

Metodología para la valoración patrimonial del nuevo volcán de La Palma en el contexto del volcanismo histórico de Canarias.

Methodology for the geoheritage assessment of the new volcano of La Palma in the geological framework of the historical volcanism of Canary Islands.

N. Ferrer-Valero¹, J. Vegas², I. Galindo³ y G. Lozano⁴

- 1 Instituto de Oceanografía y Cambio Global (IOCAG), Universidad de Las Palmas de Gran Canaria (ULPGC). Parque Científico Tecnológico Marino de Taliarte s/n.35214 Telde. nicolas.fvg@ulpgc.es
- 2 Instituto Geológico y Minero de España (IGME), CSIC. Ríos Rosas 23, 28003 Madrid. j.vegas@igme.es
- 3 Instituto Geológico y Minero de España (IGME), CSIC. Alonso Alvarado 43, 2ªA, 35003 Las Palmas de Gran Canaria. i.galindo@igme.es
- 4 Instituto Geológico y Minero de España (IGME), CSIC. La Calera, 1, 28760 Tres Cantos. g.lozano@igme.es

Resumen: El 19 de septiembre de 2021 comenzó en la isla de La Palma (Islas Canarias, España) una erupción volcánica que se prolongó durante 85 días. El evento dio lugar a la formación de un cono piroclástico de ~200 m de altura en la zona de Cabeza de Vaca-Tajogaite, a 1.050 m de altitud, campos de lavas y piroclastos de más de mil hectáreas sobre la vertiente noroccidental del edificio de Cumbre Vieja, y dos deltas lávicos en la costa E de la isla. Este trabajo presenta una primera aproximación para la estimación del valor del patrimonio geológico que supone esta nueva formación volcánica. Para ello, se aborda un inventario sistemático del conjunto de erupciones históricas similares a esta en el dominio geológico de las Islas Canarias. A partir de este inventario se evalúa, de forma comparada y numérica, la representatividad (A), rareza (R), diversidad (D), integridad (I) y condiciones de observación (O) del nuevo volcán de La Palma. Conforme a los resultados obtenidos para la nueva formación volcánica, este trabajo analiza la necesidad de adoptar medidas urgentes de protección, así como la pertinencia de haber sido incluido como Lugar de Interés Geológico (LIG) en el Inventario Español de Lugares de Interés Geológico (IELIG).

Palabras clave: patrimonio geológico, geoconservación, erupción volcánica, La Palma, Islas Canarias.

Abstract: On September 19th 2021, a volcanic eruption began on the La Palma island (Canary Islands, Spain) that lasted for 85 days. The volcanic event gave rise to the formation of a pyroclastic cone ~200 m high in the area called Cabeza de Vaca-Tajogaite, reaching an altitude of 1,050 m at the end of the eruption, with a lava fields of more than a thousand hectares along the northwestern slopes of Cumbre Vieja edifice, and two lava deltas on the E coast of the island. This work presents a first approach to estimate the value of the geoheritage of this new volcanic formation. For this purpose, a systematic inventory of the historical eruptions similar to this one in the geological domain of the Canary Islands is undertaken. From this inventory, the representativeness (A), rarity (R), diversity (D), integrity (I) and observation conditions (O) of the new volcano of La Palma are evaluated in a comparative and numerical way. According to the results obtained for the new volcanic formation, this work evaluates the need to adopt urgent conservation and protection measures; since it has already been included as a IC6031 Site of Geological Interest (LIG) in the Spanish Inventory of Geological Sites of Interest (IELIG in Spanish).

Key words: geoheritage, geoconservation, volcanic eruption, La Palma, Canary Islands.

ANTECEDENTES

La erupción monogenética que tuvo lugar en La Palma (Islas Canarias) entre el 19 de septiembre y el 13 de diciembre de 2021, dejó como resultado la formación de un nuevo edificio estromboliano, de marcado control tectónico, de unos 200 m de altura y 800 m de diámetro, así como extensos campos de lavas y piroclastos cubriendo las laderas occidentales del edificio de Cumbre Vieja. Además, las coladas alcanzaron el mar por el este en Los Guirres al descender por los acantilados costeros, formando dos espectaculares deltas lávicos (Fig. 1). Este tipo de procesos eruptivos son

predominantes del vulcanismo histórico de Canarias. Este trabajo tiene como objetivo abordar una evaluación del valor patrimonial de la formación geológica surgida de este evento eruptivo, a fin de determinar la pertinencia de su conservación urgente como Lugar de Interés Geológico (LIG) en el inventario nacional (<https://info.igme.es/ielig/>).

