Vigilancia, alerta y monitorización de la erupción volcánica de La Palma

Trabajar en un bello infierno

Desde que el Instituto Geográfico Nacional (IGN) detectara los primeros signos de actividad anómala en la isla de La Palma, el pasado 11 de septiembre de 2021, se ha realizado una intensa y continua labor de vigilancia de la actividad volcánica en la isla, incluyendo el seguimiento de una erupción en la dorsal de Cumbre Vieja. Esta erupción se inicia el 19 de septiembre de 2021 y tras 85 días de actividad, se da por finalizada el pasado 13 de diciembre. Es la erupción más larga registrada en la isla en época histórica (últimos 500 años) y sin duda la más destructora. Y aunque haya finalizado, el IGN sigue vigilando ya que es necesario el seguimiento de la actividad post-eruptiva y el control de los peligros remanentes asociados a la erupción. Alguno de los peligros actuales, como la emisión de gases volcánicos, principalmente CO_2, suponen una amenaza para la población y deben de ser monitorizados de manera continua.

- **Carmen López Moreno y María José Blanco Sánchez,** Instituto Geográfico Nacional

Todas estas actividades son responsabilidad del Mitma a través del IGN, en cumplimiento de sus competencias en el ámbito de la volcanología. El IGN realiza desde 2004 las labores de planificación y gestión de los sistemas de observación, vigilancia y comunicación a Protección Civil de la actividad volcánica y la determinación de los peligros asociados.

La erupción de La Palma vino precedida por actividad temprana que mostraba la inestabilidad del edificio insular. Desde octubre de 2017 hasta primeros de 2021, se registraron hasta 7 enjambres de terremotos de baja magnitud (ningún sismo sentido por la población), localizados a profundidad entre los 20 y los 30 km debajo de la dorsal de Cumbre Vieja. Esta actividad sísmica, que no estuvo acompañada por episodios de deformación superficial del terreno, reflejaba de manera temprana la acumulación de magma debajo de la isla. En 2021, los primeros signos de actividad pre-eruptiva se inician en la madrugada del 11 de septiembre con un nuevo enjambre sísmico diferente a los anteriormente registrados; las profundidades de los sismos son notablemente más someras que los que se venían detectando previamente. Fueron 31 los movimientos sísmicos localizados hasta el final del día, todos de baja magnitud, pero a tan solo 10-12 km de la superficie.

Esta nueva actividad, anómala en relación con la actividad de sísmica habitual en la isla, fue comunicada a Protección Civil del Gobierno de Canarias, activando el Plan de Emergencias Volcánicas de Canarias (PEVOLCA), que, en consecuencia, convoca la primera reunión del Comité Científico el 13 de septiembre. Desde este día, y hasta el final de la erupción el 13 de diciembre, las reuniones del Comité se sucedieron diariamente. También se intensificó el trabajo de monitorización de la actividad volcánica, desplazando a personal de la unidad de vulcanología del IGN

Inicio de la erupción el 19 de septiembre mostrando varias bocas eruptivas a lo largo de la fisura.

Material piroclástico incandescente visto desde el norte.

hasta la isla para realizar trabajos *in situ*, estando de manera continua en comunicación con los gestores de la emergencia y el resto de grupos científicos que participan en el PEVOLCA.

Durante estos primeros días se llegaron a registrar más de 6 500 sismos en la zona central de Cumbre Vieja. Esta actividad sísmica migra hacia el SW incrementando su magnitud, a la vez

Descenso de colada de lava.

que los sismos se acercaban a la superficie. Con el paso de los días esta actividad comienza a ser sentida por la población aumentando el nivel de alerta general. Además de sismicidad, se midieron deformaciones superficiales del terreno superiores a los 15 cm, tanto con la red GNSS como con los datos de satélites y análisis InSAR. En poco más de una semana, la actividad desemboca en una erupción volcánica que comienza a las 15:11 horas (hora local) del día 19 de septiembre de 2021, en una zona de pinares, muy cerca de la localidad de El Paraíso en el municipio de El Paso.

