

# Vigilancia y seguimiento de la erupción en Cumbre Vieja La Palma (España)

REVISTA **MAPPING**  
Vol. 31, 207, 16-29  
Año 2022  
ISSN: 1131-9100

*Eruption surveillance and monitoring at Cumbre Vieja, La Palma (Spain)*

Carmen López Moreno

## Resumen

Este artículo es una transcripción, editada y resumida, de la charla divulgativa impartida por Carmen López, Directora del Observatorio Geofísico Nacional Instituto Geográfico Nacional (IGN) en el Ateneo de Valencia el 7 de abril de 2022, cuatro meses después del final de la erupción. En él, se relata la experiencia de colaboración, llevada a cabo por un amplio número de expertos pertenecientes a una larga lista de entidades, durante la vigilancia y el seguimiento de la erupción de Cumbre Vieja, en la isla de La Palma, en 2021. También se repasan brevemente las técnicas aplicadas para anticipar el fenómeno eruptivo que se utilizaron en esta ocasión. La experiencia ha sido por un lado terrible, dados los enormes daños sufridos en las cosechas, viviendas e infraestructuras y el profundo daño económico y social producido. Pero, por otro lado, ha sido una experiencia muy positiva en cuanto a coordinación y colaboración de organismos y organizaciones de todos los niveles, en lo relativo a la respuesta de la población y ha constituido una vivencia humana de la que todos hemos aprendido.

## Abstract

*This article is an edited and summarized transcription of the informative talk given by Carmen López, Director of the National Geophysical Observatory National Geographic Institute (IGN) at the Ateneo de Valencia on April 7, 2022, four months after the end of the eruption. It contains a description of the collaborative experience, carried out by a large number of experts belonging to a long list of entities, during the surveillance and monitoring of the eruption of Cumbre Vieja, on the island of La Palma, in 2021. The techniques applied to anticipate the eruptive phenomenon used on this occasion are also briefly reviewed. On the one hand, the experience has been terrible, given the enormous damage suffered in crops, housing and infrastructure and the deep economic and social damage produced. But, on the other hand, it has been a very positive experience in terms of coordination and collaboration of agencies and organizations at all levels, in terms of the response of the population and it has been a human experience from which we have all learned a lot of things.*

**Palabras clave:** Erupción, Volcán, Cumbre Vieja, La Palma, Observatorio Geofísico Nacional.

**Keywords:** Eruption, Volcano, Cumbre Vieja, La Palma, National Geophysical Observatory.

Carmen López Moreno  
Observatorio Geofísico Nacional IGN  
[clmoreno@mitma.es](mailto:clmoreno@mitma.es)

Recepción 20/05/2022  
Aprobación 16/06/2022

## TRANSCRIPCIÓN, EDITADA Y RESUMIDA, DE LA CHARLA DIVULGATIVA IMPARTIDA EN EL ATENEO DE VALENCIA EL 7 DE ABRIL DE 2022, CUATRO MESES DESPUÉS DEL FINAL DE LA ERUPCIÓN

Primeramente, nos centraremos en saber dónde está la Palma. La isla de la Palma es una de las ocho islas del archipiélago canario. Está a unos cuantos miles de kilómetros hacia el sur, enfrente de la costa africana y es uno de los archipiélagos con actividad volcánica que hay en esa zona del Atlántico, porque también ha habido y hay volcanes activos en las islas de Cabo Verde y en las islas Azores. Se trata de una zona cercana a bordes de placa. La tectónica de las placas africana, norteamericana y euroasiática, más la existencia de lo que se llama una pluma mantélica, que es material caliente que atraviesa la Tierra, viene de las profundidades, se sitúa debajo de las Canarias y tiene una anomalía térmica, es lo que define el escenario que produce erupciones como la reciente de Cumbre Vieja. Esa pluma provee de magma a los procesos eruptivos del archipiélago.

Las islas Canarias se han levantado a partir del suelo oceánico, que se encuentra a unos 4 km de profundidad al oeste del archipiélago. Se han construido unas islas maravillosas a base de erupciones. Son islas volcánicas activas, que han tardado unos 60-80 millones de años en

formarse. Por lo tanto, la existencia de cada una de las islas que componen el archipiélago canario se debe a una serie de fenómenos eruptivos, como lo atestiguan las erupciones más recientes. Precisamente en la isla de la Palma es donde más erupciones ha habido en los últimos 500 años, concretamente seis anteriores a esta de 2021, que se han situado todas en la zona llamada Cumbre Vieja, en la mitad sur de la isla. La parte norte está ocupada por la caldera de Taburiente, una estructura muy alta, muy rígida y muy antigua que ya no es volcánicamente activa. Toda la actividad se concentra actualmente en la mitad que va desde el centro de la isla hacia el sur.