La catalogación y valoración del patrimonio geológico es una praxis científica que tuvo sus inicios en España en la década de 1970 y un impulso internacional en la década siguiente de la mano del Proyecto Global Geosites. Desde entonces se han

desarrollado un gran número de trabajos y propuestas metodológicas en diferentes países del mundo (Brocx y Semeniuk, 2007). En España, el Inventario Español de Lugares de Interés Geológico (IELIG) incluye el inventario para el dominio geológico de Canarias, que ha sido desarrollado mediante el proyecto LIGCANARIAS (Galindo et al., 2019; Vegas et al., 2019).

MARCO GEOLÓGICO

Las Islas Canarias (Fig. 1) constituyen una de las cadenas de volcanes oceánicos más prominentes del mundo. Por ello, los *edificios y morfologías volcánicas de las Islas Canarias* han sido reconocidos como un contexto geológico de relevancia internacional para España (García-Cortés et al., 2000) y un dominio geológico diferenciado en el marco del IELIG (García-Cortés et al., 2019). Además, las islas de El Hierro y Lanzarote (con el Archipiélago Chinijo) forman parte íntegramente de la Red Europea de Geoparques y de la Red Global de Geoparques de la UNESCO.

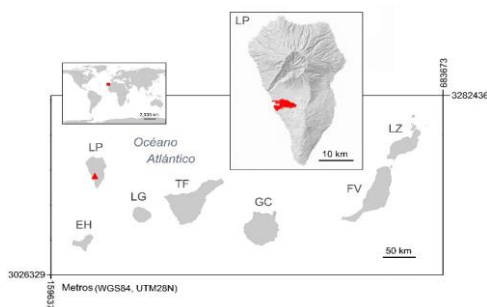


FIGURA 1. Localización y extensión de la erupción volcánica de 2021 en La Palma. EH, El Hierro; LP, La Palma; LG, La Gomera; TF, Tenerife; GC, Gran Canaria; FV, Fuerteventura; LZ, Lanzarote.

Canarias es un archipiélago volcánico de 8 islas principales y un conjunto de islotes, situado en la placa tectónica africana, en torno a los 28° de latitud norte y 15° de longitud oeste. La isla de La Palma se sitúa en el extremo occidental del archipiélago, a ~400 km de la costa africana. Es una isla joven, con un Complejo Basal submarino de unos 3 Ma y con menos de 1,8 Ma de actividad eruptiva subaérea (Ancochea, 2004). Forma un escudo volcánico compuesto mayoritariamente de lavas máficas alcalinas, donde se distingue un volcán subcircular pleistoceno en el norte, Taburiente, y un sistema de rift, en la dorsal de Cumbre Vieja, desarrollado hacia el sur durante el Pleistoceno Superior (Carracedo et al., 2001). Esta estructura le confiere a la isla una forma de triángulo invertido, con un perímetro de casi 200 km, un área de 708 km² y 2.426 m de altitud en su punto más alto.

MÉTODOS

La valoración patrimonial del nuevo volcán de La Palma se aborda desde un interés principalmente geomorfológico. Para su valoración, se han empleado los parámetros del IELIG (García-Cortés et al., 2019) de representatividad (A), rareza (R), diversidad (D), integridad (I) y condiciones de observación (O). No

obstante, a diferencia de la metodología convencional del IELIG, este trabajo adopta un enfoque numérico y comparativo, basado en (i) la realización de un inventario sistemático, (ii) la aplicación de reducciones conceptuales que permitan aproximaciones numéricas a los parámetros de evaluación, y (iii) la elección de estimadores numéricos de carácter dimensional. Este enfoque responde a la necesidad de realizar una evaluación preliminar urgente minimizando la subjetividad del equipo.

En primer lugar, se ha efectuado el inventario cartográfico de todas las formaciones volcánicas similares al nuevo volcán de La Palma en el dominio geológico de las Islas Canarias, teniendo en cuenta la presencia necesaria de tres unidades geomorfológicas (Fig. 2):

- (U₁) Uno o varios centros de emisión formando conos piroclásticos o domos sálicos.
- (U₂) Una o varias coladas de lava en forma de flujos longitudinales de vertiente discurriendo por acantilados costeros hasta llegar al mar.
- (U₃) Una o varias plataformas lávicas que forman deltas por el avance de las coladas sobre la plataforma insular submarina.