Desde su inicio, la erupción tuvo un marcado carácter fisural y un mecanismo predominante estromboliano, con emisión de abundante material incandescente y ceniza. Las primeras descripciones visuales muestran que la erupción se inicia en dos fisuras separadas por 200 m con diferentes puntos de emisión.

El material emitido forma lenguas de lava que discurren a favor de la pendiente a gran velocidad, atravesando la localidad de Las Manchas, arrasando todo lo que se

encuentran a su paso, sepultando viviendas e infraestructuras.

Los daños directos a la población asociados al avance de las coladas de lava son mitigados gracias al despliegue de un gran contingente de policía y cuerpos de seguridad que, siguiendo las instrucciones de Protección Civil del Gobierno de Canarias, van realizando evacuaciones selectivas y sucesivas para evitar su exposición. Estas evacuaciones se inician aún antes de comenzar la erupción, con el desalojo de la población más vulnerable (dependientes y personas de movilidad reducida). Algunas de estas evacuaciones se realizan con el tiempo justo para llevar lo imprescindible, parte de la población pierde su hogar, su medio de vida y sus recuerdos. Con temperaturas de más de 1 000ºC, se inicia una fase imparable de destrucción de vías de comunicación, cultivos, instalaciones y edificaciones que afectarán principalmente a los municipios de El Paso, Los Llanos de Aridane y Tazacorte. Su amenaza no desaparecerá hasta finalizar la erupción. La modelización del recubrimiento de coladas de lava realizadas por el IGN muestra una

Frente de la colada alcanzando la población de Todoque.

Carretera cortada por la lava.

afectación potencial de 10 000 evacuados en el recorrido de las coladas de lava hacia la costa. Con el paso de las horas el nivel de explosividad aumenta, así como el volumen de las coladas de lava, que alcanzaron por primera vez el mar el día 29 de septiembre en la zona de playa Nueva, tras recorrer 6,5 km desde el edificio volcánico. La interacción del delta lávico en formación, con el mar produjo una nube de gases tóxicos formada fundamentalmente por ácido sulfúrico, ácido clorhídrico y ácido fluorhídrico que afecta localmente la zona costera.

La emisión de ceniza provoca la suspensión del tráfico aéreo y su caída crea los primeros problemas de mala calidad de aire, afectando a gran parte del municipio. La mala calidad del aire y los gases tóxicos han sido motivo constante de toma de medida preventivas incluyendo recomendaciones a la población de no abandonar el domicilio, el uso de mascarillas FFP2 e incluso la evacuación completa de la población en la zona en que la calidad del aire así lo aconsejaba.

Con la llegada del frente de lava a la costa el 29 de septiembre, tras superar el desnivel del cantil, la lava se precipitó al mar formando un delta lávico en forme de abanico en el frente de costa, avanzando unos 50 m en relación con la topografía previa. A lo largo del proceso, las coladas de lava llegaron al mar en cuatro ocasiones, haciendo crecer la isla en 48 ha.

La intensa emisión de cenizas y piroclastos a la atmósfera forma diariamente una columna eruptiva que, en promedio, alcanza alturas entre los 3 000-5 000 msnm, con máximo de 8 500 msnm. Toda esta aportación de material a la atmósfera afecta al tráfico aéreo, dependiendo principalmente de la dirección de los vientos, siendo necesaria la emisión de 29 avisos VONAS (Volcano Observatory Notice for Aviation) que en numerosas ocasiones cerraron el aeropuerto de La Palma.

Desde el inicio de la erupción el IGN puso en marcha un operativo especial para su monitorización, declaración de alertas, atención a los gestores de la emergencia, así como a los medios de comunicación, y se incrementa su presencia en la isla, abriendo un centro de trabajo que coordina y centraliza al personal del IGN desplazado a la zona desde Madrid y Tenerife, situado en la Plaza de la Iglesia de Tajuya (Los Llanos de Aridane), en un local cedido por la Iglesia de Tajuya.

