

Aprendiendo de la erupción de 2021 en La Palma (Islas Canarias)

Learning about the 2021 eruption on La Palma (Canary Islands)

MERITXELL AULINAS¹, ALEJANDRO RODRIGUEZ-GONZALEZ², HELENA ALBERT MINGUEZ¹, MARÍA DEL CARMEN CABRERA², JUAN CARLOS CARRACEDO², JAMES M.D. DAY³, JOSE-LUIS FERNANDEZ-TURIEL⁴, ESTEBAN GAZEL⁵, HARRI GEIGER⁶, GUILLEM GISBERT PINTO¹, CLAUDIA PRIETO-TORRELL¹, VALENTIN R. TROLL^{7,2} Y FRANCISCO JOSÉ PEREZ-TORRADO²

¹ Departament de Mineralogia, Petrologia i Geologia Aplicada, Universitat de Barcelona, Martí Franquès s/n, 08028 Barcelona. meritxellaulinas@ub.edu, halbert@ub.edu, c.prieto-torrell@ub.edu

² Instituto de Estudios Ambientales y Recursos Naturales (i-UNAT), Universidad de Las Palmas de Gran Canaria (ULPGC), 35017 Las Palmas de Gran Canaria. alejandro.rodriguezgonzalez@ulpgc.es, mcarmen.cabrera@ulpgc.es, jcarracedo@proyinv.es, franciscojose.perez@ulpgc.es

³ Scripps Institution of Oceanography, Universidad de California San Diego, La Jolla, CA 92037 (Estados Unidos). jmday@ucsd.edu

⁴ Geociencias Barcelona, GEO3BCN, CSIC, Solé i Sabaris s/n, 08028 Barcelona. jlfernandez@geo3bcn.csic.es

⁵ Earth and Atmospheric Sciences, Universidad de Cornell, Snee Hall, Ithaca, NY 14853 (Estados Unidos). egazel@cornell.edu

⁶ Institute of Earth and Environmental Sciences, Universidad de Freiburg, 79104 Freiburg im Breisgau (Alemania). harri.geiger@minpet.uni-freiburg.de

⁷ Department of Earth Sciences, Natural Resources & Sustainable Development (NRHU), Universidad de Uppsala, 75236 Uppsala (Suecia). valentin.troll@geo.uu.se

Resumen Después de 50 años de la última erupción subárea en las Islas Canarias, el 19 de septiembre de 2021 se inició la erupción del volcán Tajogaite, en la isla de La Palma. Los 85 días de actividad volcánica, retransmitida prácticamente en directo por los medios de comunicación y redes sociales, no solo suscitaron un interés científico para el estudio de la erupción en sí, sino que cautivó a toda nuestra sociedad, tanto por su impacto negativo en la sociedad y economía palmera, como por la oportunidad de entender un fenómeno natural como este. Todo ello ha promovido un mayor interés por el vulcanismo entre los más jóvenes tanto de primaria como secundaria y bachillerato, cosa que se traduce en un mayor esfuerzo por parte de los docentes en su formación en vulcanología básica y en el diseño de actividades académicas centradas en esta temática. En este trabajo, se aporta un resumen detallado de las principales características de la erupción volcánica en Cumbre Vieja reforzadas con un glosario con la terminología más usada en este campo de la geología. Esta síntesis de la erupción junto con la gran cantidad de material gráfico, multimedia, y ficheros de datos generados durante la erupción son una combinación didáctica óptima para enseñar diferentes procesos geológicos y mostrar que la Geología estudia procesos actuales para comprender los pasados, que es una ciencia conectada con la realidad que nos rodea y que algunos procesos geológicos son prácticamente instantáneos en el tiempo, pero capaces de cambiar por completo el paisaje y la vida de los habitantes de una extensa zona.

Palabras clave: Erupción 2021, La Palma, recurso docente, volcán “mediático”.

Abstract *Fifty years after the last subaerial eruption in the Canary Islands, the eruption of the Tajogaite volcano on the island of La Palma began on 19 September 2021. The 85 days of volcanic activity, practically broadcast live by the media and social networks, not only aroused scientific interest in the study of the eruption itself, but also captivated the whole of our society, both for its negative impact on the society and economy of La Palma, as well as for the opportunity to understand a natural phenomenon like this. All of this has led to a greater interest in volcanism among young people in primary, secondary and high school, which translates into a greater effort on the part of teachers in their training in basic volcanology and in the design of academic activities focused on this subject. This work provides a detailed summary of the main characteristics of the volcanic eruption*

at Cumbre Vieja, reinforced with a glossary of the most used terminology in this field of geology. This summary of the eruption together with the large amount of graphic material, multimedia, and data files generated during the eruption are an optimal didactic combination to teach different geological processes and to show that geology uses current processes to understand past ones, that it is a science connected with the reality around us and that some geological processes are practically instantaneous in time, but capable of completely changing the landscape and the life of the inhabitants of a region.

Keywords: La Palma, “media” volcano, teaching resource, volcanic eruption 2021.

INTRODUCCIÓN

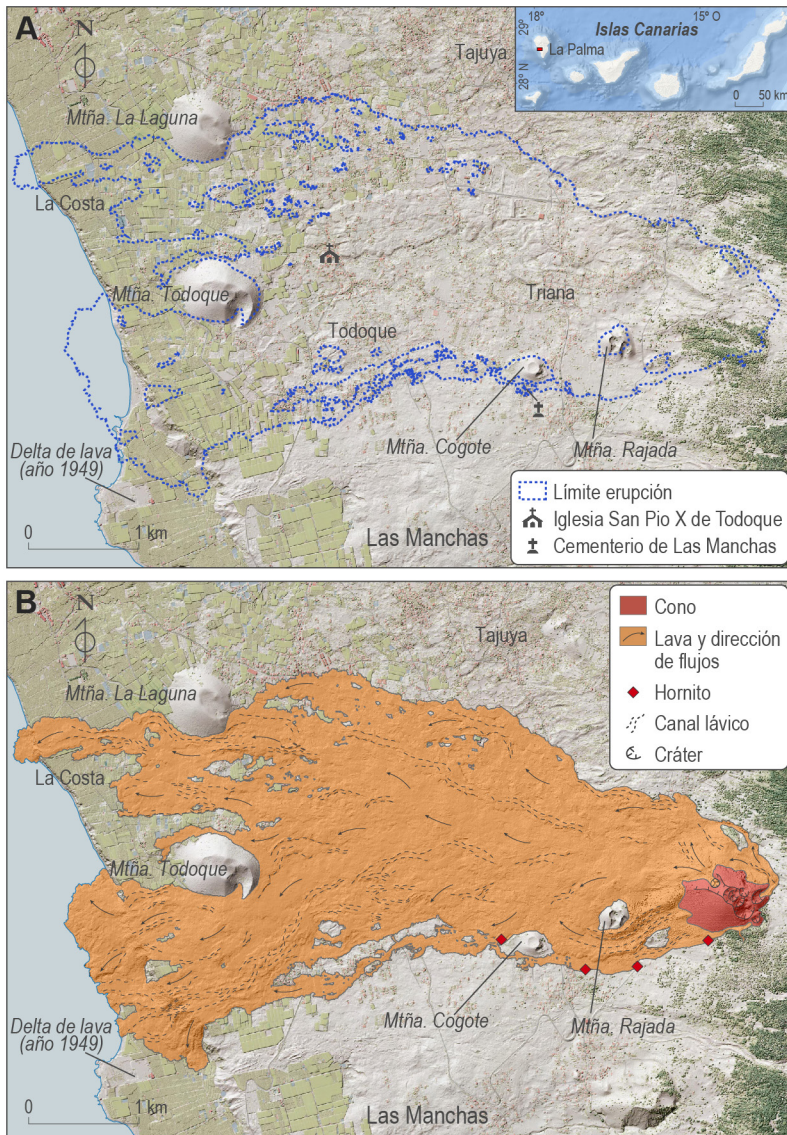
Fig. 1. Mapas del antes y después de la erupción de 2021 en la isla de La Palma (Islas Canarias). Se observa la superficie afectada tanto por el cono volcánico como por el campo de lava.

El 19 de septiembre de 2021 tuvo lugar el inicio de una erupción volcánica en la dorsal de Cumbre Vieja, en la zona suroeste de la isla de La Palma (Islas Canarias). El enjambre sísmico cada vez más somero (hasta llegar a dos km de la superficie), la deformación del terreno incrementando hasta 30 cm su altura el mismo día 19, o la alta concentración en gases de origen magmático (como el He) registrados

desde el 11 de septiembre, fueron las principales señales precursoras de una erupción inminente en esa zona. La actuación temprana del Plan Especial de Protección Civil y Atención de Emergencias por riesgo volcánico en la Comunidad Autónoma de Canarias (PEVOLCA) mitigó los efectos de la erupción sobre las personas, si bien las pérdidas materiales han sido muy cuantiosas. Esta erupción nos deja la pérdida de una vida humana, la destrucción de unas 3000 construcciones de diverso tipo, unas 950 hectáreas de cultivo y unos 74 km de carreteras (Fig. 1), según datos extraídos de la Comisión mixta para la reconstrucción, recuperación y apoyo a la isla de La Palma (https://www.mpr.gob.es/precom/notas/Documents/2022/060622-informe_palma.pdf).

Más allá de la gestión de la crisis volcánica y del impacto económico y social, la erupción de Cumbre Vieja ofrece a los científicos una oportunidad única para estudiar un fenómeno natural como éste, retransmitido prácticamente en directo por los medios de comunicación y suscitando gran interés en la sociedad tanto a nivel nacional como internacional. Esta erupción es la tercera más larga de todas las erupciones históricas registradas tanto en la Palma (Fig. 2) como en el resto de las islas, por detrás de la erupción del Timanfaya (Lanzarote) que duró 6 años (1730-36), y de la erupción del volcán submarino de Tagoro (El Hierro), que duró casi 5 meses (10 octubre de 2011 a 5 de marzo de 2012). Sin duda alguna, a lo largo de los 85 días de actividad del volcán Tajogaite, hemos recibido un curso magistral de vulcanología.

