La erupción volcánica de Cumbre Vieja en La Palma, 2021

Raúl Pérez López Inés Galindo Jiménez

Equipo URGE* Dpto. de Riesgos Geológicos y Cambio Climático Instituto Geológico y Minero de España, IGME-CSIC

<u>*Equipo URGE</u>: Nieves Sánchez-Jiménez, José Francisco Mediato, Julio López-Gutiérrez, Rosa María Mateo, Javier Martínez-Martínez, Miguel Ángel Rodríguez-Pascua, María Ángeles Perucha, Andrés Díez-Herrero, Marta Bejar, Mario Hernández, Juan Carlos García-López-Davalillo, Carlos Lorenzo, Pablo Ezquerro, Guadalupe Bru, Juana Vegas, Ana Cabrera, Isabel Montoya, Gonzalo Lozano-Otero, José Ángel Díaz- Muñoz, José María López-García y Luis Somoza.



Introducción

La isla de La Palma se localiza en la parte más occidental de las islas Canarias, en la parte noroeste del archipiélago, con una extensión de 708 km2 y una edad geológica de 1,7 millones de años, sobre un basamento submarino plioceno de 4 millones de años (**Carracedo et al., 2001**). Esta es una isla de origen volcánico, construida sobre la sucesión de diversas erupciones con diferentes grados de intensidad y violencia, que ha registrado episodios tan potentes como la erupción de la Caldera de Taburiente. En tiempos recientes, desde el siglo XV, se contabilizan 8 erupciones volcánicas, incluyendo la última de Cumbre Vieja de 2021 (**Tabla 1**).

Fecha	Nombre	Días	Sup. Lava (Ha)	Altura volcán (m)	Diámetro basal (m)
1430-40	Tacande		474	153	710
1585	Tehuya	84	454	140	1110
1646	Tigalate	82	450		
1677-78	San Antonio	66	351	193	1100
1712	El Charco	56	568		
1949	San Juan	47	422		
1971	Teneguía	24	302	273	697
2021	Cumbre Vieja	85	1190	181	690

Tabla 1. Erupciones históricas de la isla de La Palma.

Fuente: Mapa geológico continuo del IGME. (https://info.igme.es/visor/ y Carracedo et al., 2001).

Predicción de una erupción volcánica

Desde el día en el que comenzó la serie sísmica de La Palma, el 11 de septiembre del año 2021, el Instituto Geológico y Minero de España (IGME) – CSIC puso en prealerta a la Unidad de Respuesta Geológica de Emergencia (URGE) para llevar a cabo un seguimiento continuo sobre el proceso y poder anticiparse ante una eventual erupción en la isla. Atendiendo a las erupciones históricas registradas en periodo histórico (**Tabla 1**), nos enfrentábamos a un fenómeno de tipo estromboliano, con emisión de campo de lavas que podría sobrepasar las 700 ha, y con una duración máxima registrada hasta entonces de 84 días, con un promedio de duración de 59 días, aproximadamente dos meses.

Pocos días después del comienzo del enjambre sísmico, y ante la rápida somerización de los terremotos (profundidad del foco de los terremotos menor a 8 km), el IGME se incorporó al Comité Científico del PEVOLCA, Plan de Emergencias Volcánicas de Canarias, dependiente de la Dirección General de Seguridad y Emergencias del Gobierno de Canarias, y activó por completo a la URGE (**Figura 1**).

A partir del 15 de septiembre, el IGME – CSIC mandó un equipo de campo para realizar tareas de reconocimiento, compuesto por expertos en volcanología y pilotos de drones del Servicio de Trabajos Aéreos (STA). Dicho equipo reconoció la zona entre Jedey y Tacande, al oeste de la isla. Esa zona fue elegida debido a la elevada concentración de terremotos someros (profundidad inferior a 8 km, **Figura 2**), así como por el resultado de los estudios geológicos previos realizados por el IGME en el marco del proyecto VOLTEC, Proyecto de Investigación de Parques Nacionales (**Rodríguez-Pascua et al., 2018; Sánchez-Jiménez et al., 2019**). Ese mismo día, el 15 de septiembre, el coordinador de la URGE se puso en contacto con la Unidad Militar de Emergencias (UME, **Figura 1**), en concreto con la división de inteligencia, para trasladar toda la información sobre una inminente erupción en la zona suroeste de la isla. Atendiendo a las erupciones históricas, el escenario más probable era una erupción estrombolinana de tipo basáltico con la formación de un volcán monogenético de escoria, con emisión de lavas de cientos de hectáreas y una duración cercana o superior a un mes.