La monitorización de la erupción la realiza personal especialista en los campos de la sismología, geoquímica, geología, geodesia, gravimetría, instrumentación y

Descenso colada de lava Tacande.

comunicaciones. Para ello, se cuenta en la isla de La Palma con una red de instrumentación formada por estaciones sísmicas, GNSS, de medida de CO_2 difuso, Rn, inclinómetros, etc. Además de su mantenimiento, se realiza diariamente la toma de muestras para análisis geoquímicos y petrológicos, medidas de altura de columna eruptiva y análisis de deformaciones mediante InSAR. El sistema de vigilancia se refuerza además con nuevas estaciones sísmicas, GNSS, inclinómetros, gravíme-

Llegada de la colada de lava al mar y formación de un delta lávico.

Midiendo la altura de la columna desde el vértice El Time.

tros, cámaras térmicas y visuales, sonómetros, etc., algunos de estos equipos en colaboración con otras instituciones.

Debido a la caída de ceniza, es necesario reforzar las labores de mantenimiento de las estaciones de la red de vigilancia. Diariamente se realiza la limpieza de paneles solares y sistemas de comunicación, que son cubiertos por la ceniza arrojada en la erupción. Además,

Monitorización de gases en cráter norte.

Muestras de gases.

se hace imprescindible el uso de sistemas de protección para el personal que se encuentra en campo, debido a la toxicidad de los gases volcánicos y al peligro inherente a la cercanía de la columna eruptiva, que eleva la concentración de SO_2 y de partículas en suspensión en aire, cubriendo una gran área alrededor del centro eruptivo.

Desde finales del mes de noviembre se aprecia un cambio en los parámetros observables de la erupción, indicando una disminución de su intensidad, con menor cantidad de sismos y de menor magnitud, localizados a profundidades de 30-40 km y con estabilidad en las deformaciones medidas por las redes GNSS, levantamientos de RTK e imágenes de InSAR. Igualmente se aprecia la disminución progresiva de gases asociados al penacho volcánico, principalmente SO_2. No obstante, a primeros de diciembre se produce una fuerte fracturación en el entorno del edificio principal, con la apertura de nuevos centros en la parte más oriental asociada a intensa actividad efusiva y estromboliana, emitiendo coladas muy fluidas que avanzaron rápidamente ocupando nuevo territorio.

Durante diciembre, la erupción fisural continuó mostrando

Tomando muestras de gases.

Imagen de las coladas del sur y los depósitos de ceniza, con el edificio volcánico al fondo.

mecanismo estromboliano, con fases de explosividad variable que producen depósitos piroclásticos y fases simultáneas efusivas que producen coladas de lava. También se registra pulsos con intensa actividad freatomagmática. Las emisiones desde focos efusivos situados al sur y oeste del cono principal, emiten lavas que alimentaban coladas al sur. También se siguen alimentando las coladas centrales que discurren por tubos volcánicos, y se desplazaban hacia el oeste sobre coladas anteriores. La más activa, que confluyó sobre la colada que surgió al oeste de la Montaña del Cogote (prácticamente inactiva en diciembre), sigue sobre esta última hasta alcanzar el cantil, precipitándose sobre la isla baja en la zona de Las Hoyas, días antes del final de la erupción.

El día 13 de diciembre, tras una fase de elevada explosividad, con gran emisión de bombas volcánicas, elevada emisión de cenizas y fuertes detonaciones en el conducto, se registra a las 22:21 UTC una brusca disminución de la señal de tremor volcánico en todas las estaciones de la red sísmica, alcanzando el nivel de ruido de fondo. También desaparece el flujo y emisión de material volcánico. La estabilidad del resto de observables permite dar por finalizado este proceso eruptivo.

En todo este tiempo el IGN ha participado diariamente en las reuniones del Comité Científico y del Comité Director del PEVOLCA, para presentar los parámetros obtenidos diariamente por la red de vigilancia volcánica del IGN y mostrar la actividad y pronóstico de evolución del proceso. Además, se redoblaron los mecanismos de difusión e información, a través de la página web del IGN, en la que se ha implementado un portal dedicado a la erupción en la isla de La Palma, actualizado diariamente con las últimas noticias, acceso a los datos de sismicidad y deformación medidos por la red de vigilancia volcánica y visualizadores en 2D y 3D que han permitido seguir el estado de la erupción, así como la inclusión de galerías fotográficas y de videos obtenidos *in situ*. La atención a la prensa también ha supuesto una importante labor tanto para el personal destacado en La Palma, como para el personal que permanece en los centros del Observatorio Geofísico Central (OGC) en Madrid y del Centro Geofísico de Canarias (CGC) en Tenerife.