En este artículo se explican, de una forma rigurosa, pero a la vez amena, los principales procesos volcánicos que se observaron o registraron antes y durante la erupción del volcán Tajogaite. Este trabajo junto con la gran cantidad de fotografías, vídeos, ficheros de datos, etc., que se generaron a lo largo de la erupción, pueden ser utilizados como base de conocimiento de la erupción volcánica de La Palma, y como punto de partida para el diseño de actividades específicas principalmente de Secundaria y Bachillerato. La temática principal de este trabajo, el vulcanismo, ha sido objeto de estudio en esta revista a lo largo de los años, destacando los monográficos *Los Volcanes* (1999) y *Peligros Volcánicos* (2015) y artículos individuales como Carracedo *et al.* (2009) y Ortiz-García y Pérez-Torrado (2019), Aulinas *et al.* (2021a) entre otros. Todos ellos, ponen de manifiesto el interés que suscitan los fenómenos geológicos (en este caso los volcanes) y sus riesgos asociados en todos los niveles educativos.



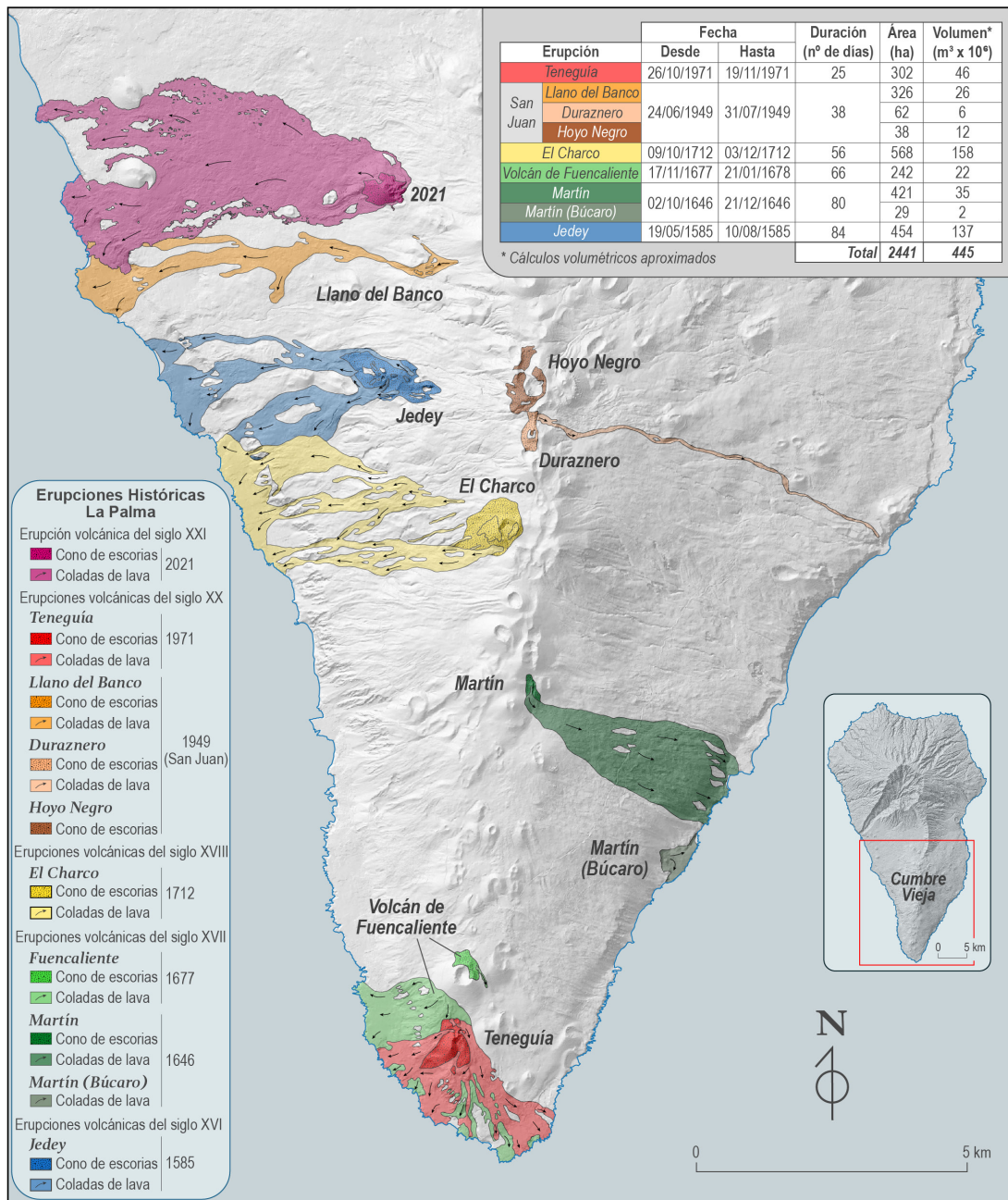


Fig. 2. Erupciones históricas en la isla de La Palma (modificada de Perez-Torrado et al., 2022).

LA DORSAL DE CUMBRE VIEJA

La Palma es la isla del Archipiélago Canario que ha registrado una actividad volcánica más intensa en tiempos históricos con un total de 7 erupciones en los últimos 500 años (ver Fig. 2). Todas estas erupciones se han concentrado en el sur de la isla, en lo que se conoce como la dorsal de Cumbre Vieja (Fig. 3A). Se trata de una estructura volcánica de tipo *rift* (dorsales en Canarias) de unos 20 km de longitud (prolongándose bajo el mar otros 20 km), orientación N-S, 1950 m de altura y 220 km² de extensión. En el eje central de la dorsal, a modo de tejado a dos aguas, se concentran la mayoría de los conos volcánicos monogénéticos, es decir, formados por una única erupción (Carracedo *et al.*, 2001; 2022; Carracedo y Troll, 2016). No obstante, algunas erupciones se han emplazado en los flancos de la dorsal, como es el caso de la erupción del 2021. Gracias a la ex-

stencia de galerías de captación de aguas subterráneas, se ha observado en el subsuelo que en la zona del eje de la dorsal es donde se inyectan la mayoría de los diques alimentadores, orientados en la misma dirección N-S de los conos (Fig. 3B).

Esta estructura volcánica se ha formado en los últimos 150000 años y representa la etapa más reciente del vulcanismo y construcción de la isla de La Palma. Los *rifts* o dorsales son estructuras típicas de islas volcánicas intraplaca, si bien es en las islas más jóvenes donde mejor se aprecian. Es el caso de las islas de La Palma y El Hierro, localizadas en el extremo occidental del archipiélago y, por ello, en su estadio juvenil de crecimiento (Carracedo *et al.*, 2007; Aulinas *et al.*, 2019; Perez-Torrado *et al.*, 2022). Las dorsales o *rifts* controlan la construcción de los edificios insulares, posiblemente desde etapas iniciales, así como la destrucción parcial de los mismos mediante deslizamientos gigantes, por lo

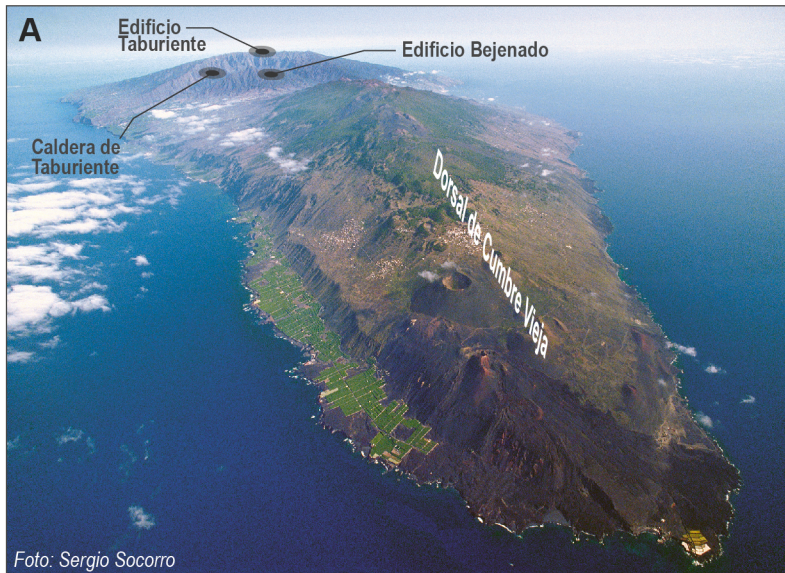


Foto: Sergio Socorro

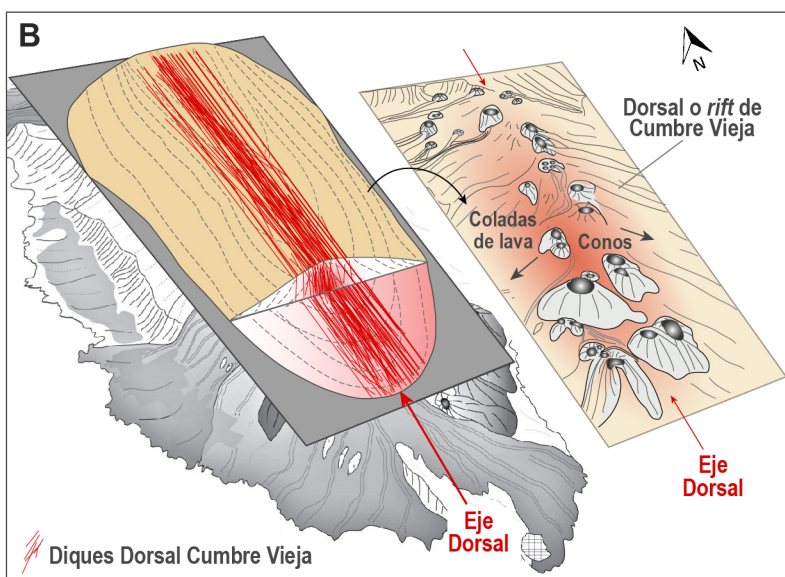


Fig. 3. A) Imagen aérea de La Palma en la que destaca la dorsal o rift de Cumbre Vieja. Destacan un gran número de focos eruptivos en la cresta de la dorsal. B) Esquema con la orientación N-S de los conos volcánicos y de los enjambres de diques alimentadores en el eje de la dorsal (figuras tomadas de Perez-Torrado et al., 2022).

que, en última instancia, determinan las principales formas del relieve presentes en las islas volcánicas intraplaca (Carracedo et al., 2007, 2009).