Figura 1. Diagrama de sucesos y toma de decisiones del IGME – CSIC durante la fase pre-eruptiva de la erupción de Cumbre Vieja en la isla de La Palma (2021).



Figura 2. Mapa de epicentros de los terremotos registrados por el IGN (acceso en www.ign.es) desde el 11 de septiembre del año 2021 hasta el 23 de diciembre del mismo año. En total se detectaron más de 9.000 sismos. En azul claro aparecen los terremotos con profundidad hipocentral inferior a 9 km, en morado los epicentros cuya profundidad está comprendida entre 9 y 25 km y en rosa aquellos terremotos cuyo hipocentro está a más de 25 km. Además, el tamaño de los círculos está escalado por la magnitud. La máxima magnitud registrada fue de M 5.1. El triángulo rojo marca la localización del volcán monogenético de Cumbre Vieja y en amarillo está la extensión de la colada de lava que ha emitido el volcán durante la erupción. Los círculos negros asociados al triángulo rojo son las diferentes bocas eruptivas que se abrieron a lo largo de los 85 días de erupción.

El día 18 de septiembre se registró el mayor terremoto hasta el momento, de magnitud 3,8 y a una profundidad inferior a 2 km. En ese momento avisamos a las autoridades, al Comité Científico y a la UME, indicando que la erupción se produciría en las siguientes 24 horas (**Figura 1**). El volcán de Cumbre Vieja entró en erupción oficialmente el día 19 de septiembre del año 2021, a las 15:03 hora local canaria (coincidente también con la hora UTC).

La dinámica de la erupción fue la siguiente:

1. Emplazamiento del magma

El 11 de septiembre el Instituto Geográfico Nacional (IGN) registró varias decenas de terremotos a profundidades de 10 km en la zona suroeste de la isla de La Palma (islas Canarias). Entre el 11 y el 12 de septiembre, se produjeron varios terremotos de magnitud inferior a 3,5, alcanzándose el 14 de septiembre más de 300 terremotos en un solo día (**Figura 2**). Paralelamente, la red de estaciones GPS del IGN también detectó una deformación en superficie de

varios centímetros de elevación (**Figura 1**) que indicaba de forma evidente un emplazamiento de magma a la profundidad de entre 10 y 13 kilómetros (profundidad a la que se localizaban los terremotos). Es a esta profundidad donde los científicos han determinado el límite mecánico entre la litosfera y el manto (Moho) y donde se acumuló parte del magma que ascendió desde zonas inferiores y que empezó a generar tensión y deformación en superficie en la «Isla Bonita».

2. Ascenso por la litosfera terrestre

Una vez emplazado el magma entre 11 y 13 km, empezó a fracturar la corteza terrestre desde abajo debido al alto contenido en gases que tenía, principalmente vapor de agua y dióxido de carbono (CO₂), ambos responsables del ascenso magmático hacia superficie. La cuestión era saber por dónde ascendería y qué zona sería la más probable para la erupción. La elevada presión de gas en el magma es la responsable última de las erupciones volcánicas.