Desde el inicio de la actividad se han podido calcular más de 9000 terremotos en la zona de afección del volcán, principalmente a profundidad intermedia, sobre los 12 km, y en zonas más profundas en torno a los 35 km, siendo en esta última área donde se han localizado los de mayor magnitud (valor máximo 5,1 mbLg) e intensidad (IV-V en la escala EMS). Se ha monitorizado especialmente la amplitud del tremor volcánico, por ser un parámetro importante para conocer la dinámica de la erupción. Igualmente se han observado deformaciones del terreno en torno al cono, que en estaciones GNSS como LP03 han llegado a alcanzar valores de hasta 33 cm. También se ha estimado la cantidad de $S0_2$ emitido a la atmósfera durante la erupción, que alcanza la cifra de 2 Tg ($2x10^{12}$ g). Estos gases no solamente han incidido en la calidad del aire, sino que también han podido tener efectos medioambientales.

A consecuencia de este proceso, la topografía de la isla ha cambiado para siempre. Además de una deformación permanente de unos 33 cm en las inmediaciones del volcán, se ha construido un gran edificio volcánico fruto del apilamiento del material arrojado por la erupción, de unos 34 millones de m^3 y de 700 m de longitud media, que alcanza los 1 131 msnm en el

punto más alto y cerca de 200 m de altura en el punto más distante a la topografía pre-eruptiva (con base a 1 080 m sobre el nivel del mar). El volumen del campo de lavas es de 187 millones de m³ y la superficie total cubierta de unos 12 millones de m², con espesores estimados entre los 70 m en su zona de mayor espesor y 12 m de promedio.

Una vez finalizada la erupción ha sido posible tener acceso al edificio volcánico para realizar tareas que antes eran muy dificultosas por la existencia de un penacho volcánico con constante emisión de gases y piroclastos. De este modo, se ha instalado instrumentación geoquímica suplementaria en el borde de uno de los cráteres, realizado toma de gases y muestras volcánicas, así como cartografiado por primera vez el edificio gracias a la realización de vuelos de dron. Gracias a estos vuelos ha sido posible la inspección de los centros de emisión y la confección de un modelo digital del terreno que permita el cálculo preciso del volumen y extensión de las coladas de lava y del cono volcánico. El peligro más importante que se está monitorizando actualmente es la intensa desgasificación del edificio volcánico y de una zona costera que incluye las poblaciones de La Bombilla y Puerto Naos. En estas poblaciones se miden concentraciones de CO_2 tóxicas y permanecen todavía cerradas a la población.

Esta erupción es la más larga ocurrida en la isla de La Palma y sin duda la más destructora. Aunque hay que destacar que, aunque no hay que lamentar víctimas mortales, deja una isla y una economía muy dañada. Los daños sociales y emocionales son incalculables y difíciles, imposibles de reparar siquiera parcialmente. Los daños económicos han sido muy importantes, con más de 73 km de carreteras sepultadas, más de 1 676 viviendas y edificaciones destruidas o arruinadas y más de 370 ha de cultivos afectados. Los primeros balances de los daños económicos directos e indirectos superan los 900 millones de euros. Y con todo, comienza la fase de reconstrucción de la zona afectada, con una población que ha demostrado una vez más su resiliencia y valentía.

El final de la erupción no implica el final de algunos peligros asociados al fenómeno volcánico, ni necesariamente el final de la reactivación magmática en Cumbre Vieja. El IGN sigue trabajando en la vigilancia del proceso post eruptivo, manteniendo hasta este momento la presencia continua de personal en la isla, realizando las reuniones diarias de coordinación y valoración, así como el mantenimiento y diversificación del sistema de vigilancia volcánica operativo en la isla y los muestreos geoquímicos y geológicos, que permitirán mejorar el conocimiento del sistema volcánico activo en La Palma.

Cráteres.