Para su reconocimiento se han integrado, en sistemas de información geográfica (SIG), ortofotos digitales, modelos digitales del terreno (MDT) de alta resolución y mapas geológicos de Canarias a escala 1:25.000. Con ello se ha procedido a estimar los parámetros A, R, D, I y O, de todas las formaciones inventariadas, conforme a reducciones conceptuales y dimensiones medibles:

- La representatividad (A) se ha expresado como un concepto de grado de desarrollo (Sharples, 2002) y se ha asimilado a la magnitud de la formación volcánica por medio de su extensión superficial ($A=Ha$).
- La rareza (R) se ha definido como concepto inverso de la abundancia y se ha medido, primero, como superficie no ocupada por este tipo de formaciones en el contexto de cada isla ($R_1=\%$) y, segundo, a escala local, como densidad de formaciones similares en el entorno inmediato ($R_2=N/km^2$, inverso de la rareza) mediante una función kernel cuadrática de Silverman (1986).
- La diversidad (D) se ha expresado como un concepto combinado de riqueza y equilibrio de abundancia entre las unidades U₁-U₂-U₃, y calculado mediante el índice de entropía de Shannon empleando superficies ($D=H'$).
- La integridad (I), o estado de conservación, se ha expresado como el grado de deterioro de la formación volcánica por causas humanas y se ha calculado a través de la superficie no ocupada por infraestructuras, superponiendo en SIG el Mapa Topográfico Integrado de Canarias a escala 1: 1.000/5.000 ($I=\%$).
- Las condiciones de observación (O) se han expresado como la visibilidad superficial de la formación y se han calculado aplicando reglas de visibilidad conforme al tipo de cobertura vegetal dominante y su extensión ($O=\%$) (Tabla I).

Formación vegetal	Cobertura media (%)	Visibilidad media (%)
Vegetación escasa o nula	0	100
Vegetación rupícola	5	95
Herbazales	15	85
Matorrales	35	65
Bosques y arbustadas plantados	85	15
Bosques y arbustadas naturales	90	10
Áreas antrópicas	100	0

TABLA I. Valores de visibilidad media superficial en las formaciones vegetales del Mapa de Vegetación de Canarias 1:2.000 (Del Arco et al., 2017).

Una vez calculados A, R, D, I y O, los valores de los parámetros se han ordenado de menor a mayor y normalizado a percentiles. El valor final se ha obtenido de la combinación aritmética del percentil de los cinco parámetros, bajo criterios de (i) media aritmética simple, (ii) media ponderada, donde A=35%, R=20%, C=15%, O=15% y D=15%; y (iii) valor máximo.

RESULTADOS

Se han identificado y cartografiado 27 formaciones volcánicas en el dominio geológico de las Islas Canarias que cumplen con las unidades geomorfológicas definitorias del nuevo volcán de La Palma (U₁-U₂-U₃) (Fig. 3). Se distribuyen preferentemente por la provincia occidental, estando ausentes en las Islas de La Gomera y Gran Canaria, las cuales no tienen volcanismo histórico. Se han identificado 12 formaciones en La Palma, 9 en Tenerife, 3 en El Hierro, 2 en Lanzarote y 1 en Fuerteventura.

El valor medio de magnitud (representatividad, A) es de 663 Ha, con desviación típica de 725 Ha, valor mínimo de 24 Ha (en EH_{1a} -formación de menor magnitud-) y valor máximo de 17.916 Ha (en TF₂ -formación de mayor magnitud-). El caso de estudio (LP₁₀) presenta 1.223 Ha, con lo que ocupa el percentil 85,2 de representatividad (A_{LP10}=0,85) y se sitúa significativamente por encima de la mediana del conjunto del inventario. La mayor rareza (R) la encontramos en Fuerteventura (R₁=99%), la isla más antigua del archipiélago, y la menor en La Palma (R₁=75%), la isla con mayor actividad eruptiva. A su vez, el predictor de densidad local determina que la mayor rareza espacial en la isla de La Palma, corresponde al caso de estudio (LP₁₀), quedando localizado en el percentil 44,4 (R_{LP10}=0,44), en torno a la mediana del inventario. La diversidad (D) oscila entre un máximo de H'=1,56 (en LP₉ -formación con menor equilibrio espacial entre las unidades U₁-U₂-U₃-) y un mínimo de H'=0,11 (en LP_{6b} -formación con mayor equilibrio espacial entre las unidades U₁-U₂-U₃-), con un promedio de H'=0,79. El valor de diversidad de la nueva formación volcánica LP₁₀ es H'=0,43, lo que la sitúa en el percentil 22,2 de diversidad (D_{LP10}=0,22). La integridad (I) deja un valor medio en el inventario del 69,9%, con un mínimo del 16,4% (en TF_{6b}) y un máximo del 100% (en LP₁₀). Como era previsible, LP₁₀ ocupa el percentil 100 de integridad (I_{LP10}=1.0). Por último, el inventario muestra un valor medio del 44,7% en las condiciones de observación (O), con un mínimo

del 5,8% (en TF_{6a}) y un máximo del 100% (en LP₁₀), por lo que LP₁₀, al ser la formación más joven y desprovista de cubierta vegetal, vuelve a localizarse en el percentil 100 en este parámetro (O_{LP10}=1.0),