El 15 de septiembre, con casi 1000 terremotos detectados y localizados entre 0 y 19 km de profundidad (**Figura 2**), los terremotos empezaron a perder profundidad y alcanzar zonas más cercanas a la superficie terrestre. En este momento, la deformación superficial de 22 cm en la vertical ya había sobrepasado la que se registró durante la erupción de El Hierro del año 2011, en torno a 7 cm, y alcanzaba valores elevados para 4 días de actividad sismo-volcánica. Todo esto indicaba que la corteza terrestre se estaba fracturando de forma rápida y que el magma que estaba ascendiendo tenía mucha presión de gases en su interior. Desde el Instituto Geológico y Minero (IGME) se activó la URGE, formada por científicos y técnicos expertos en volcanes y terremotos, junto con geólogos pilotos de drones del Servicio de Trabajos Aéreos (STA) del IGME, con el fin de determinar la inminencia de una erupción, su localización espacial y su grado de severidad.

La inminencia de la erupción venía reflejada por el elevado número de terremotos/día (del orden de cientos), así como por la rápida somerización en tres días (cada vez eran más superficiales) y por la elevada deformación de superficie (máximo de 8 cm en 24 h). Los estudios que llevamos a cabo de forma urgente sugerían que había unos 6 millones de m³ de magma acumulado a 11-13 km de profundidad, emplazados en solo 4 días, y que mostraban un rápido ascenso hacia la superficie. Teniendo en cuenta recientes trabajos sobre cuál es el volumen crítico de emplazamiento magmático en magmas basálticos para entrar en erupción (**Townsed and Huber, 2020**), estábamos cerca del límite inferior, que sugiere que el volcán podría entrar en erupción en cualquier momento (10 millones de m³, en función del contenido en agua del magma), y así lo trasmitimos a las autoridades competentes y al Comité Científico que se había configurado al activarse el PEVOLCA. Además, dentro del convenio de colaboración entre el IGME y la Unidad Militar de Emergencias (UME), dimos aviso también a dicha unidad con el fin de coordinarnos ante la eventualidad de una inminente erupción de dimensiones desconocidas. Existe un convenio de colaboración entre el IGME y la UME en caso de catástrofes naturales que se remonta a 2011. Nuestros modelos mostraron una máxima probabilidad de erupción estromboliana en 7 días a partir del 15 de septiembre.

En cuanto a la localización de dicha erupción, tanto las zonas de máxima concentración de terremotos como de máxima deformación GPS eran firmes candidatas para situar la localización de la boca eruptiva. Sin embargo, los modelos geológicos determinados por **Rodríguez-Pascua** *et al.*, **2018** sugerían que había una zona de deformación extensional más al norte de las anteriores, donde el magma encontraría menos resistencia en su ascenso a superficie, junto con la presencia de fracturas extensionales orientadas NW-SE que podrían emplazar diques basálticos¹.

3. Erupción, 19 de septiembre del año 2021

Una vez el volcán entró en erupción, construyó de forma rápida un edifico volcánico de tipo monogenético (edificio de una única erupción), formado a partir de la escoria y del *spatter*² que se iba acumulando en sus flancos mientras un *jet* de gas y magma de hasta 300 metros de altura se alzaba en el centro de dicho volcán.

⁽¹⁾ Un dique es una intrusión de rocas (gneas con forma tabular (de poco espesor y gran anchura) en el seno de una roca anterior, a la que rompe. (2) Salpicaduras de lava aún fundida que forman un conglomerado de «salpicones».



Figura 3. 1. Fases iniciales de génesis del volcán de Cumbre Vieja a los pocos días de entrar en erupción. Se observa la fuente de lava que alcanzó 100 m de altura en esos momentos iniciales y los primeros campos de lava afectando la zona de Tacande, a la altura de la carretera LP-212, km 2. La lava aparece encauzada por movimiento lateral y enfriamiento. 2. Recogida de fragmentos de lava caliente y de lapilli por parte de miembros de la UME (GIETMA, Grupo de Intervención en Emergencias Tecnológicas y Medioambientales, división de reconocimiento). 3. *Jet* de gas, magma y *spatter* de una típica erupción estromboliana, con una altura de 200 m, y río principal de lava de tipo *pahoehoe*³. 4. Aumento de explosividad estromboliana junto con un mayor vigor de la intensidad estromboliana con la génesis de un segundo jet estromboliano en conjunción con emisiones de tipo hawaiana de lavas basálticas. 6. Detalle de la actividad nocturna con emisión de bombas.