También ha habido, en lo que llamamos época histórica, en los últimos 500 años, cuatro erupciones en Tenerife, dos en Lanzarote y una en la isla de El Hierro. La anterior erupción que ocurrió en las Canarias, tuvo lugar en la isla del Hierro, en 2011, y fue una erupción submarina, que duró cuatro meses. Por otro lado, la erupción más larga tuvo lugar en Lanzarote entre 1730 y 1736.

Si consideramos las siete erupciones, incluida la actual, que han tenido lugar en La Palma, en Cumbre Vieja, puede verse que todas las coladas van hacia el mar (véase la figura 1) porque parten de la zona más elevada. La zona está llena de edificios volcánicos. Es la zona más alta de la isla por todo el material volcánico que se ha ido acumulando y, con el paso del tiempo, la isla ha ido ganando altura debido a ese motivo. Incluso, ha habido alguna erupción que ha tenido coladas tanto hacia la vertiente este como hacia la oeste.

La última erupción anterior a la que nos ocupa es la del volcán Teneguía, situado al sur de la isla, en 1971, una erupción se podría decir menor, comparada con la que se ha vivido recientemente en La Palma. Se formó un edificio

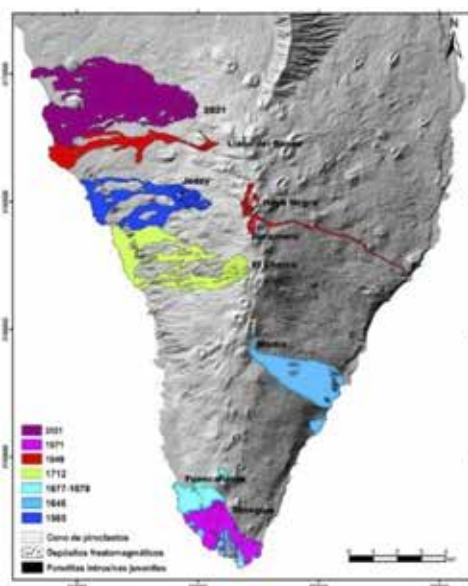


Figura 1. Erupciones históricas en la isla de La Palma. Fuente IGN

Año	Erupción	Precur. días	Inicio	Fin	Días	Años reposo	Área km <sup>2</sup>	Comp.
1585	Jedey/Tajuya	~50	19-may	10-ago	84	93-155?	3.8	BN, P, T
1646	Tigalate/Martin	1	1-oct	21-dic	82	61	4.4	BN
1677-78	Fuencaliente	4	17-nov	21-ene	66	31	4.5	BN
1712	El Charco	5	9-oct	3-dic	56	35	3.8	BN, T
1949	Duraznero		24-jun	30-jul				BN, T
	Llano del Banco	884	8-jul	26-jul	37	237	3.7	BN, T
	Hoyo Negro		12-jul	30-jul				BN, PT
1971	Teneguía	6	26-oct	18-nov	24	22	2.6	BN, T
2021	???????	1440	19-sep	13-dic	85	50	12.19	BN, T

volcánico, de menor tamaño que el de Cumbre Vieja, y hubo coladas de lava que fueron hasta el mar por una zona en la que no había población alguna y casi no hubo daños materiales. Por el contrario, en la erupción que hemos vivido recientemente en la isla de La Palma, los centros eruptivos han cubierto 12 kilómetros cuadrados de territorio en el valle más rico desde el punto de vista económico y más poblado de la isla, que es el valle de Los Llanos de Aridane. El evento ha provocado daños en tres municipios, Tazacorte, El Paso y Los Llanos de Aridane, y realmente el impacto ha sido enorme, con grandes pérdidas y con peligros que todavía perduran.

El Instituto Geográfico Nacional (IGN) tiene desde 2004 la responsabilidad de la vigilancia volcánica en el archipiélago. Debemos saber cuándo, cómo y dónde va a haber una erupción. Para ello, es necesario conocer el estado del volcán a través del conocimiento detallado de la geología del lugar, hace falta desplegar redes de observación (luego veremos en qué consisten) y hay que hacer modelos para poder anticiparnos a la ocurrencia de la erupción y proporcionar a Protección Civil las alertas correspondientes y los escenarios oportunos. Es una tarea de predicción similar de alguna manera a la que realiza en meteorología la AEMET. Podemos en cierta medida anticiparnos al impacto de la erupción, de manera que Protección Civil tenga los datos a tiempo para tomar las medidas de mitigación necesarias, como por ejemplo evacuar a la población.