ERUPCIÓN DEL 2021

Aunque existen aún muchas incógnitas científicas sobre esta erupción, el enorme despliegue científico llevado a cabo durante su periodo de actividad, que se mantiene en la fase post-eruptiva, ha permitido la toma de una gran cantidad de datos que conllevará un avance en el conocimiento de este tipo de erupciones.

Precusores de la erupción: los avisos de 2017-2018

Las erupciones volcánicas no ocurren de forma repentina, sino que en todas ellas existen signos premonitorios indicativos de actividad magmática en profundidad. Estos precusores incluyen, principalmente: sismicidad, emisión de gases y deformación del terreno, la detección de los cuáles suele requerir el uso de equipamiento e instrumentación sensible para su detección. Es por ello que las zonas

volcánicas activas, como es el caso de La Palma (y el conjunto de las Islas Canarias), disponen de una red de vigilancia volcánica del Instituto Geográfico Nacional y otras instituciones en la que se miden los parámetros indicadores de cambios en profundidad y que pueden asociarse a la acumulación o ascenso de los magmas. En muchas ocasiones la actividad precursora no acaba culminando en una erupción volcánica, pero puede ser indicativa de futuras erupciones (p. ej., Albert et al. 2016; Torres-González et al. 2020).

En octubre de 2017 y febrero de 2018, el Instituto Geográfico Nacional describió dos enjambres sísmicos acompañados de cambios en las emisiones de gases como el helio y el dióxido de carbono. En concreto se registraron 128 terremotos en 8 días durante octubre de 2017 y 84 eventos sísmicos en febrero de 2018, todos ellos con magnitudes entre 1 y 2 y con hipocentros localizados entre 15 y 30 km de profundidad. A diferencia de las señales precursoras en 2021, en aquellas ocasiones, no se detectó deformación del terreno. La interpretación más plausible fue que esta actividad era fruto de una intrusión magmática a profundidades mantélicas (Torres-González et al. 2020). Después de estos dos eventos de 2017 y 2018, la actividad sísmica disminuyó considerablemente hasta el enjambre sísmico que culminó con la erupción en septiembre de 2021. Aun así, entre ambas fechas se registraron hasta siete enjambres sísmicos de pequeña entidad que anunciaban la acumulación de magma en el manto terrestre debajo de la isla.

Procesos ocurridos durante la erupción

Sobre las 15:11 hora canaria del 19 de septiembre se inició la erupción de tipo fisural y con mecanismo estromboliano en la zona de Cabeza de Vaca (municipio de El Paso). El ascenso de magma a través de un dique fracturó la superficie y formó una fisura de casi 1 km de longitud y con orientación NO-SE, de la cual surgieron varias bocas o centros emisores. Desde el día 20 de septiembre empezó a construirse un cono estromboliano principal que fue cambiando su morfología por sucesivos procesos de crecimiento y reconfiguración (p. ej. Carracedo et al., 2022). El tipo de actividad en cada uno de los centros de emisión ha variado a lo largo de la erupción en función de la separación de los gases del magma. Así, hemos visto surtidores estrombolianos con expulsión de piroclastos, bocas con actividad de tipo hawaiana con emisión de lavas, y bocas con emisión pulsante de gases sin acompañamiento de magma. También se han registrado pulsos freatomagmáticos por la interacción del magma con agua subterránea, lo que originaba un aumento en la explosividad, así como breves interrupciones temporales de la actividad volcánica, como la ocurrida el 27 de septiembre que duró unas 10 horas. A lo largo de la erupción, la intensidad de la actividad explosiva se ha reflejado a través de la columna eruptiva, especialmente por la altura alcanzada, con un valor característico de 3500 m sobre el nivel del mar (snm) y un máximo de 8500 m snm, alcanzado el 13 de diciembre de 2021, último día de la erupción. Las características descriptivas de la erupción, la altura de la columna eruptiva y, principalmente, el volumen total de material piro-

clástico arrojado (> 50 millones de m³, entre el acumulado en los centros de emisión y el de dispersión aérea), permiten establecer para esta erupción un valor de 3 en el Índice de Explosividad Volcánica¹ (en inglés VEI, acrónimo de *Volcanic Explosivity Index*).

En los episodios explosivos más intensos (p. ej., 4 y 15 de octubre, 2 y 27 de noviembre o 12 y 13 de diciembre) se observó la eyección de bloques y bombas volcánicas de gran tamaño (incluso métricas), alcanzando distancias máximas de 1,5 km desde su centro emisor y cayendo siempre dentro del radio de exclusión establecido por el PEVOLCA. A pesar de la espectacularidad de las bombas, los lapilli (picón) y cenizas han sido los principales productos piroclásticos emitidos por el volcán. El resultado de la caída de lapilli y cenizas a partir de la columna o penacho eruptivo ha implicado la formación de un manto de piroclastos que cubre la superficie previa del área afectada (como si de una nevada se tratase). El tamaño de los piroclastos disminuye a medida que nos alejamos del centro emisor, y como en cualquier proceso volcánico explosivo, las cenizas volcánicas más finas emitidas fueron sostenidas durante más tiempo por el penacho eruptivo y, en consecuencia, depositadas a mayores distancias. El desplazamiento del penacho de gases y cenizas finas favorecido por la acción de los vientos causó varios cierres intermitentes en los aeropuertos canarios. El más afectado, lógicamente, fue el aeropuerto de La Palma con más de 500 operaciones canceladas.

La mayoría de las imágenes más impactantes de esta erupción fueron tomadas con cámaras alojadas en vehículos aéreos no tripulados, popularmente conocidos como drones. Estos drones, además, han supuesto una herramienta de enorme valor para los distintos comités que componen el PEVOLCA a la hora de ver el avance de los flujos de lava, calibrar sus temperaturas mediante cámaras térmicas y, en consecuencia, asesorar en la toma las medidas de protección civil más adecuadas en cada caso.

Las lavas, grandes protagonistas de la erupción, han sido minuciosamente grabadas, lo que ha permitido tener un registro de diferentes procesos y morfologías asociadas. Por ejemplo, uno de los eventos más llamativos fueron los desbordamientos de los lagos de lava con la destrucción parcial de los conos de escorias, originando coladas de lava que arrastraban grandes bloques erráticos (Fig. 4A, B). También la llegada al mar de sucesivos flujos lávicos formando estructuras denominadas deltas de lava, conocidas en Canarias como “islas bajas” (Fig. 4C, D).

La superficie final cubierta por las lavas se calcula en unas 1200 hectáreas (ha), con un recorrido subaéreo superior a 6,5 km y submarino de más de 1 km. Las coladas de lava alcanzaron por primera vez el mar el 28 de septiembre en la zona de la Playa de los Guirres, comenzando la formación del primer delta de lava. Las sucesivas llegadas de coladas de lavas al mar terminaron por construir dos deltas lávicos: uno situado más al sur y principal, por unión

de tres deltas inicialmente separados entre sí, y otro construido posteriormente más al norte que los anteriores (ver Fig. 1). La superficie total ganada al mar por los dos deltas asciende a unas 50 ha. Este proceso de crecimiento de la isla no es una novedad. De hecho, las erupciones históricas conocidas en la Palma a partir del siglo XVI cuyas lavas llegaron al mar han formado deltas de lava. El más extenso es el formado por las lavas surgidas del volcán Llano del Banco (erupción de San Juan de 1949), sobre el cual, en su extremo más septentrional, fluyeron las coladas de lava que alimentaron por el extremo más meridional al delta sur de esta erupción de 2021 (ver Fig. 2).

A lo largo de la erupción se han podido observar numerosos tubos lávicos que drenaban la lava hacia el mar. Los tubos lávicos son conductos naturales a través de los cuales la lava viaja por debajo de la superficie sin apenas pérdida de temperatura. Se forman por enfriamiento de la parte externa de la colada de lava al contacto con el aire, formando una costra sólida que aísla la parte interna de la lava que sigue fluyendo muy caliente. El desplome parcial del techo de estos tubos volcánicos, conocidos como jameos en Canarias, ha permitido ver la lava fluyendo en su interior (Fig. 4E). Asimismo, se han observado en numerosas ocasiones cómo los flujos lávicos se dividían en múltiples brazos que podían agruparse de nuevo pendiente abajo, dando líneas de flujo anastomosadas (Fig. 4F). Finalmente, otra morfología destacable fueron las formas arqueadas en la dirección del flujo en los techos escoriáceos de los lóbulos (Fig. 4G, H). Las dimensiones de muchas de estas morfologías hacen que sólo puedan apreciarse en su conjunto desde puntos de vista elevados y a cierta distancia, lo que se consigue fácilmente con cámaras transportadas en los vehículos aéreos no tripulados (drones).