⁽³⁾ Pahoehoe, en hawaiano, suave. Coladas de lava que presentan una superficie de aspecto suave y vítreo, con estructuras cordadas muy características.

consor > eguros

La erupción de Cumbre Vieja comenzó con la formación de un cono de escoria de tipo monogenético (**Figuras 3 y 4**) de varias decenas de metros de altura, con explosiones sónicas y emisión de gases con velocidades superiores a 330 m/s. Durante la erupción, el volcán emitió diferente material (**Figura 4**): (a) cenizas, cuyo diámetro es inferior a 2 mm, (b) lapilli, fragmentos de vidrio volcánico cuyo tamaño oscila entre 2 mm y 6,4 cm y (c) bombas volcánicas, de tamaño superior a 6,4 cm y que alcanzaron un tamaño máximo de 1,5 m, expulsadas a varios cientos de metros desde el cráter principal





Figura 4. 1. Detalle de ceniza volcánica aglomerada por humectación. 2. Fragmentos de lapilli con restingolitas (fragmentos líticos de color blanco), recogidos en la zona del Mirador de Fátima, Jedey. 3. Actividad explosiva con emisión de cenizas, lapilli y bombas por parte del volcán de Cumbre Vieja. Durante los primeros momentos de la erupción las labores se centraron en localizar las fuentes de emisión de lava, así como en aplicar los modelos de probabilidad de zonas afectadas por las coladas de lava que había realizado el IGN. También se efectuaron trabajos de cartografía a tiempo real que se llevaban a cabo desde el IGME gracias al trabajo de los pilotos de drones. La ventaja que presentó este trabajo fue que los pilotos de drones del IGME son geólogos, lo que ayudó a un mejor aprovechamiento del tiempo de vuelo para localizar los centros de emisión de lava, así como para estimar la velocidad de desplazamiento de las lavas en los fondos de valle. Desde el IGME se realizaron varios vuelos, cuyas imágenes en directo servían al Comité Científico para tomar decisiones sobre la evolución de la fase eruptiva, decisiones a cargo de la dirección operativa de la emergencia, en este caso el Gobierno de Canarias.

4. Episodios singulares

Durante la erupción de Cumbre Vieja se dieron varios episodios singulares asociados al aumento de intensidad y vigor volcánico, como por ejemplo los *lava debris-avalanche* o avalanchas de lava cuando se producían colapsos



Figura 5. Detalle de una avalancha de lava en octubre que afectó la zona de Tacande de Arriba, en La Palma. Se puede apreciar la presencia de grandes bloques erráticos asociados al colapso parcial del edificio volcánico, así como del gran manto de ceniza que cubre las edificaciones cercanas. Este fenómeno se produjo en cuestión de minutos. parciales del edificio volcánico, así como el aumento en los caudales de emisión de lava (**Figura 5**).

El 9 de octubre se produjo la primera gran avalancha de lava en la zona de Tacande de Arriba (coladas norte), cuando un colapso parcial del cono principal y otro del secundario cayeron sobre las fuentes de lava y provocaron un rebose con avalancha que arrastró grandes bloques erráticos (tamaño de decenas de metros y toneladas de peso), los cuales fueron transportados a gran velocidad flotando sobre el río de lava (**Figura 5**). Se observa cómo en esas fechas ya se habían depositado grandes cantidades de ceniza en el entorno del volcán, con valores máximos de 1,2 m de espesor a cientos de metros de la erupción en la zona oeste de la isla.

Las zonas más afectadas por los mantos de ceniza fueron las localidades de Jedey, Las Manchas y la zona de Caños de Fuego, al oeste del volcán, determinada por los vientos dominantes, los alisios. Se cancelaron más de 700 vuelos por afección del espacio de vuelo, llegando a alcanzar la columna eruptiva de ceniza más de 6 km de altura, con una altura media de 3 km.