La geología es la herramienta que nos proporciona el conocimiento de cómo funciona el interior de los volcanes. En el subsuelo de la isla de La Palma se encuentra la corteza, una capa terrestre rígida de unos 30 km de profundidad en zonas continentales, que en islas oceánicas es menor, de unos 12-15km, por debajo de la cual tenemos materiales más dúctiles, en los que aparecen anomalías térmicas y, en el caso de Canarias, contiene un material que viene desde zonas profundas, que se va acumulando y es lo que llamamos magma, roca incandescente, cuya presión va aumentando a medida que se acumula por debajo de la corteza. Cuando esa presión es mayor que la resistencia de la corteza, el magma empieza a atravesarla y, por último, asciende para crear y alimentar una erupción.

Todo ese proceso es realmente violento y genera una serie de señales muy claras, terremotos, deformación y salida de gases volcánicos, que nosotros con nuestras redes de vigilancia podemos empezar a registrar días, semanas e incluso meses antes de que comience la erupción. De manera que, si tenemos una red de vigilancia adecuada y estamos atentos, podemos avisar a Protección Civil con antelación y anticiparnos al inicio del evento, incluso proporcionando escenarios temporales,

previéndolo si estamos muy cerca o no de la erupción, y escenarios espaciales que indiquen cuál es el área en la que es más probable que se inicie la erupción. Porque cuando el magma se acumula bajo la superficie, lo primero que hace la sobrepresión es deformar elásticamente la corteza. Luego supera el límite de resistencia del terreno, lo fractura y genera terremotos, detectables con estaciones sísmicas dotadas de un sensor que registra la vibración y que nosotros instalamos en sondeos a más de 15-20 metros de profundidad. Asimismo, la presión deforma la superficie y la Tierra se hincha como cuando se mete un pastel en el horno, con una geometría muy determinada que señala cuál es el centro de presión y a qué profundidad se encuentra.

Hay técnicas, por ejemplo, la interferometría InSAR (Interferometría Radar de Apertura Sintética), que permiten describir con precisión cómo se está deformando la superficie terrestre mediante satélites que observan esa superficie en cada pasada. Hay otras técnicas geodésicas, como la red GNSS (*Global Navigation Satellite System*), que no es más que un GPS (*Global Positioning System*) similar al que llevamos en el móvil, pero de mucha más precisión, que nos proporcionan el tiempo y las coordenadas del terreno que se deforma con mayor precisión y con resoluciones que pueden llegar a ser subcentimétricas. La red GNSS, junto a los datos inSAR, la red de altimetría, los datos de los inclinómetros y la información de las campañas RTK de toma de datos que realiza el IGN, permiten vigilar con gran precisión la deformación de la superficie de la isla de La Palma de manera prácticamente continua y en tiempo real. Por otro lado, el magma tiene grandes cantidades de gas a presión dentro de su matriz. Cuando el magma se aproxima a la superficie, el gas se libera debido a la disminución de presión, empieza a desplazarse hacia la superficie por difusión y también a disolverse en los cuerpos de agua cercanos y, si se toman muestras de agua, se puede detectar cómo han variado los gases disueltos en ella.

Todas estas técnicas permiten anticipar la llegada del magma a la superficie. Además de las redes de observación mencionadas, disponemos de expertos en la aplicación de métodos numéricos y la simulación de escenarios para conocer en qué zona va a ser más probable que se encuentre el centro eruptivo, cómo serían los posibles escenarios para cada peligro volcánico. Por ejemplo, por dónde van a discurrir las coladas de lava o en qué dirección se va a desarrollar la columna eruptiva asociada a las emisiones volcánicas, etcétera. Por lo tanto, disponiendo de información sobre la geología de la zona, los datos de observación que se registran en redes de vigilancia y los métodos numéricos de simulación, y teniendo además el mejor personal experto, que es el que se tiene en el IGN,