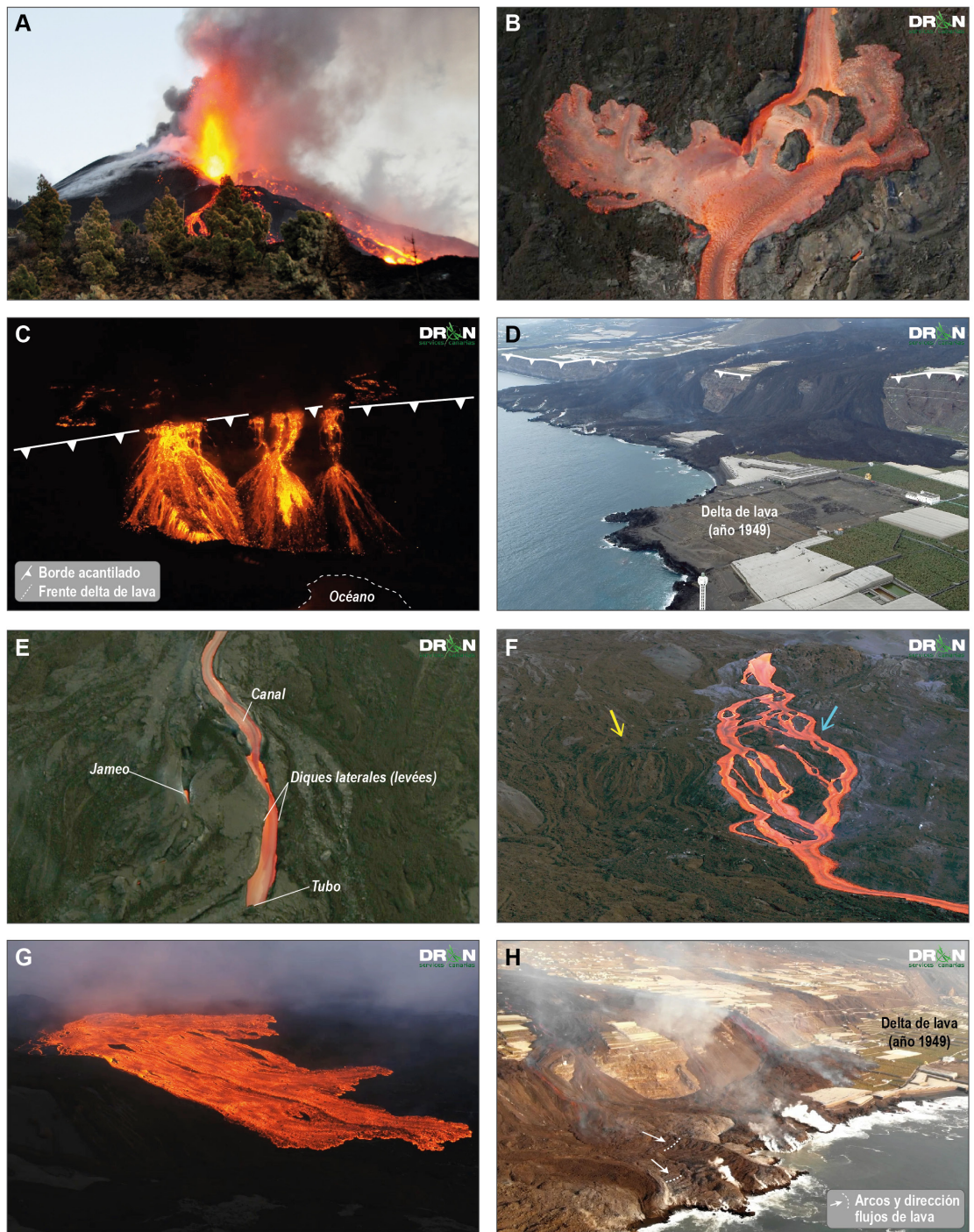
Características de las lavas

Las lavas emitidas a lo largo de esta erupción han sido mayoritariamente de tipo *a'a'* (malpaís en Canarias), y menos frecuentemente de tipo pahoe-hoe (lavas cordadas en Canarias). Ambas tipologías son características de magmas máficos, es decir, magmas de composiciones relativamente pobres en SiO₂, tales como los emitidos en la erupción de Cumbre Vieja². Las lavas *a'a'* (Fig. 5A) muestran, tanto en sus techos como en los bordes laterales (*levées*), superficies rugosas, escoriáceas y muy fracturadas en fragmentos irregulares, lo que dificulta en gran manera caminar sobre ellas (de ahí el nombre de malpaís). Por su parte, las lavas pahoe-hoe de esta erupción generaron morfologías conocidas como “*spiny pahoe-hoe*” (Fig. 5B), con características intermedias entre las pahoe-hoe y las *a'a*. En la mayoría de las ocasiones se formaban cuando los caudales de lava superaban los bordes de los *levées* y se producían delgados derrames que fluían lateralmente. A diferencia de las lavas pahoe-hoe, que no suelen alcanzar el metro de espesor, los frentes

¹ Para un mayor detalle sobre el significado y la forma de calcular este índice, puede consultarse Perez-Torrado y Rodriguez-Gonzalez (2015).

² Más detalles sobre los tipos de lavas y formación de tubos volcánicos se pueden consultar en Carracedo y Perez-Torrado (2015a).

Fig. 4. Fotos de la erupción volcánica ocurrida en 2021 en La Palma. A) Desbordamiento de lava arrastrando parte del cono piroclástico el 25 de octubre. B) Bloque errático desgajado del cono transportado por una colada de lava (parte superior derecha de la colada de lava). Tiene el tamaño de una casa (13 de noviembre). C) Caída de lava por el borde de acantilado costero alimentando el delta lávico del sur (9 de noviembre). D) Imagen aérea del delta lávico del sur formado por la confluencia de numerosas coladas de lava. En primer plano, el delta lávico generado en la erupción de 1949 sobre el que se emplazaron algunos de los últimos flujos de lava (14 de noviembre). E) Colada de lava canalizada que forma un tubo pendiente abajo. Se aprecia igualmente el colapso parcial del techo (jameo) de otro tubo que permite ver el flujo de lava en su interior (12 de noviembre). F) División de flujo de lava en numerosos brazos anastomosados (flecha azul) y mismo efecto ya petrificado (flecha amarilla) en colada de lava previa (17 de noviembre). G) Expansión de colada de lava en numerosos lóbulos con formas arqueadas en la dirección del flujo (5 de noviembre). H) Arcos de arrastre en la dirección del flujo (14 de noviembre) (imágenes B, C, D, E, F, G y H cedidas por Dron Services Canarias).



de los flujos de lava a'a' superaban los 7 m. Se estima que la acumulación de las distintas coladas de lavas a'a' ha dado lugar a espesores máximos de 70 m, con valores medios de 12 m. En los deltas lávicos se formaron las características lavas almohadilladas (*pillow lavas* en inglés) en respuesta al brusco enfriamiento en contacto con el agua del mar (Fig. 5C, D).

El estudio de las lavas con el microscopio petrográfico³ puso de manifiesto lo que la propia actividad eruptiva, así como los registros sísmicos,

³ Información sobre la terminología y características petrográficas de los materiales volcánicos bajo el microscopio se encuentran en Aulinas et al. (2021b).

estaban indicando que el volcán se estaba alimentando de dos reservorios magmáticos localizados a diferentes profundidades, como se explica más adelante. Las primeras lavas, clasificadas como tefritas, tenían fenocristales de piroxenos y anfíboles, con escasos olivinos. Las siguientes lavas, clasificadas como basanitas y procedentes de un reservorio más profundo, ya no presentaban los anfíboles y el olivino se hacía un fenocristal abundante. En general, todas las lavas presentaban texturas vacuolares, porfídicas e inequigranulares, con fenocristales milimétricos inmersos en una matriz afanítica de color oscuro. En Aulinas et al. (2021b) pueden encontrar más detalles sobre las características petrográficas de las lavas y piroclastos emitidos en esta erupción.

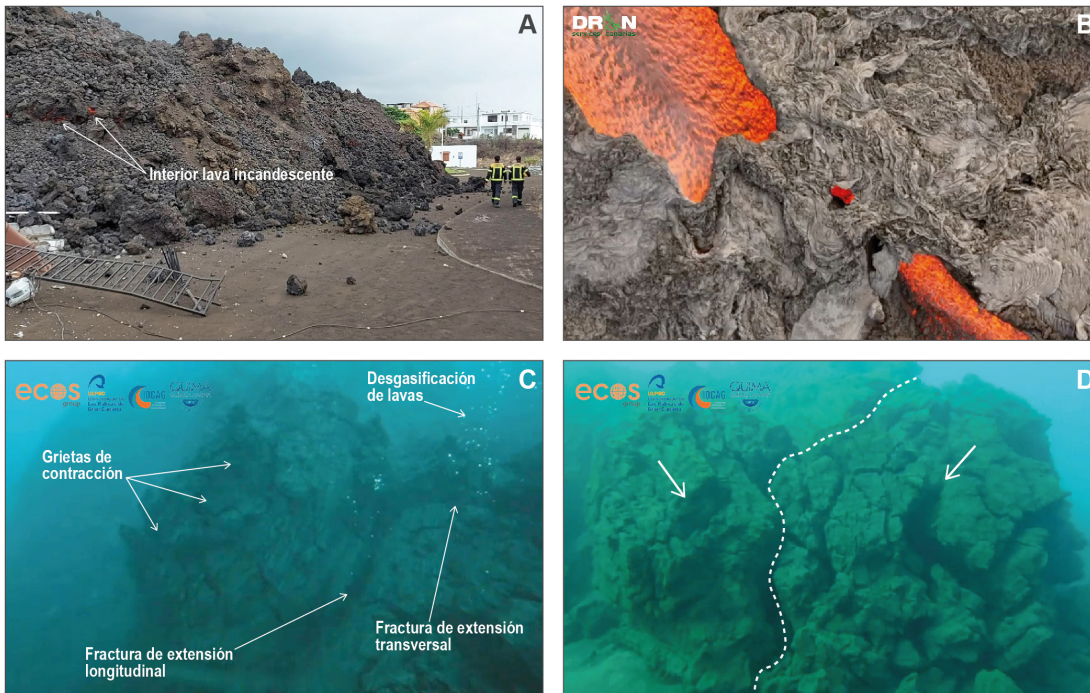


Fig. 5. Morfologías de los distintos tipos de lavas observados a lo largo de la erupción. A) Frente de lava a'a (22 de septiembre). Esta colada es la que terminó destruyendo la iglesia de Todoque. B) Imagen de dron en el que se aprecia una colada de lava formando morfología tipo spiny pahoehoe (15 de octubre). C) Vista longitudinal de dos lóbulos de lavas almohadilladas mostrando diferentes tipos de grietas y fracturas. Foto tomada a 16,6 m de profundidad con un vehículo submarino operado remotamente, conocido como ROV por sus siglas en inglés (9 de octubre). D) Vista transversal de dos lóbulos (contacto indicado por línea discontinua) con la característica forma arriñonada, grietas de retracción y tubos alimentadores (indicados con flechas). Foto tomada a 15,2 m de profundidad el día 20 de noviembre. (Imagen B cedida por Dron Services Canarias. Imágenes C y D cedidas por ECOS, Estudios Ambientales y Oceanografía, S.L.).