La combinación aritmética de los percentiles de los parámetros A, R, D, I y O muestra el valor geomorfológico global de LP₁₀ (nuevo volcán de La Palma) en relación al conjunto de las formaciones volcánicas de su género. Así, la combinación por media aritmética simple sitúa a la formación LP₁₀ en el puesto número 3 de 27, por detrás de FV₁ (Jacomar, Fuerteventura) y LP₉ (Teneguía, La Palma). La combinación por media ponderada sitúa a la formación LP₁₀ en el puesto número 2 de 27, por detrás de FV₁. Mientras que la combinación por valor máximo sitúa a la formación LP₁₀ en el puesto número 1 de 27, compartido con FV₁, LP₉ y TF₂ (Tabla II).

Posición	Media	Media ponderada	Máximo
1	FV ₁	FV ₁	FV ₁ (1)
2	LP ₉	LP ₁₀	LP ₁₀ (1)
3	LP ₁₀	TF ₂	LP ₉ (1)
4	EH _{1c}	TF ₇	TF ₂ (1)
5	EH _{1b}	EH _{1c}	LZ ₁ (2)
6	LZ ₁	TF ₄	LZ ₂ (2)
7	LZ ₂	LP ₉	TF ₅ (2)
8	TF ₇	TF ₅	LP _{6b} (3)
9	LP ₇	LP ₇	LP ₇ (3)
10	TF ₂	TF ₁	TF ₁ (3)
11	LP ₄	LP ₁	EH _{1c} (4)
12	LP _{6b}	LP ₄	LP ₁ (4)
13	EH _{1a}	LP _{6b}	LP ₂ (4)
14	LP _{6a}	LZ ₂	TF ₄ (4)
15	TF ₄	LZ ₁	EH _{1b} (5)
16	LP ₁	TF _{3a}	LP _{6a} (5)
17	LP ₂	LP _{3b}	EH _{1a} (6)
18	LP _{3b}	EH _{1b}	LP ₅ (6)
19	LP ₅	LP _{3a}	TF ₇ (6)
20	TF ₁	LP ₂	LP ₄ (7)
21	TF ₅	LP _{6a}	TF _{3b} (7)
22	LP _{3a}	LP ₅	LP _{3a} (8)
23	LP ₈	EH _{1a}	TF _{3a} (8)
24	TF _{3a}	LP ₈	LP _{3b} (9)
25	TF _{3b}	TF _{3b}	LP ₈ (9)
26	TF _{6b}	TF _{6a}	TF _{6b} (10)
27	TF _{6a}	TF _{6b}	TF _{6a} (11)

TABLA II. Ranking de valor geomorfológico de las unidades volcánicas del inventario en función de la media, media ponderada y valor máximo de los parámetros A, R, D, I y O.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los resultados obtenidos indican que el valor geomorfológico del nuevo volcán de La Palma está entre los más altos de los volcanes históricos analizados dentro el dominio geológico de Canarias. No destacando particularmente en los parámetros de rareza (R) o diversidad (D), su elevado valor patrimonial se relaciona fundamentalmente con su integridad (I) y condiciones de observación (O), y también, aunque secundariamente, en su representatividad (A). Estos resultados son coherentes con el hecho de su reciente formación, y significan que el principal factor diferencial de la nueva formación volcánica, respecto a otros ejemplos similares de Canarias, es su buen estado de conservación en relación a los procesos de



FIGURA 2. Unidades geomorfológicas definitorias (U_1 Cono principal, U_2 Coladas de lava, U_3 Deltas lávicos) del nuevo volcán de La Palma como base para la realización del inventario y la valoración de los parámetros empleados en este estudio.