5. Mapas de coladas de lava

Desde el Servicio de Trabajos Aéreos del IGME – CSIC, en trabajo conjunto con el GES (Grupo de Emergencias y Salvamento del Gobierno de Canarias), se llevó a cabo el trabajo de cartografía dinámica del avance del campo de lava mediante el uso de diferentes drones equipados con sensores ópticos y térmicos (**Figura 6**), información que se integraba posteriormente en cartografías que se ponían a disposición del Cabildo y del Comité Científico del PEVOLCA. Además de colaborar con el GES, también se trabajó de forma activa con el servicio de drones de la UME y del Cuerpo Nacional de Policía (CNP). Es interesante destacar que esta erupción ha sido la primera en la historia en el uso masivo de estos dispositivos, mostrando una utilidad y versatilidad única en la gestión de la emergencia.



Figura 6. Mario Hernández, piloto dron del IGME y técnico especialista del Departamento de Riesgos Geológicos y Cambio Climático, realizando un vuelo desde el Mirador de la Virgen de Fátima en plena fase explosiva con colapso de la columna eruptiva hacia el este. La erupción de Cumbre Vieja ha sido la primera en la historia con uso masivo de drones en ayuda a la erupción en zonas urbanas.

La lava emitida alcanzó una temperatura de 1200 °C, valor dentro el rango de lavas de composición química de un magma basáltico, formado por traquitas y basanitas, cuya composición principal es vidrio volcánico, junto con olivinos y clinopiroxenos, anfíbol y óxidos de titanio y magnetita. Precisamente la presencia de titanio y de magnetita dificultó mucho el pilotaje de los drones, al afectar la ceniza metálica a las partes mecánicas, así como interferir en las comunicaciones y servicio de guiado los campos magnéticos que generó el campo de lava y la masa de ceniza en suspensión.



Figura 7. Mapa final elaborado por el Servicio de Trabajos Aéreos (STA) del IGME – CSIC a partir de diferentes vuelos dron y trabajo de campo. El total afectado alcanza las 1200 ha. Se elaboraban dos mapas de lava cada día desde principios de octubre, los cuales fueron utilizados por parte del director Operativo de la Emergencia en la toma de decisiones.

La figura 7 muestra el mapa final del campo de lava que se formó durante los 85 días de erupción, cerca de 1200 ha (**Tabla 1**). Se aprecia la formación de los deltas lávicos en la zona del término municipal de Tazacorte, en la playa del Perdido, que aparece encerrada por dos deltas al norte y al sur. El espesor de la lava oscila entre un par y varias decenas de metros, rellenando los antiguos fondos de valle y creando una topografía nueva. Precisamente la creación de esta topografía fue la responsable de que se produjese un crecimiento lateral de la lava hacia el norte y hacia el sur del primer campo de lava generado a principios de octubre.

En cuanto a las afecciones sobre las casas y construcciones, la figura 8 muestra diferentes ejemplos de los efectos de las lavas en casas en la zona de Paraíso, dentro del término municipal de Los Llanos.



Figura 8. Diferentes perspectivas de construcciones afectadas por las lavas durante la erupción de Cumbre Vieja 2021. 1. y 2. Detalle de la destrucción de una vivienda unifamiliar por alcance de una colada de lava de tipo a'a⁴ a 1010 °C, con una altura de frente de 6 m. 3. Frente de lava de La Laguna, justo enfrente de la Iglesia. 4. Avance de colada de lava de tipo a'a canalizada por la calle de la gasolinera Disa y de una oficina bancaria en La Laguna. 5. Campo de lava de principios de diciembre cubriendo parte de las viviendas de Las Manchas. 6. Detalle de la casa donde brotó la lava en el porche de entrada. Nótese que la parte visible es la buhardilla de la casa.

⁽⁴⁾ Colada de lava de superficie irregular, formada por bloques de tamaños decimétricos a métricos.