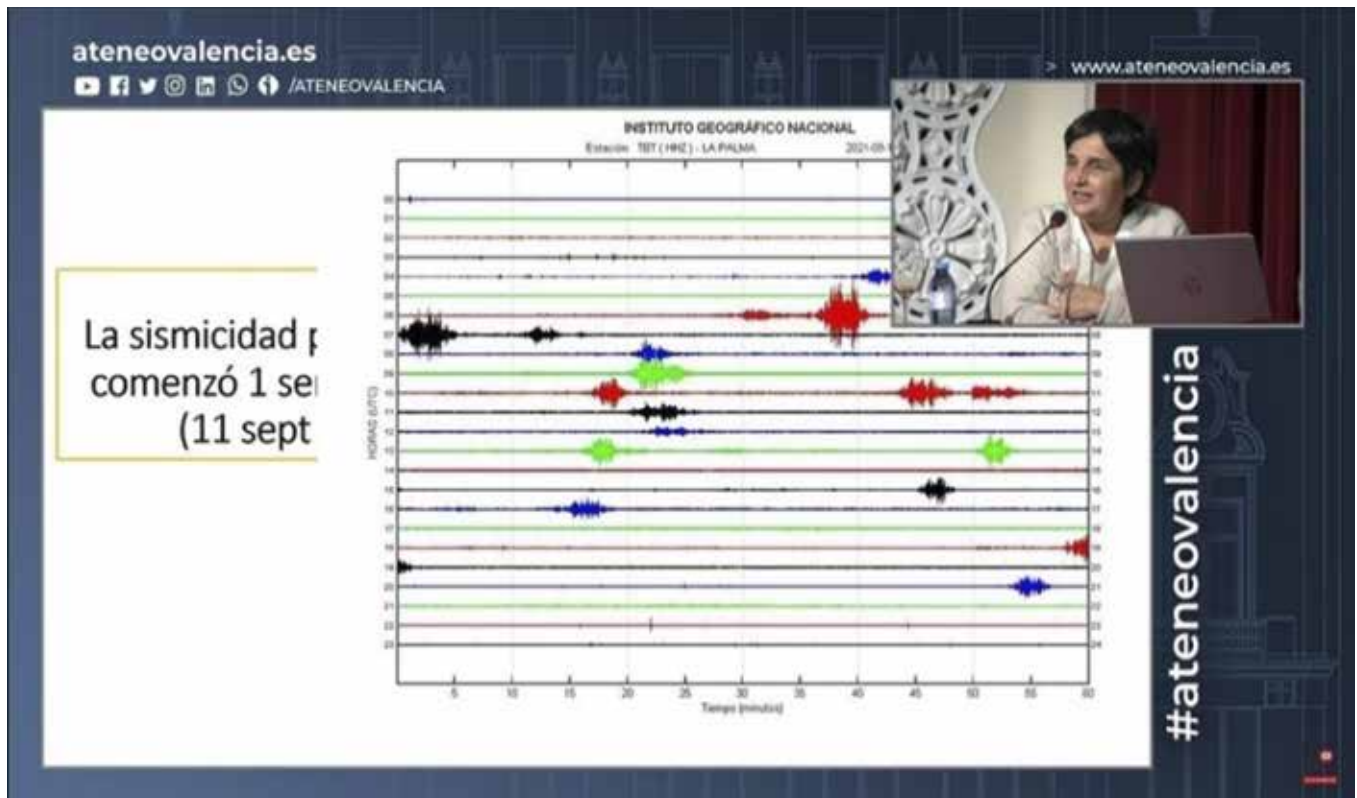


Figura 2. Registro sísmico de Cumbre Vieja del 11 de septiembre de 2017

es posible anticipar en gran medida todos los aspectos de un fenómeno volcánico.

En el Instituto Geográfico Nacional disponemos de un equipo humano formado por unas 50 personas, distribuidas en dos centros, trabajando en turnos que cubren las 24 horas los siete días de la semana. Tenemos muchísima instrumentación que está registrando datos en tiempo real y que permite vigilar continuamente cómo evoluciona la actividad volcánica en todas las islas. Hemos acumulado además una gran experiencia por haber participado en la gestión de las erupciones de la isla del Hierro y de la isla de La Palma y hemos visto hasta qué punto los fenómenos asociados al volcanismo deben ser abordados con un enfoque multidisciplinar porque, además de lo dicho, esa intrusión magmática modifica el campo gravitatorio cuando se acerca a la superficie, altera el campo magnético terrestre, produce anomalías térmicas, fractura, deforma y hace vibrar a la superficie, y en consecuencia tenemos instalados estaciones geoquímicas, gravímetros, magnetómetros, sismómetros e inclinómetros en la zona, y también utilizamos técnicas como el inSAR y GNSS.

Además, puesto que se liberan gases específicos, medimos su concentración, ya sea que se encuentren disueltos en agua o difusos, en forma de emisiones en la superficie hacia la atmósfera. También aparecen variaciones de temperatura, y las registramos a través de

instrumentación de termometría y cámaras especiales con la precisión suficiente. Todos esos datos, captados en tiempo real en el sistema de vigilancia volcánica implementado, han permitido realizar el seguimiento completo de la erupción de La Palma desde los primeros signos tempranos de actividad anómala.

La erupción en sí, ocurre en 2021, pero cuatro años antes ya empezó a aparecer cierta actividad anómala. En octubre de 2017 se registró un enjambre de sismos en tierra, cuando la sismicidad de la isla es prácticamente nula. Entre 2017 y 2021 se produjeron siete series de ese tipo, localizadas en la misma zona. Su profundidad estaba entre los 20 y los 25 km, eran sismos muy pequeños y la población no los sintió, pero hubo una alerta de Protección Civil, se reunieron los comités de expertos y se interpretó lo ocurrido en términos de una posible intrusión magmática por debajo de la isla, en la zona de Cumbre Vieja, con un volumen tan pequeño que no había llegado aún a producir deformaciones en la superficie. También aparecieron los gases típicos en estos casos, que son los isótopos del helio, y hubo una serie de aumentos de la concentración de hidrógeno, un gas asociado a la existencia de magma fresco. Eran evidencias débiles, pero que no se habían dado desde la última erupción, producida 50 años antes, en 1971. En realidad, se puede decir que cuatro años antes de la erupción, el volcán nos estaba indicando que estaba ocurriendo algo, que se estaba

acumulando magma por debajo de Cumbre Vieja.