Fig. 6. Material piroclástico y estructuras asociadas. A) Vista nocturna de las bombas volcánicas con trayectoria balística cayendo sobre las faldas del cono volcánico que estaba en pleno crecimiento (23 de septiembre). B) Cráteres de impacto generados por las bombas volcánicas. La gran mayoría de los que aparecen en la foto se formaron durante el último día de la erupción, el 13 de diciembre de 2021. Dada la fragilidad de estas estructuras ante procesos erosivos naturales y antrópicos, el Cabildo de La Palma sólo deja acceso restringido a científicos y solicitando que se camine siempre en una misma pista. De hecho, en la foto se puede apreciar como ya en algunos de estos cráteres las bombas volcánicas han desaparecido (foto tomada el 27 de enero de 2022). C) Bomba de dispersión rodante. Fotograma central extraído de un video (https://www.dropbox.com/s/ld78og6doetdki/supplementary_video4.mp4) en el que se aprecia el viaje de esta bomba a favor de la pendiente, una vez que el volcán la ha expulsado de forma balística. Ese viaje, a favor de una fuerte pendiente cubierta por el material piroclástico de dispersión, permite a estas bombas rodar sin dificultad, alcanzando mucha mayor distancia que la propia balística. La flecha indica el momento en el que, en uno de los golpeteos con el sustrato, la bomba se rompe y lanza un fragmento incandescente que queda disperso respecto a la bomba. Las fotos en los recuadros son detalles de ese fragmento y de la bomba (27 de octubre). D) Secuencia piroclástica acumulada a lo largo de la erupción en el área conocida como Mirador del Jable, a unos 2 km de distancia al ENE del volcán. Obsérvese el contacto con el sustrato (de color marrón), las distintas capas acumuladas con cambios significativos en la granulometría y el nivel guía (marcado con flecha) de color rojizo generado durante el pulso freatomagmático ocurrido la tarde del 15 de octubre de 2021 (foto tomada el 25 de enero de 2022).

Características de los piroclastos

Todo el material piroclástico emitido en esta erupción ha sido de caída, bien sea balística o de dispersión aérea (también conocido como de dispersión horizontal). Afortunadamente, no se produjo ningún flujo piroclástico, ni de tipo colada ni de tipo oleada⁴.

El apilamiento de los piroclastos de proyección balística, principalmente bombas (Fig. 6A) y, en menor proporción, lapilli, alrededor de las bocas eruptivas fue el causante de la construcción del cono volcánico principal y el cono secundario surgido en su ladera norte a finales del mes de noviembre. Este proceso de apilamiento y construcción de los conos volcánicos fue muy rápido. Así, el cono principal alcanzó dimensiones similares a las finales en apenas dos semanas, si bien su morfología iba cambiando continuamente debido, principalmente, a la reconfiguración de sus conductos de salida.

El impacto de las bombas contra el material piroclástico de dispersión aérea previamente acumulado daba lugar a los típicos cráteres de impacto (*bomb sag* en inglés). Especialmente espectacular fue el campo de impactos generado el último día de la erupción (Fig. 6B), donde la actividad estromboliana fue especialmente explosiva, alcanzándose la máxima altura de la columna eruptiva medida en unos 8500 m.

Otro fenómeno curioso que se observó durante la erupción fue la formación de bombas de dispersión rodantes (Fig. 6C): bombas balísticas que, al caer sobre el material piroclástico no consolidado previamente acumulado en zonas de fuerte pendiente, especialmente en la ladera sur del volcán recién creado, rodaban y saltaban aún incandescentes, desprendiendo fragmentos que quedaban dispersos a lo largo de su rodadura (Day *et al.*, 2022a). En consecuencia, estas bombas podían alcanzar mayores distancias que las estrictamente balísticas, por lo que suponían un riesgo añadido. Por ello, desde el PEVOLCA se recomendó aumentar el radio de exclusión alrededor del volcán en 2 km, aunque la distancia máxima observada de las bombas balísticas fue de 1,5 km.

En cuanto a los piroclastos de dispersión aérea (horizontal), constituidos por lapilli y cenizas, formaron depósitos que recubrieron de forma uniforme el terreno previo, especialmente en la vertiente sur del volcán donde se midieron los mayores espesores, superando los 3 m. Estos piroclastos iban cayendo a modo de lluvia, formando capas de diferente espesor que dan el característico aspecto de depósito con laminación paralela (Fig. 6D). La variación de la granulometría y espesor de las distintas capas era un reflejo de la mayor o menor explosividad de la erupción, de la distancia al foco eruptivo y de la dirección de los vientos dominantes (la mayoría de los días, con componente NE, típico alisio).

Este tipo de depósitos piroclásticos puede cubrir grandes superficies de terreno en un tiempo instan-

táneo a escala geológica, por lo que representan magníficos niveles guía estratigráficos, dando lugar a una especialidad científica denominada tefrocronología. En el caso de esta erupción de La Palma, a pesar de que alcanzó un valor de solo 3 en el índice de explosividad volcánica (VEI), dispersó su material más fino (las cenizas) a miles de km de distancia, documentándose llegada de gases volcánicos y cenizas finas no sólo en el resto de las Islas Canarias, sino en regiones tan alejadas como Europa Central y el Caribe (p. ej., Carracedo *et al.*, 2022). Ahora bien, también hay que tener en cuenta que el grado de conservación de estos depósitos es muy bajo, ya que se erosionan con facilidad debido a la acción de los agentes geológicos externos, principalmente viento y aguas de arroyada.

Como dato curioso que ilustra el valor de estos depósitos piroclásticos de caída para correlaciones estratigráficas, el pulso freatomagmático que tuvo lugar el 15 de octubre generó un nivel guía de poco más de 1 mm de espesor que se dispersó principalmente hacia la vertiente NE del volcán (ver Fig. 6D). Este nivel presenta un color rojizo, lo que lo hace fácilmente diferenciable del resto de capas de caída de color negro. El color rojizo es debido a la gran cantidad de pequeños fragmentos líticos que fueron arrancados y desmenuzados por el pulso freatomagmático explosivo de los flancos de un cono piroclástico pleistoceno que existía en la zona donde nació el volcán.

Al contrario que en las lavas y algunas bombas, el material piroclástico de dispersión, especialmente el de tamaño ceniza, presenta muy escaso contenido de minerales, representando el vidrio volcánico más del 90% del total. Ello hace que sea un material muy fácilmente lixiviable, pudiendo aportar significativos valores de algunos de sus elementos químicos al suelo y a las aguas subterráneas. La composición química máfica de los magmas involucrados no presagia que esta lixiviación pueda provocar aportes de elementos químicos potencialmente nocivos para las plantas y las aguas subterráneas, sino más bien al contrario.

Los datos de la erupción

El 13 de diciembre de 2021 a las 22:21 hora canaria se dio por finalizada la erupción en el flanco oeste de Cumbre Vieja. La fotografía final de la erupción es la formación de un nuevo volcán, con seis cráteres alineados a lo largo de más de 500 m y miles de hectáreas de terreno cubiertas por las lavas y piroclastos, cambiando completamente el paisaje de esa zona de la isla. En la Tabla I se resumen sus datos más significativos.

Los datos sísmicos reportados a lo largo de la erupción, así como la composición química de las lavas y piroclastos emitidos, sugieren dos reservorios magmáticos como fuentes de alimentación: uno más profundo (> 20 km), localizado cerca del contacto entre la corteza oceánica y el manto superior (discontinuidad de Mohorovicic, conocida como Moho), del que provendría el magma basanítico, y otro más somero, localizado entre 5-15 km de profundidad, del que provendría el magma tefrítico que surgió en los primeros días de la erupción (p. ej., Day *et al.* 2022b) (Fig. 7).

⁴ Para un mayor conocimiento sobre los diferentes tipos de depósitos piroclásticos y su terminología, pueden consultarse los trabajos de Colombo y Martí (1992), Pujadas *et al.* (1999) y Perez-Torrado y Fernandez-Turiel (2015).