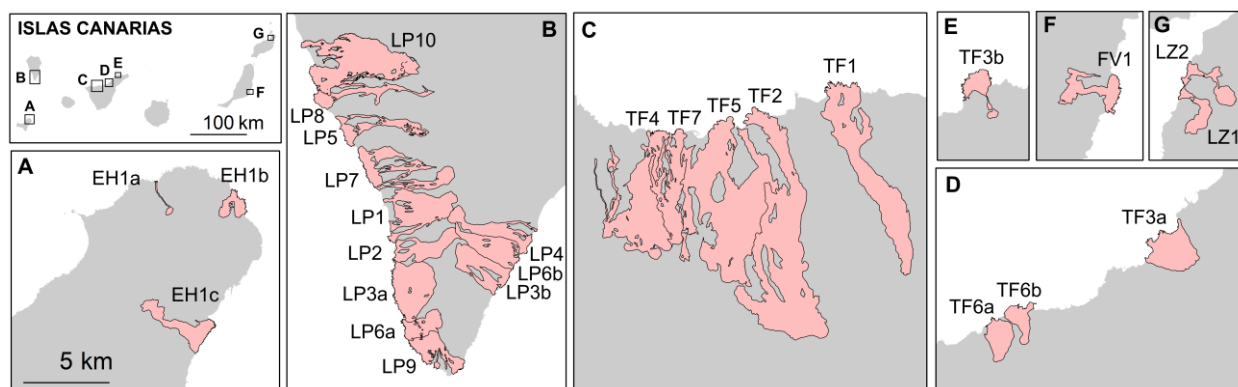


FIGURA 3. Inventario cartográfico de las 27 formaciones similares al nuevo volcán de La Palma encontradas en el dominio geológico de Canarias. El acrónimo inicial denota la isla (EH, El Hierro; LP, La Palma; TF, Tenerife; FV, Fuerteventura; LZ, Lanzarote) y la letra denota el orden de edad (donde 1 es la formación más antigua).

degradación naturales y humanos. Dado que la observación íntegra de este tipo de formaciones en Canarias es difícil dados sus altos grados de alteración, la zonificación de espacios y la conservación de este nuevo volcán brindaría la oportunidad de ofrecer un producto geoturístico excepcional para la isla de La Palma. En este sentido, ya está incluido como Lugar de Interés Geológico dentro del Inventario Español de Lugares de Interés Geológico (IELIG) (<https://info.igme.es/ielig/>), lo cual es un paso clave en la adopción de medidas conservacionistas y en el aprovechamiento sostenible de este espacio

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido desarrollado en el marco del proyecto IVRIPARC 2779/2021 financiado por el OAPN "Impactos, vulnerabilidad y resiliencia de la geodiversidad y el patrimonio geológico ante el cambio global en los Parques Nacionales Canarios" (IGME, CSIC). Nicolás Ferrer Valero es beneficiario del programa de ayudas a la formación del personal investigador 'Catalina Ruiz' de la Consejería de Economía, Conocimiento y Empleo del Gobierno de Canarias, así como del Fondo Social Europeo.

REFERENCIAS

Ancochea, E. (2004): Canarias y el vulcanismo neógeno peninsular. En: *Geología de España* (J.A. Vera ed.). SGE-IGME, Madrid, 635-682.

- Brocx, M. y Semeniuk, V. (2007): Geoheritage and geoconservation: history, definition, scope and scale. *Journal of the Royal Society of Western Australia*, 90: 53-87.
- Carracedo, J.C., Badiola, E.R., Guillou, H., de la Nuez, J. y Torrado, F.P. (2001): Geology and volcanology of La Palma and El Hierro, western Canaries. *Estudios Geológicos*, 57, 175-273.
- Galindo, I., Romero, C., Coello-Bravo, J.J., Sánchez, N., Martín-González, E. y Vegas, J. (2019) Propuesta de contextos geológicos regionales para el inventario de patrimonio geológico de las Islas Canarias. *Geogaceta*, 65: 39-42.
- García-Cortés, A., Rábano, I., Locutura, J., Bellido, F., Fernández-Gianotti, J., Martín-Serrano, A., Quesada, C., Barnolas, A. y Durán, J. J. (2000). Contextos geológicos españoles de relevancia internacional: establecimiento, descripción y justificación según la metodología del proyecto Global Geosites de la IUGS. *Boletín Geológico y Minero*. Vol. 111-6, 5-38.
- García-Cortés, A., Vegas, J., Carcavilla, L. y Díaz-Martínez, E. (2019): *Bases conceptuales y metodología del Inventario Español de Lugares de Interés Geológico (IELIG)*. IGME, Madrid, 192 p.
- Sharples, C. (2002): *Concepts and principles of geoconservation*. Tasmanian Parks & Wildlife, Hobart, 79p.
- Vegas, J., Sánchez, N., Romero, C. y Galindo, I. (2019): *Manual para la elaboración del inventario de Lugares de Interés Geológico de Canarias*. NIPO: 697-19-003-2, IGME, Madrid, 52 p.