Esto es lo que pasó el día 11 de septiembre de 2017 (véase la figura 2). En ella podemos ver lo que llamamos un registro sísmico, lo que registra un sismómetro, que mide la vibración del suelo. Cada línea representa la actividad durante una hora, desde las 00 hasta las 01, desde las 01 hasta las 02 y así sucesivamente. Las estaciones están alejadas de lo que es ruido cultural, por eso el registro es plano en ausencia de actividad. Las perturbaciones más pequeñas están causadas por coches que pasan cerca de la estación. Un coche produce una vibración, que nosotros no detectamos si estamos situados a 100 metros, por ejemplo, pero un sismómetro, sí. Es lo que se denomina actividad cultural o antrópica, y se nota que está concentrada en las horas diurnas, mientras que por la tarde empieza a aparecer otro tipo de actividad, debida a terremotos muy pequeños, que pueden durar a lo mejor 10-20 segundos, con una amplitud muy pequeña. En principio, se pensó que se podría tratar de otro enjambre más, pero rápidamente se vio que la profundidad era de solo 12 km, frente a los 20 o 25 km de los anteriores. Eso, que no había ocurrido nunca hasta entonces, indicaba que la fracturación que creaba la sobrepresión del material estaba ya cerca de la superficie, lo que nos alertó inmediatamente.

Se lo comunicamos a Protección Civil y al cabo de dos días comenzaría ya a reunirse el comité científico del plan de emergencias PEVOLCA (Plan de Emergencias Volcánicas de Canarias), que no dejó de reunirse ya, al menos una vez al día, hasta dos meses después de finalizar la erupción y que todavía se reúne cada dos semanas.

Vale la pena examinar qué ocurrió el día siguiente, el 12 de septiembre (véase la figura 3). Después de una mañana de relativa tranquilidad, los terremotos comenzaron a ser más frecuentes y de mayor magnitud, hasta que por la tarde alguno llegó a ser sentido por la población y, en menos de una semana, empezó la erupción.

La erupción fue un proceso muy acelerado y de gran



Figura 3. Registro sísmico de Cumbre Vieja del 12 de septiembre de 2017. Fuente IGN.

energía. La profundidad de los seísmos era cada vez menor y su migración espacial describía día a día la migración del magma desde los 12 kilómetros hasta la superficie. En tan solo algo más de una semana antes de la erupción (8 días), se produjeron 9000 eventos que empezaron en la vertical de Cumbre Vieja, luego migraron hacia el NE y posteriormente, hacia la superficie, pues la profundidad de los terremotos fue disminuyendo progresivamente, desde los 10-12 km desde el día 11 hasta el día 15 de septiembre, hasta los 0-2 km desde esta fecha hasta el día 19 de septiembre, día en el que comenzó una señal continua, llamada tremor volcánico. Esta es la señal que se registra en los sismómetros cuando hay una vibración asociada a un fluido en una geometría determinada, que, en nuestro caso, corresponde al magma fluyendo por el dique y significaba que ya había empezado la erupción. El tremor volcánico es una señal que acompaña a toda la erupción durante su duración, algo similar a la vibración que se nota en las cañerías antes de que empiece a salir agua cuando ha estado cortado el suministro y se abren los grifos al máximo. En este caso duró hasta el 13 de diciembre. Dos días más tarde de comenzar la sismicidad, desde el día 12, se registran claramente deformaciones en la red geodésica, mostrando una deformación del terreno inferida de los datos GPS, compatible con la evolución de la sismicidad. La superficie del terreno cercana a la erupción se elevó hasta 30 cm. Esos datos, junto a los de los inclinómetros y los desplazamientos de estaciones GNSS, nos permitió situar el centro de presión muy cerca de donde iban a surgir los centros eruptivos.

Aplicando métodos matemáticos, se puede modelizar el proceso y saber cuál es el volumen de magma en kilómetros cúbicos que hay que situar debajo de la superficie para producir esa deformación. La máxima deformación fue de 30 cm y apareció muy cerca de la zona en la que se iniciaría la erupción. Y esa información la teníamos con días de antelación.