DURACIÓN (85 días y 8 horas)	<ul style="list-style-type: none"> · Inicio: 19-09-2021 a las 14:11 (UTC) · Final: 13-12-2021 a las 22:21 (UTC)
TIPOLOGÍA ERUPTIVA	<ul style="list-style-type: none"> · Erupción fisural con mecanismo predominantemente estromboliano y algunos pulsos freatomagmáticos (interacción del magma con aguas subterráneas poco profundas) · Índice de Explosividad Volcánica: 3 (en una escala de 0 a 8)
COMPOSICIÓN DE LOS MATERIALES EMITIDOS (lavas y piroclastos)	<ul style="list-style-type: none"> · Tefritas (magmas algo diferenciados) al inicio de la erupción · Basanitas (magmas más primitivos) a partir de finales de septiembre · Minerales principales: olivinos, clinopiroxenos, magnetitas, plagioclasas y anfíboles (sólo en las tefritas)
EDIFICIO VOLCÁNICO (cono)	<ul style="list-style-type: none"> · Superficie \approx 32.7 ha · Volumen: \geq 28 millones m³ · Altura máxima sobre superficie previa \approx 200 m · Número de cráteres: 6 · Longitud media base del edificio: 700 m
COLUMNA ERUPTIVA	<ul style="list-style-type: none"> · Altura más frecuente: 3500 m sobre el nivel del mar (snm) · Altura máxima: 8500 m snm · Alcance máximo de los piroclastos balísticos (bombas y bloques): 1.5 km · Volumen piroclastos de dispersión (lapillis y cenizas): $>$ 20 millones m³ · Cantidad de SO₂ emitido: 2 millones de toneladas (la emisión de este gas de las centrales térmicas en España en el año 2021 se estimó entre 5000 y 40000 toneladas)
COLADAS DE LAVA	<ul style="list-style-type: none"> · Superficie subaérea cubierta: \approx 1187 ha · Superficie ganada al mar \approx 48 ha (\approx 43 ha el delta lávico sur y \approx 5 ha el delta lávico norte) · Superficie submarina de los deltas lávicos $>$ 21 ha · Volumen subaéreo: \approx 187 millones m³ · Volumen submarino: \geq 7 millones m³ (deltas lávicos y prolongación mar adentro) · Recorrido máximo subaéreo: \geq 6.5 km · Recorrido máximo subaéreo: \geq 1.1 km · Potencia (espesor) media: 12 m · Potencia (espesor) máxima: 70 m · Temperatura máxima medida: 1140 °C · Tipología: mayoritariamente a'ā (malpaís) y minoritariamente pāhoehoe (cordadas)
GEOFÍSICA	<ul style="list-style-type: none"> · Seísmos detectados previos a la erupción (entre el 11 y 19 de septiembre de 2021): \geq 6700 · Seísmos detectados durante la erupción: $>$ 10000 · Energía sísmica liberada acumulada: 6.3×10^{13} julios (equivalente a unos 175 millones MWh, el consumo eléctrico de toda España en 8 meses) · Máxima deformación en la vertical (abombamiento del terreno): 33 cm
AFECCIÓN	<ul style="list-style-type: none"> · Edificaciones destruidas por las lavas: \geq 2900 · Edificaciones afectadas por los piroclastos de dispersión: $>$ 200 · Superficie de cultivos destruida por las lavas: \approx 370 ha · Superficie de cultivos afectada por los piroclastos de dispersión: \approx 624 ha · Kilómetros de carreteras afectadas: 73.8 · Vuelos cancelados en la isla: $>$ 500 · Personas evacuadas: \approx 7000

Tabla I. Resumen de los datos más relevantes de la erupción de 2021 ocurrida en la dorsal de Cumbre Vieja en la isla de La Palma (tabla tomada de Perez-Torrado et al., 2022).

Pasada la erupción empezó la fase post-eruptiva. Si bien el volcán ya no emite magma, ni en forma de lavas ni de piroclastos, la sismicidad ha ido disminuyendo en todas las profundidades y no existe deformación del terreno, el proceso de desgasificación sigue siendo activo. Por un lado, sigue habiendo emanaciones de dióxido de azufre en los centros eruptivos, debido a la solidificación del magma superficial en sus conductos. Por otro lado, también hay emanaciones de dióxido de carbono en

el área cercana al delta sur que comenzaron en las semanas finales del proceso eruptivo. Estas emanaciones, junto con los millones de metros cúbicos de materiales volcánicos que cubren y sepultan parte del flanco oeste de la dorsal de Cumbre Vieja, son los principales escollos con los que los habitantes de la isla trabajan día a día para recuperar y volver a la normalidad en sus vidas.

A pesar de todos los daños que ha causado esta erupción en la isla de La Palma, no por ello deja de

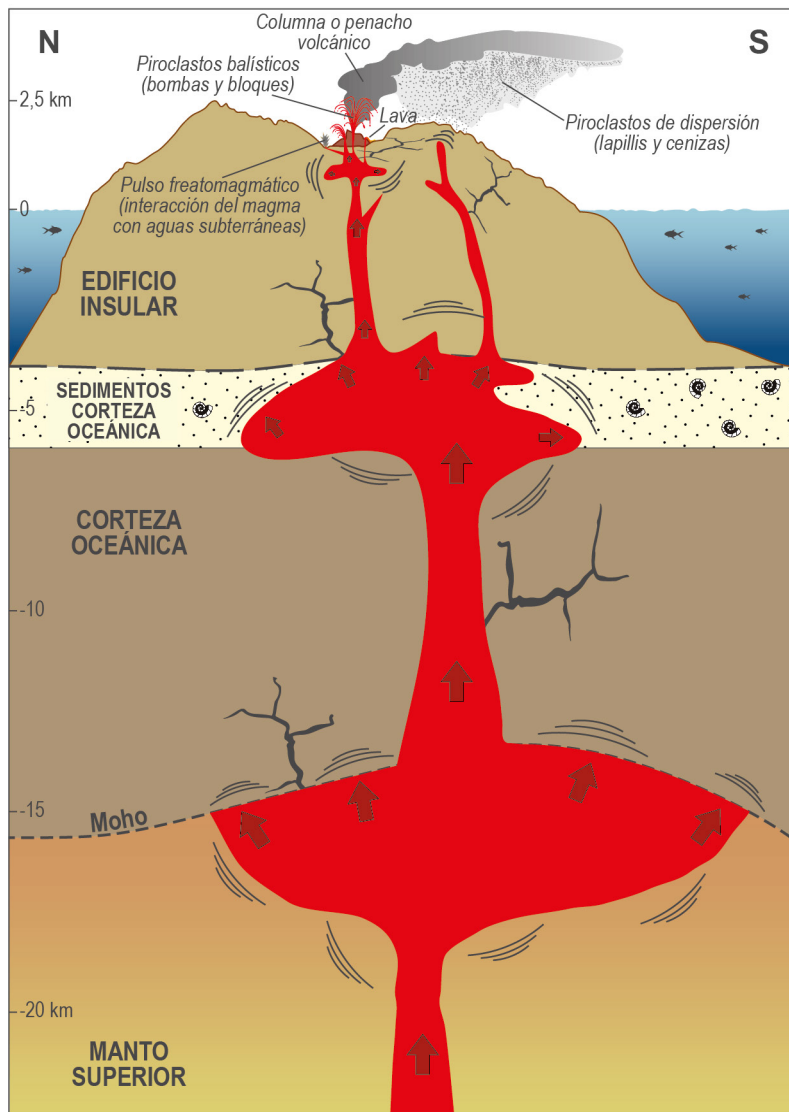


Fig. 7. Esquema interpretativo del sistema magmático bajo el volcán de 2021 en Cumbre Vieja (La Palma), realizado a partir de los datos petrológicos-geoquímicos de los materiales emitidos y de los datos geofísicos, principalmente sísmicos, detectados en las redes de vigilancia que habían desplegado el IGN y el INVOLCAN (figura tomada de Perez-Torrado et al., 2022).

ser la “isla bonita”. Es más, el nuevo paisaje volcánico creado podrá servir de reclamo (uno más) para los amantes del turismo volcánico (Carracedo y Perez-Torrado, 2015b), un turismo muy activo y sostenible que los habitantes de La Palma miman con gran esmero y cuidado.

LA ERUPCIÓN EN LOS MEDIOS Y REDES SOCIALES

Si en la erupción submarina del volcán Tagoro, en la isla de El Hierro (2011-12), el seguimiento informativo de los acontecimientos que se sucedieron fue constante, en esta última erupción los medios de comunicación se han volcado de nuevo dando una espectacular cobertura de este fenómeno geológico. La erupción ha abierto noticieros televisivos y radiofónicos, ha sido portada en prensa escrita y *trending topic* en redes sociales como twitter. En esta ocasión, los científicos han tenido un papel importante en la construcción del relato periodístico de los hechos, pero esto no exime que en ocasiones algunos medios hayan caído en el relato insano y a veces morboso de una tragedia de este calibre. Twitter ha sido, sin duda alguna, la red social más

utilizada para el seguimiento de la erupción. Las cuentas de organismos oficiales e instituciones públicas que forman parte del Comité Científico del PEVOLCA, como el Instituto Geográfico Nacional (@IGNSpain), Instituto Volcanológico de Canarias (@INVOLCAN), Instituto Geológico y Minero de España (@IGME1849), Consejo Superior de Investigaciones Científicas (@CSIC, @IGeociencias), Universidad de las Palmas de Gran Canaria (@ULPGC), Universidad de la Laguna (@ULL), Agencia Española de Meteorología (@AEPET_Esp) e Instituto Español de Oceanografía (IEOceanografía), han informado de forma constante sobre la evolución de la erupción a través de este canal.

A lo largo de estos tres meses de actividad se ha generado una gran cantidad de material sobre la erupción como ficheros de datos, información diaria de la actividad volcánica, visores 2D y 3D de la sismicidad y la distribución de las coladas de lava, galerías fotográficas, videos de la erupción (muchos de ellos realizados con drones), así como recursos educativos. Todos estos elementos se hospedan en distintas páginas web accesibles a toda la ciudadanía, entre las que destacan:

- Instituto Geográfico Nacional (<https://www.ign.es/web/vlc-serie-palma>)
- Instituto Geológico y Minero de España (<https://info.igme.es/eventos/Erupcion-volcanica-la-palma>)
- Copernicus Emergency Management Service de la Unión Europea (<https://emergency.copernicus.eu/mapping/list-of-components/EMSR546>)
- CabildodeLaPalma (<https://volcan.lapalma.es/>)

Todas estas webs y muchas otras más, junto con otros recursos de muy diferentes signos que se encuentran en internet, han sido recopilados desde la vocalía de Tecnologías de la Información y Comunicación de AEPECT y alojadas en su web en el siguiente enlace:

- <http://www.aepect.org/2021/10/19/recursos-didacticos-erupcion-volcanica-de-la-palma/>

LA ERUPCIÓN COMO RECURSO DIDÁCTICO

Las erupciones volcánicas son fenómenos naturales muy frecuentes que ofrecen imágenes de gran espectacularidad. Cada año hay varias decenas de volcanes en erupción y siempre alguna de estas erupciones tiene una gran repercusión mediática debido a los daños y pérdidas humanas y económicas que genera. En otras ocasiones el interés informativo está relacionado con la proximidad geográfica. Este es el caso de la erupción de 2021 de La Palma que, a pesar de su pequeña magnitud relativa, ha sido la gran protagonista durante tres meses en la televisión, la radio y los periódicos.