El grado de daño de los campos de lava sobre las viviendas ha sido de gran magnitud. No solamente destruía las viviendas a su paso (**Figuras 8.1, 8.2**), también la lava se canalizaba por el trazado urbano, destruyendo todo a su paso (**Figuras 8.3 y 8.4**), con una velocidad de varios metros por hora, con alturas de frente de colada de lava de hasta 8 m. En la lava caliente fundida se midió una temperatura entre 800 y 1200 °C, donde las diferentes coladas se sucedieron durante toda la erupción, a diferencia de lo que ocurrió en la erupción del San Juan en 1949, que solo emitió lava en su episodio final, dando lugar al Parque Natural de Caños de Fuego, con los tubos lávicos y coladas de tipo *pahoehoe.* La emisión de lava en esta erupción fue continua desde el primer momento de la erupción (19 septiembre) hasta el último día de la misma (entre el 13 y el 14 de diciembre de 2021). Además, el espesor de las coladas de lava cubría por completo las casas (**Figura 8.5**) y otras fueron afectadas por la emisión de centros eruptivos en el porche de varias viviendas una vez evacuadas, tal y como se puede apreciar en la figura 8.6. La parte de casa que se observa corresponde la buhardilla, a la parte de superior de la casa, que se erigía sobre 5 m de altura, donde el 24 de noviembre se produjo la apertura de un centro eruptivo.

6. Mapas de ceniza volcánica

Una de las mayores afecciones durante una erupción estromboliana es la caída de ceniza, formada principalmente por vidrio volcánico de tamaño inferior a 2 mm y generalmente de tamaño sub-milimétrico (**Figura 4.1**). Desde el principio de la erupción, el IGME – CSIC configuró un equipo de trabajo dentro de la denominada «Operación Cenicienta», cuyo principal cometido era la cartografía a tiempo real del espesor de cenizas, así como su caracterización litológica.



Figura 9. Cenizas depositadas durante la erupción de Cumbre Vieja, 2021. 1. Viviendas unifamiliares cubiertas por cenizas en la zona de Caños de Fuego, en dirección hacia Puerto Naos. 2. Detalle de un vehículo parcialmente cubierto por cenizas en Las Manchas. 3. Medida del espesor de cenizas en la pista que baja desde el mirador del Jable hacia Jedey. 4. Bomba volcánica recogida sobre un manto de ceniza en las estribaciones norte del volcán. El espesor de cenizas en esa zona alcanzó 40 cm.

En dicha operación, varios equipos móviles de científicos del IGME – CSIC tomaron datos de espesores de cenizas sobre diferentes puntos de control con el fin de realizar el mapa final de espesor de cenizas y medir su granulometría para determinar el índice de explosividad. Una de las formas de preservar el registro estratigráfico de las cenizas es mediante la realización de los denominados *peels*, que consiste en consolidar el registro de cenizas con una solución química de resina tipo EPOXY (**Figura 10**). Se realizaron varias campañas de media de ceniza por toda



Figura 10. 1. Javier Martínez, científico del IGME - CSIC, preparando una solución química para realizar un peel de un depósito de ceniza asociado a la última fase eruptiva. 2. Detalle de uno de los puntos de control para descripción de la columna estratigráfica de depósitos de ceniza, recogida de muestra para medida granulométrica y análisis geoquímico. la isla para su posterior mapeo.

Riesgos asociados al estudio de volcanes activos

Durante la intervención de científicos, técnicos y pilotos de drones del IGME –CSIC, nos enfrentamos a varios peligros propios de una erupción volcánica. El primero y más obvio era el peligro de las lavas a 1200 °C, que generaron un campo térmico muy elevado, con la posibilidad de sufrir quemaduras por aproximación. Para contrarrestarlo se utilizaron trajes ignífugos antiestáticos, además de calzado de seguridad laboral con resistencia térmica hasta 300 °C. Esto nos permitió acercarnos a las lavas frías (entre 100 y 700 °C) a recoger material para su estudio. Para mayores temperaturas contamos con el apoyo de la UME, que llevaba material resistente a 1000 °C. Por otro lado, la elevada temperatura condicionaba el tiempo de estancia dentro de los campos de lava caliente (T > 800 °C) así como la posibilidad de deshidratación. Por otro lado, moverse sobre el campo de lava activo tenía un peligro inherente al existir tubos lávicos que conducían la lava incandescente en su interior y a los que podrían precipitarse los científicos al andar por encima de la superficie enfriada más frágil. Otro de los peligros era la entrada en la zona de alcance de bombas piroclásticas. Por ello se estableció un perímetro de seguridad de 1 km alrededor de las zonas de emisión volcánica, sobre todo de los centros estrombolianos, los cuales arrojaron bombas de tamaño métrico (ver ejemplo de bomba en la **Figura 9.4**).