Otra técnica muy útil es la que ya hemos mencionado como tecnología InSAR, en la que un satélite emite una radiación electromagnética que rebota sobre la superficie y vuelve al satélite. El patrón de interferencia de la onda emitida y de la reflejada permite determinar la topografía con gran precisión. Cuando se realizan sucesivas pasadas, nos permite tener la diferencia en la forma del terreno que se produce por su deformación entre una pasada del satélite y la siguiente, lo que permite determinar las máximas deformaciones. La zona de estos máximos marca muy claramente también el área del futuro centro eruptivo.

Todas estas técnicas se aplican dentro del



Figura 4. Inicio de la erupción en varias bocas a lo largo de una fisura

mencionado Plan PEVOLCA del Gobierno de Canarias, en el que hemos colaborado más de 800 personas durante la emergencia y han participado una larga lista de instituciones científicas: el IGN, el CSIC, la AEMET, INVOLCAN, el IGME, las Universidades Canarias, Calidad del Aire del Gobierno de Canarias, etc. y en el Comité Director estaban Gobierno de Canarias, los cabildos, los ayuntamientos, Protección Civil, Cruz Roja y los Cuerpos y Fuerza de Seguridad del Estado, entre otros. Todas las organizaciones participantes han destacado recursos humanos e infraestructuras sobre el terreno y los han mantenido allí durante toda la crisis. Nosotros hemos participado en el Comité Científico y el clima de colaboración era extraordinario, se compartía toda la información y se facilitaban todos los datos de interpretación y pronóstico al Comité Director para que tomase las decisiones oportunas que permitieran tomar las medidas de mitigación más efectivas.

Se ha hecho todo lo posible para mitigar los daños, aunque no ha sido posible mitigarlos al cien por cien, como es fácil de comprender a la vista de la extensa superficie de coladas emitidas durante esta erupción y la pérdida dolorosa e irremediable de viviendas, cultivos e infraestructuras que conllevan. Hay que estar aliviados porque no ha habido víctimas y porque se han tomado las medidas preventivas adecuadas, sobre todo evacuaciones, con celeridad y eficacia. Cuando se inició la

erupción, la zona estaba totalmente evacuada de manera preventiva desde bastantes horas antes. El inicio de la erupción ha podido ser grabado, pues había cámaras de la televisión canaria en la zona, pues ya sabíamos aproximadamente dónde se iba a producir con antelación. Fue muy impresionante porque la erupción se inicia cerca de Cabeza de Vaca, en la Hoya de las Flores, en zona de pinar y, horas antes nos reportan que no había ni un solo animal, ni un pájaro ni un insecto y toda el área estaba en silencio. Algo rarísimo. Tan solo se oían ruidos subterráneos y se sentía una vibración vertical a causa de la sismicidad.

La erupción empezó en una fisura, que es como suelen comenzar las erupciones monogenéticas en las islas Canarias. Se puede decir que el magma sube por un plano (el dique) y corta la superficie en diferentes puntos, cada punto aparece un centro de emisión, de manera que al comienzo se contaron hasta nueve puntos que emitían material incandescente, alguno creando ya una pequeña columna de ceniza y otros ya generando ya coladas de lava que discurrían a favor de la pendiente. Surgió en una zona de pinar, a unos pocos cientos de metros de las primeras viviendas. En la figura 4 puede verse el inicio de la erupción, con material incandescente y emisión de gases y ceniza. Esta emisión será continua desde el 19 de septiembre hasta el 13 de diciembre. Como es sabido, el daño a las viviendas, a las infraestructuras, a

la ganadería y a la agricultura ha sido muy considerable. Las coladas llegaron a cortar tres carreteras principales, las conducciones eléctricas y las conducciones de agua de la vertiente oeste. Y las pérdidas, irreparables, no solamente en lo material sino, y es la parte más dolorosa, en lo inmaterial, se han perdido todos los recuerdos y todo un estilo de vida en gran parte del Valle de Aridane.

El IGN abrió un Centro de Atención y Vigilancia en el municipio de Tajuya en El Paso, gracias a la generosidad de su Ayuntamiento y a la Iglesia de El Paso que nos cedieron un amplio local al efecto. Allí trabajábamos desde las siete de la mañana hasta las once de la noche, allí vivimos casi de continuo y todavía nos desplazamos a él como centro de operaciones para ver cómo evoluciona la situación una vez finalizada la erupción. Una de las cosas que más impresiona es cómo ruge el volcán, cosa que hace con diferentes ritmos e intensidad. Cuando la lava se fragmenta a su salida del centro emisor, en el cráter, se crea una emisión de piroclastos que luego va cayendo con diferente tamaño, a veces de milímetros o centímetros, formando la ceniza o lapilli y otras de gran tamaño, en forma de bombas volcánicas. El volcán además emitía flujos de lava y emisiones de tipo hawaiano, con lava muy fluida que creaba lagos interiores que rebasaban periódicamente. La emisión más explosiva, de tipo estromboliano, alimentaban columnas incandescentes de hasta 600 metros de altura. La explosividad era importante, de manera que toda esta actividad fue construyendo un edificio volcánico con gran celeridad.