Tal y como proponen Brusi et al. (2008), utilizar estas noticias de actualidad en el aula es un recurso didáctico extraordinario. Por una parte, permite analizar el fenómeno natural en sentido estricto para que el alumnado comprenda de una manera más rigurosa lo que está viendo, escuchando y leyendo en los medios de comunicación. Por otra parte, se puede utilizar como reclamo para abordar otros temas del currículo de la ESO y de Bachillerato. A partir de una erupción volcánica como la de La Pal-

ma, se pueden enseñar contenidos de tectónica de placas, de mineralogía y petrología, de estratigrafía, de geomorfología, de geocronología, de riesgos y recursos naturales, de ecología, etc. Es una magnífica oportunidad para que el alumnado aprenda Geología aprovechando la gran proyección mediática de la erupción. En esta línea, han sido numerosos los docentes de ESO y Bachillerato que han contactado con algunos de los autores de este artículo para comentarnos que habían empezado la asignatura de Biología y Geología (en los 3 cursos de la ESO y 1º de Bachillerato donde se imparte) por los contenidos geológicos, cuando tradicionalmente se comienza por los biológicos, y que habían notado cómo sus estudiantes aprendieron mucho mejor esos contenidos, con la erupción volcánica de La palma como referente, que en cursos anteriores. También docentes de la etapa de Primaria han aprovechado la erupción para explicar contenidos geológicos en las asignaturas de Ciencias de la Naturaleza. Por supuesto, los docentes universitarios, entre los que nos encontramos muchos de los autores de este artículo, hemos aprovechado esta erupción como recurso educativo en nuestras asignaturas de contenidos geológicos.

Por ello, este artículo se ha orientado para ofrecer información detallada, a la par que sencilla, de la erupción de 2021 de La Palma para que pueda ser utilizada como ejemplo en diferentes bloques temáticos de los contenidos geológicos de ESO y de Bachillerato. Por otra parte, a partir de estas erupciones, los docentes pueden diseñar actividades específicas, tal y como proponen González *et al.* (2011) para el caso de terremotos, o bien adoptar alguna de las numerosas actividades didácticas sobre vulcanismo que están publicadas en esta misma revista como, por ejemplo, Aulinas *et al.* (2015, 2021b), Ramon-Sala y Brusi (2015), Ortiz García y Perez-Torrado (2019) y Montesdeoca-Esponda *et al.* (2020).

Por último, queremos resaltar una colección de paneles titulada "Volcanes en movimiento", que comenzó con 8 paneles en colaboración con el Geoparque de El Hierro y que se amplió a 10 a cuenta de la erupción de La Palma (Perez-Torrado *et al.*, 2022). Esta colección puede descargarse desde el servidor del CSIC en el siguiente enlace:

· <https://doi.org/10.20350/digitalCSIC/14494>

Además, para los 8 primeros paneles existe también una versión en inglés, alojada en el mismo servidor del CSIC, y que puede descargarse en este otro enlace:

· <https://doi.org/10.20350/digitalCSIC/14519>

Desde APECT se ha dinamizado esta colección, imprimiendo los paneles en formato roll-up de 1 m de ancho por 2 m de alto, y poniéndola a disposición de todos los centros educativos que lo soliciten.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se enmarca en los proyectos LAJIAL (Ministerio de Ciencia e Innovación, ref. PGC2018-101027-B-I00, MCIU/AEI/FEDER, EU) y MESVOL ("Monitorización, evaluación y seguimiento multidisciplinar de la erupción volcánica de La Palma", Ministerio de Ciencia e Innovación a través de la

Universidad de Las Palmas de Gran Canaria). Los autores quieren agradecer a las empresas Dron Servicios Canarias y ECOS, Estudios Ambientales y Oceanografía, S.L. por la cesión de imágenes de drones y submarinas, respectivamente. Se agradece también los comentarios de dos revisores anónimos, así como de la editora de este volumen.

BIBLIOGRAFÍA

Aulinas, M., Rodríguez-Gonzalez, A. y Planagumà Guàrdia, Ll. (2015). Los volcanes en la red (www): la enciclopedia del siglo XXI. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 23.1, 107-120.

Aulinas, M., Rodríguez-Gonzalez, A., Fernández-Turiel, J.L., Pérez-Torrado, F.J. y Carracedo, J.C. (2019). Plumas mantélicas y puntos calientes: causa-efecto. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 27.3, 267-277.

Aulinas, M., Rodríguez-Gonzalez, A., Albert, H., Cabrera, M.C., Carracedo, J.C., Day, J.M.D., Fernández-Turiel, J.L., Gazel, E., Geiger, H., Gisbert Pinto, G., Prieto-Torrell, C., Troll, V.R. y Pérez-Torrado, F.J. (2021a). La erupción de 2021 en La Palma (Islas Canarias) bajo el microscopio. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 29.2, 249-252.

Aulinas, M., Rodríguez-Gonzalez, A., Alías, G., Pérez-Torrado, F.J., Albert, H., Cabrera, M.C. y Aguilar, C. (2021b). Las rocas ígneas en el microscopio petrográfico. Estrategias y recursos para su aprendizaje. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 29.2, 135-145.

Albert, H., Costa, F. y Martí, J. (2016). Years to weeks of seismic unrest and magmatic intrusions precede monogenetic eruptions. *Geology*, 44(3), 211-214.

Brusi, D., Alfaro, P. y González, M. (2008). Los riesgos geológicos en los medios de comunicación. El tratamiento informativo de las catástrofes naturales como recurso didáctico. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 16.2, 154-166.

Carracedo, J. C., Badiola, E. R., Guillou, H., de la Nuez, J. y Pérez-Torrado, F. J. (2001). Geology and volcanology of La Palma and El Hierro, Western Canaries. *Estudios Geológicos*, 57(5-6), 175-273.

Carracedo, J.C., Pérez-Torrado, F.J. y Hansen, A. (2007). El relieve de las Islas Canarias. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 15.2, 196-205.

Carracedo, J.C., Pérez-Torrado, F.J., Paris, R. y Rodríguez Badiola, E. (2009). Megadeslizamientos en las Islas Canarias. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 17.1, 44-56.

Carracedo, J.C. y Pérez-Torrado, F.J. (2015a). Peligros asociados a las coladas de lava. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 23.1, 49-58.

Carracedo, J.C. y Pérez-Torrado, F.J. (2015b). Recursos naturales y vulcanismo: Turismo volcánico. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 23.1, 88-95.

Carracedo, J.C. y Troll, V.R. (2016). *The Geology of the Canary Islands*. Ed. Elsevier. 636 pp.

Carracedo, J.C., Troll, V.R., Day, J.M.D., Geiger, H., Aulinas, M., Soler, V., Deegan, F.M., Pérez-Torrado, F.J., Gisbert Pinto, G., Gazel, E., Rodríguez-Gonzalez, A. y Albert, H. (2022). The 2021 eruption of the Cumbre Vieja volcanic ridge on La Palma, Canary Islands. *Geology Today*, 38-3, 94-108.

Colombo, F. y Martí, J. (1992). Depósitos volcanosedimentarios. En: *Nuevas tendencias en Sedimentología-I* (Ed. A. Arche). Servicio de Publicaciones del CSIC, 271-345.

Day, J.M.D., Geiger, H., Troll, V.R., Pérez-Torrado, F.J., Aulinas, M., Gisbert Pinto, G. y Carracedo, J.C. (2022).

Bouncing spallation bombs during the 2021 La Palma eruption, Canary Islands, Spain. *Earth Science Systems and Society*, 2, 10063.

Day, J.M.D., Troll, V.R., Aulinas, M., Deegan, F.M., Geiger, H., Carracedo, J.C., Gisbert Pinto, G. y Perez-Torrado, F.J. (2022b). Mantle source characteristics and magmatic processes during the 2021 La Palma eruption. *Earth and Planetary Science Letters*, 597,117793,

González, M., Alfaro, P. y Brusi, D. (2011). Los terremotos “mediáticos” como recurso educativo. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 19.3, 330-342.

Montesdeoca-Esponda, S., Mossoux, S. y Perez-Torrado, F.J. (2020). Aprender riesgos geológicos con Hazagora: Una estrategia de gamificación para llevar al aula. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 28.3, 320-328.

Ortiz Garcia, A. y Perez-Torrado, F.J. (2019). Volcanes marcianos versus terrestres. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 27.1, 96-102.

Perez-Torrado, F.J. y Fernandez-Turiel, J.L. (2015). Peligros asociados a los depósitos piroclásticos. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 23.1, 59-65.

Perez-Torrado, F.J. y Rodríguez-Gonzalez, A. (2015). ¿Cómo se miden las erupciones volcánicas? El índice de explosividad volcánica. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 23.1, 24-32.

Perez-Torrado, F.J., Rodríguez-Gonzalez, A., Moreno-Medina, C.J., Cabrera, M.C., Carracedo, J.C., Diaz-Rodríguez, S., Fernandez-Turiel, J.L., Criado, C., Aulinas, M. y Prieto-Torrell, C. (2022). Volcanes en movimiento: El Hierro y La Palma. <http://hdl.handle.net/10261/259955>; <https://doi.org/10.20350/digitalCSIC/14494>

Pujadas, A., Brusi, D. y Pedrinaci, E. (1999). ¡Los volcanes han cambiado! Nuevos enfoques de terminología volcánica. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 7.3, 200-209.