Sin embargo, el principal peligro al que nos enfrentamos de forma continua durante los 85 días de erupción fue la presencia de gases tóxicos, ácidos (clorhídrico, sulfúrico, nítrico, etc.) y vapores orgánicos e inorgánicos con punto de ebullición superior a 65 °C y con capacidad de desplazar el oxígeno. Para afrontarlo dispusimos de máscaras de gas con filtros de tipo ABEK+Hg+P3 que protegían de la respiración de SO₂, SH₂, NH₃, HCI, de vapores de mercurio y de sustancias tóxicas como el arsénico en su forma de arsina (AsH₃). Asimismo, también se detectaron elevados niveles de CO (monóxido de carbono) que obligaba al uso de equipos de respiración autónoma (ERA) en zonas altamente expuestas (**Fig. 11**).



Figura 11. Detalle del equipo de protección durante un reconocimiento en el cráter del volcán de Cumbre Vieja por un equipo mixto de científicos del IGME – CSIC y del GIETMA de la UME. Máscara facial completa con nariz de tipo ABEK P3+Hg y equipo de respiración autónoma (ERA) para acceso a zonas con valores de oxígeno inferior al 19 % y presencia de grandes cantidades de monóxido de carbono.

Conclusiones

La erupción de Cumbre Vieja de 2021 en la isla de La Palma ha sido la primera erupción urbana en tiempos modernos que ha ocurrido en Europa desde la erupción de Heimaey- Eldfell en 1973, en Islandia, y que afectó a 5 000 personas (Williams y Moore, 1976). En el caso de la erupción de Cumbre Vieja, en total 7 000 personas fueron desplazadas y casi 2 000 personas perdieron su hogar bajo la lava. Cerca de 3 000 casas fueron destruidas. Se destruyeron cerca de 400 ha de cultivo de plátano. En total cerca de 20 000 personas estuvieron expuestas a la erupción y sus consecuencias. Al final, un nuevo edificio volcánico de casi 200 m de elevación y 700 m de diámetro se ha generado en la parte superior de la zona conocida como Montaña Rajada. Dicho edificio tubo 6 bocas estrombolianas emitiendo a la vez, con un total de 33 centros de emisión de lava. La altura máxima del *jet* de gas fue estimada en 300 m, con una columna eruptiva máxima de 6 km de altura. La composición química del material emitido es de tipo basáltico, compuesta por traquitas y basanitas en un primer análisis preliminar. El comité científico estimo un índice de explosividad VEI (*volcanic explosivity index*) entre II y III, a la espera de posteriores análisis sobre el volumen total emitido. Cerca de 1300 ha de terreno fue afectado y cubierto por coladas de lavas, mientras que toda la isla quedó cubierta por cenizas, que llegaron a registrarse en las islas vecinas, Tenerife, El Hierro e incluso Gran Canaria.

La predicción de la erupción, que se realizó por diversas agencias científicas gubernamentales (IGME–CSIC, IGN, etc.), permitió que se activase el Plan de Emergencias Volcánicas de Canarias (PEVOLCA) y se minimizase el daño de la erupción, limitándose este exclusivamente en daños materiales imposibles de evitar, como la pérdida de viviendas, negocios y cultivos bajo el campo de lava.

