 1984. *US Geol Surv Prof Paper*, 1350:471-508.
- Wood C.A. (1980): Morphometric evolution of cinder cones. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 7:387-413.