Ramon-Sala, L. y Brusi, D. (2015). Erupciones en el laboratorio. Modelos analógicos de peligros volcánicos. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 23.1, 96-106.

Torres-González, P. A., Luengo-Oroz, N., Lamolda, H., D’Alessandro, W., Albert, H., Iribarren, I., Moure-García, D. y Soler, V. (2020). Unrest signals after 46 years of quiescence at Cumbre Vieja, La Palma, Canary Islands. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 392, 106757 ■

Este artículo fue recibido el día 18 de diciembre de 2021 y aceptado definitivamente para su publicación el 28 de enero de 2022.

GLOSARIO

Afanítico: Término petrográfico para referirse a aquellas rocas que tienen cristales no visibles a simple vista.

Basanita: Roca volcánica máfica que contiene olivino, piroxeno, plagioclasa cálcica y feldespatoides. Normalmente es una roca porfídica con una matriz muy fina. Los feldespatoides, si están presentes, suelen estar como microcristales en la matriz. Los magmas emitidos a partir de finales de septiembre de 2021 en la erupción de La Palma presentaron esta composición.

Bloque errático: En vulcanología, este término se refiere a grandes bloques de rocas que son arrastrados en la superficie de los flujos de lava. Los bloques erráticos son, comúnmente, fragmentos del

cono volcánico arrancados en fases de mayor explosividad y/o debido a reconfiguración de los conductos alimentadores.

Bomba volcánica: Piroclasto de tamaño superior a 64 mm que se expulsa del centro emisor durante una erupción explosiva. Su trayectoria es balística y por su condición plástica, puede adquirir formas aerodinámicas durante su trayecto en el aire. Cuando el fragmento expulsado es de la roca del sustrato, se le denomina **bloque**, generalmente con formas angulosas.

Ceniza: Piroclasto de tamaño inferior a 2 mm que es expulsado en las erupciones de carácter explosivo. Debido a su pequeño tamaño, son inyectados a gran altura en la atmósfera y transportado por los vientos a grandes distancias, depositándose en el terreno a modo de “lluvia” y cubriendo de forma más o menos homogénea (a modo de manta) el relieve previo.

Centro (boca) de emisión: Apertura de un conducto volcánico, en forma más o menos cilíndrica, en la superficie terrestre, donde se origina el punto de erupción.

Cono de escorias: Cono volcánico formado por material piroclástico de tamaño bombas y lapilli gruesos. Se suelen asociar a volcanes monogenéticos (que se han formado a lo largo de una única erupción).

Columna (penacho) eruptiva: Se trata de una nube de gases y piroclastos eyectados a la atmósfera durante una erupción volcánica explosiva. Si se emite con suficiente energía y volumen puede alcanzar alturas de varios km, penetrando en las distintas capas de la atmósfera donde los vientos la pueden transportar a grandes distancias.

Cráter: Apertura en forma de embudo localizada en la parte superior y/o flanco de un cono volcánico, marcando el punto de salida del magma a la superficie.

Cráter de impacto de bomba: Depresión a modo de cubeta creada en materiales piroclásticos no consolidados por el impacto de una bomba o bloque balístico. La asimetría de la cubeta permite determinar la dirección del impacto y, en terrenos volcánicos antiguos, localizar el centro eruptivo.

Delta de lava: Morfología volcánica producto de la llegada de la lava al mar, lagos, lagos glaciares, etc. Es el equivalente volcánico de un delta sedimentario. En Canarias se conocen como “islas bajas”.

Dique: Intrusión magmática en forma tabular o de lámina. El magma, en su ascenso, aprovecha fracturas existentes o crea nuevas para abrirse paso a través de la roca existente.

Erupción estromboliana: Mecanismo eruptivo típico de magmas máficos, con emisión conjunta de material piroclástico (desde el cráter del cono volcánico, asociada a la actividad más explosiva) y lávico (normalmente desde las bases de los conos volcánicos, asociada a la actividad más efusiva). Esta emisión conjunta de piroclastos y lavas hace que en muchos libros de texto aparezca este tipo de mecanismo eruptivo estromboliano con el apelativo de mixto.

Erupción freatomagmática: Es una erupción volcánica explosiva resultado de la interacción del

magma con aguas subterráneas (freáticas). Esta interacción, en una relación volumétrica determinada, hace que el agua líquida pase rápidamente a vapor, lo que genera una sobrepresión de gas en el magma que, por ello, surge a la superficie de forma explosiva, muy fragmentado. En la erupción de La Palma tuvo lugar a modo de pulsos de corta duración a lo largo de toda la actividad, siempre asociados a interacción con aguas subterráneas poco profundas.

Erupción hawaiana: Es el mecanismo eruptivo de menor explosividad, en el que casi todo el magma surge a la superficie en forma de coladas de lava. Por ello es el prototipo de erupción efusiva. Es típica de magmas máficos con muy bajos contenidos en gases.

Figura: Fractura o grieta alargada en la superficie a través de la cual se emiten gases y, en ocasiones, representa el punto de inicio de una erupción volcánica con llegada del magma a la superficie.

Índice de explosividad volcánica (VEI): Es un índice que nos da una medida relativa sobre la explosividad de una erupción volcánica. El VEI se determina en base al volumen de los productos piroclásticos expulsados, la altura de la columna eruptiva y a la descripción cualitativa de la erupción. El VEI tiene valores entre 0 (erupciones no explosivas) y 8 (erupciones muy explosivas).

Inequigranular: término petrográfico para indicar una diferencia de tamaño notable entre los cristales de la roca, debido a diferencias entre la tasa de nucleación y velocidad de crecimiento entre los distintos minerales.

Jameo: Cueva natural producida por el hundimiento del techo de un tubo de lava volcánico.

Lago de lava: En ocasiones, en el cráter de los volcanes puede acumularse gran cantidad de lava en estado semilíquido y formar un lago de lava. La formación de los lagos de lava suele estar asociada a magmas de composición máfica.

Lapilli: Piroclasto de tamaño entre 2 mm y 64 mm que es expulsado de forma violenta durante una erupción volcánica explosiva. En Canarias se le conoce con los nombres de picón, rofe y zahorra, dependiendo de las islas.

Lava: Es el magma que alcanza la superficie de la Tierra. También se usa de forma genérica para hablar de los flujos y coladas de lava generados en las erupciones efusivas. En éstas, la lava fluye a modo de “ríos”. En los magmas máficos, las lavas suelen ser bastante fluidas, por lo que pueden alcanzar velocidades de flujo de hasta varios km por hora.

Lava a'a: Tipo de colada de lava con superficie rugosa e irregular, con bloques centimétricos a métricos y bordes afilados. Suele ser de composición máfica, poco viscosa. En Canarias, a las superficies de estas coladas se les conoce con el término de malpaís.

Lava pahoehe: También conocidas como lavas cordadas, presentan una superficie de aspecto suave y liso, con estructuras en “cuerda” muy típicas.

Se forman en erupciones de magmas poco viscosos (máficos). Suelen formar lóbulos y digitaciones a lo largo de su recorrido.

Lava almohadillada: Tipo de colada de lava solidificada en ambiente subacuático. En sección longitudinal muestra formas cilíndricas con numerosas fracturas (longitudinales y transversales) y grietas de contracción. En sección transversal muestra formas circulares a arriñonadas, con fracturas radiales y/o concéntricas, anillos de enfriamiento y hueco hacia el centro por donde fluía la lava (tubo alimentador).

Máfico: Término usado para indicar la composición química de los magmas y rocas ígneas en función de su contenido en SiO₂. En particular aquellas rocas volcánicas entre un 45% y un 55% en peso de SiO₂ se denominan máficas. Las rocas máficas más comunes son los basaltos.

Piroclasto: Término general que se aplica a los productos volcánicos generados por emisión explosiva y fragmentación del magma.

Porfídico: Término petrográfico para indicar una distribución bimodal de los tamaños de los cristales. Los cristales de mayor tamaño reciben el nombre de fenocristales mientras que los cristales más pequeños forman la matriz.

Pulso eruptivo: Es la unidad más pequeña en la que se subdivide una erupción volcánica. Representa una emisión individual de material volcánico, separada del resto por una interrupción o disminución de la intensidad eruptiva. Así, en la erupción de 2021 en La Palma, su mecanismo eruptivo principal fue el estromboliano, con pulsos de mayor o menor explosividad, que alternaron con pulsos de actividad freatomagmática (muy explosivos) y pulsos de actividad hawaiana (salida de flujos de lava desde un lago localizado en la base del cono volcánico principal).

Tefrita: Roca volcánica máfica que contiene principalmente plagioclasa cálcica y piroxeno en asociación con feldespatoides (nefelina, leucita, etc.). Normalmente es una roca porfídica con una matriz muy fina. Los feldespatoides normalmente se encuentran formando parte de la matriz. En la erupción de La Palma, los materiales volcánicos emitidos los primeros días tenían una composición tefrítica.

Tubo volcánico: Conducto a través del cual la lava discurre por debajo de la superficie. Se forma por el rápido enfriamiento de la parte más superficial de la colada de lava formando una corteza que aísla térmicamente la lava caliente y líquida o semilíquida de su interior que, de esta manera, puede desplazarse a mayor distancia sin apenas pérdida de temperatura.

Vacuolar: Término petrográfico para indicar la presencia de vesículas o vacuolas que representan los huecos de los volátiles (gases) que se escaparon en su momento de la fase líquida del magma. Las vesículas se observan tanto en las lavas como en los piroclastos (en estos en mayor medida) con formas muy variables, siendo las circulares y elongadas las más comunes.