El segundo día de erupción ya se podía observar un edificio principal, encajado en una hoya en pendiente, la Hoya de las Flores. La erupción rápidamente rellenó la hoya y comenzó a generar un edificio con varias bocas, que se mantuvieron activas. Ha habido ocasiones en las que había distintas columnas, unas blancas, de vapor de agua, y otras oscuras, de ceniza. La erupción ha sido enormemente dinámica con una parte explosiva y otra efusiva, es decir, con actividad estromboliana y hawaiana al mismo tiempo. La emisión de ceniza era muy abundante,



Figura 5. Flujos de lava. Fuente: Abián San Gil

te, ceniza que llevaba el viento y caía en las poblaciones de los tres municipios colindantes, en Tazacorte, en Los llanos, en El Paso, llegaba hasta el aeropuerto de La Palma, luego cambiaba la dirección del viento y caía sobre la otra vertiente. Llenaba las conducciones, los desagües, todos los embalsamientos de agua para regadío, caía también sobre los cultivos de las plataneras, causando gran daño por su elevada temperatura y por su carácter ácido.

Las coladas han sido también el peligro que ha causado más daño. Se trata de material que sale muy caliente, a 1200 grados de temperatura, en su flujo a favor de la pendiente va generando unas zonas un enfriamiento lateral, y se va enfriando a medida que avanza, de manera que a veces la superficie queda fría y la lava fluye por debajo y forma un tubo volcánico. En ocasiones, la lava transporta grandes bloques de lava o del propio edificio volcánico, lo que resulta muy impresionante. Hay un gran número de vídeos disponibles en la página web del Instituto Geológico y Minero de España (IGME)<sup>1</sup>. El IGME activó su Unidad de Drones y sobrevoló la zona permitiendo el registro en el espectro térmico y en el visible. También volaron el gobierno de Canarias y el IGN. Hubo días que se realizaron hasta 40 vuelos, por lo que hay una gran cantidad de información. Esta erupción ha sido una de las más documentadas del mundo, desde luego la mejor documentada en Canarias, por lo que se puede seguir paso a paso su evolución y dinámica.

En la figura 6 puede verse un jameo, que es una oquedad producida por el hundimiento del techo de un tubo de lava volcánico, en el que por debajo está corriendo la lava. Se ha visto cómo crecían, se construían y se destruían, en ocasiones en poco tiempo, partes completas del edificio volcánico. A veces se generaban deslizamientos de parte de un sector del edificio y, muy frecuentemente, había desbordes de lava que incluso presentaban morfologías escalonadas de lavas y material incandescente que rebasaban y ensanchaban el frente del recubrimiento de las zonas ya previamente afectadas.

Las coladas han causado un gran daño en las poblaciones. La lava muy fluida, muy caliente, avanzaba bastante rápido, a decenas de metros por segundo cerca de su emisión; luego se iba enfriando y avanzaba de manera más lenta, a velocidades de unos pocos metros por hora, pero progresaba de manera inexorable. El frente era imponente, con la altura de un edificio de tres o cuatro plantas, al arremeter contra las edificaciones ejercía una presión de arrastre enorme y las destruía completamente, además de producir su combustión. En ocasiones, la

<sup>1</sup><https://info.igme.es/eventos/Erupcion-volcanica-la-palma/videos>



Figura 6. Jameo producido en la erupción del volcán Cumbre Vieja

lava dejaba isletas entre coladas. La población ha estado contantemente preocupada y vigilando día a día la evolución del proceso, intentando saber con los vídeos disponibles si su vivienda había sido o no afectada. Desgraciadamente, después de los 83 días de actividad, la mayoría de esas isletas se han ido cubriendo poco a poco, lo que ha sido una verdadera agonía para los habitantes del valle.

Al final, las coladas han llegado hasta el mar siguiendo un recorrido que se ha podido prever mediante simulaciones que han servido a Protección Civil para definir las zonas de exclusión, evacuando a la población gradualmente a medida que los peligros se acercaban. Pues una vez que se conocía la distribución de máxima probabilidad de las coladas de lava, era necesario anticiparse y sacar a la población, antes o después, dependiendo de la velocidad de la lava, de la zona que podía quedar cubierta por una colada. De hecho, con el paso de los días, el 13 de diciembre quedó cubierta prácticamente toda el área marcada como extensión potencial de las coladas en el mapa de escenarios que confeccionó el IGN. La lava cubrió casi todo, excepto algunas zonas de mayor altura, incluso llegó al mar para formar las llamadas fajas, plataformas costeras de origen volcánico que son en realidad deltas lávicos, con los que la erupción le ha ganado terreno al mar.