El trabajo conjunto de dichas agencias durante la emergencia permitió que el director operativo del plan de emergencias dispusiera de información de primera mano generada por expertos en la materia, que había sido debatido previamente en el Comité Científico. El trabajo de campo, llevado a cabo de forma conjunta entre la URGE (Unidad de Respuesta Geológica de Emergencia) y el GIETMA (Grupo de Intervención en Emergencias Tecnológicas y Medioambientales) de la UME (Unidad Militar de Emergencias) tuvo sus frutos en la obtención de información científica útil durante la emergencia. El verdadero éxito del trabajo del IGME – CSIC fue el poner a disposición de la emergencia la información científica más relevante en la erupción volcánica: cuándo, dónde, nuevos centros de emisión de coladas de lava, fases eruptivas, etc.

En un futuro seguiremos viviendo y padeciendo erupciones volcánicas en las islas Canarias. No hay que olvidar que el volcán de Cumbre Vieja es, al menos, el volcán número 69 de tipo monogenético que hay en la zona sur de la isla y que lleva registrando este tipo de erupciones desde hace 1 millón de años. Las lecciones aprendidas de esta erupción nos deben de reconducir hacia una planificación territorial responsable, sobre todo conociendo el fenómeno. Es muy probable que se repita en un futuro este tipo de erupción, de tipo estromboliano, con capacidad de durar 3 meses o más, con campos de lavas que pueden extenderse lateralmente y con espesores de varias decenas de metros.

Agradecimientos

En primer lugar queremos agradecer a la población de La Palma, y en concreto a todos aquellos palmeros que vieron afectadas sus vidas durante los 85 días de erupción que se sucedieron entre el 19 de septiembre y el 13 de diciembre del año 2021. Desde aquí nos gustaría homenajear su fuerza, su entereza y, sobre todo, su colaboración con nosotros. Un agradecimiento muy especial a la Unidad Militar de Emergencias (2° Batallón y GIETMA), así como al teniente coronel jefe del 2° batallón y al teniente coronel jefe del GIETMA por su colaboración desinteresada y su total disposición. Queremos mencionar de forma especial al GES (Grupo de Emergencias y Salvamento del Gobierno Canario) y, en especial, a sus pilotos Enrique y Juani por su colaboración desde días antes de la erupción y durante la misma. Gracias por vuestras enseñanzas y paciencia. También agradecer a Joaquín Quirós, técnico PRL del CSIC, por todo lo que nos enseñó sobre protección ante exposición a gases químicos, atmosferas tóxicas y todos los sensores y los EPI que nos proporcionó durante nuestro trabajo de campo. Gracias también a la Dirección de Protección Civil de Canarias y a sus técnicos por facilitar nuestro trabajo en la zona de exclusión. Finalmente agradecer a la Guardia Civil, al Grupo TEDAX del Cuerpo Nacional de Policía y a su servicio de drones por haber colaborado con nosotros. Este trabajo ha sido financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación dentro del presupuesto de emergencia de la erupción volcánica de La Palma según el RD 1078/2021, 7 diciembre, Núm. 293 Sec. I. Pág. 150995.

Referencias

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

Rodríguez-Pascua, M.A., N., Sánchez, M.A., Perucha, I. Galindo, R. Pérez López, C. Romero. 2018. Caracterización Espacial de la Deformación Frágil en La Isla de La Palma (Islas Canarias, España). Resúmenes de la 3ª Reunión Ibérica sobre Fallas Activas y Paleosismología, Alicante, España (2018). 4pp.

Sánchez-Jiménez, N., M.A. Rodríguez-Pascua, Mª A. Perucha-Atienza, R. Pérez-López, C. Romero-Ruiz, I. Galindo-Jiménez, E. Carmona-Rodríguez, R.M. Martín-León, F.J. Almendros-González, F. de L. Mancilla-Pérez, L. Vizcaíno-Dávila, C. Martínez-Arévalo, A. García-Jerez.2019.

Townsend, M., and Huber, C., 2020, A critical magma chamber size for volcanic eruptions: Geology 48, https://doi.org/10.1130/G47045.1

Williams, R.S. y J.G. Moore. 1976. Man Against Volcano: The Eruption on Heimaey, Vestmannaeyjar, Iceland. 1983 Edition. USGS Information Services, Box 25286, Federal Center. Denver, CO 80255. 33p.