Durante la erupción también se registró una importante sismicidad que se localizó tanto entre los 30 y 40 kilómetros de profundidad como entre los 10 y 20 kilómetros, también en la zona central de Cumbre Vieja. Algunos de esos temblores se llegaron a sentir en otras islas, como Tenerife, La Gomera y El Hierro. Se trata de la

sismicidad asociada al proceso de realimentación de la erupción desde los reservorios más profundos. Algunos días se llegaron a sentir hasta 45 terremotos con intensidades importantes. También se produjo más deformación, con episodios de inflación-deflación del terreno relacionados también con la dinámica de realimentación de la erupción. Los últimos días de la erupción fueron de gran intensidad, con una actividad explosiva muy importante, desde nuevos puntos de emisión. La intensa actividad alimentó una columna de 8,5 km de altura. También fue explosiva la actividad cuando la lava llegó al mar sufriendo un proceso de enfriamiento brusco, se produjo actividad de fragmentación y emisión de piroclastos a cientos de metros, con el consiguiente peligro. A la vez se liberaban nuevas emisiones de gases, que pueden ser tóxicas por la mezcla de la lava y los gases con el agua de mar, lo que obligó a evacuar temporalmente nuevas zonas costeras. Todo el proceso fue muy dinámico y la situación cambiaba día a día.

Como ya hemos dicho, hubo un verdadero problema causado por la columna eruptiva, constituida por gases y ceniza a muy alta temperatura, y material de mayor tamaño que era arrojado en vertical de manera muy explosiva. Esa columna eruptiva llegó a ser imponente y de gran altura. El material arrojado se emite con mucha energía cinética y térmica, por lo que se eleva a gran altura hasta que se estabiliza. Así pues, la altura a la que puede llegar la parte superior de la columna es proporcional al nivel de explosividad de la erupción. Esta columna es dispersada y guiada por acción de los vientos predominantes, que permiten que la ceniza, de menor tamaño, recorra grandes distancias por lo que llega a afectar a las pobla-



ciones más cercanas. Las localidades de Los Llanos, Tazacorte, El Paso y Las Manchas se vieron afectadas por el penacho volcánico y la caída de ceniza. El viento, cuando era intenso y soplabla en dirección a estas poblaciones, dirigía el penacho sobre ellas favoreciendo la acumulación de ceniza sobre las calles y los tejados, por lo que había que realizar labores de limpieza. Además empeoraba la calidad del aire por partículas en suspensión. Estas situaciones se dieron con muchaintensidad, lo que obligó a tomar medidas preventivas y recomendar el uso de mascarillas FFP2, no realizar actividades al aire libre y el cierre de colegios. Había partículas muy pequeñas en suspensión, que en altas concentraciones son peligrosas para la salud.

En la figura 7, puede verse en una zona norte de la isla, desde la caldera de Taburiente, cómo se está midiendo y calibrando con métodos topográficos la altura de la columna eruptiva. Este dato ha sido muy importante para la regulación del tráfico aéreo. Se media diariamente, por la mañana temprano y también cada vez que sufría un cambio notable de altura la columna, y era reportado al VAAC de Toulouse (Francia), entidad que regula el tráfico aéreo europeo, para evitar encuentros no deseados de los aviones con material volcánico. De tener un encuentro, la ceniza se funde y se pega a los rotores, pudiendo paralizar los motores. El aeropuerto de La Palma estuvo cerrado por ese motivo en muchas ocasiones.

También aparecieron gases volcánicos perjudiciales para la salud, como es el dióxido de azufre, que el viento transportó casi hasta el continente africano como reflejan los satélites de observación terrestre de la ESA del Programa Copernicus. En las Cañadas del Teide se midieron niveles de este compuesto que no se habían detectado hasta entonces. El día 13 de diciembre, horas antes de finalizar la erupción, la columna alcanzó su máxima altura, cercana a los 9 km sobre el nivel del mar. La ceniza, al dispersarse debido a la acción de los vientos,

no solamente afectó a las áreas cercanas a la erupción, sino también a toda la actividad de la isla. Nos obligaba a realizar muchas tareas de mantenimiento *in situ* pues cubría los paneles solares de toda nuestra instrumentación y nos causaba innumerables problemas en las estaciones de medida. Como la instrumentación de vigilancia volcánica tiene que estar lejos de las poblaciones que son fuente de ruido, los equipos se alimentan mediante baterías y paneles solares, pero éstos últimos se cubrían de ceniza constantemente, y necesitaban limpiezas diarias. Además, la ceniza empeoraba las conexiones frecuentemente.

Además de las tareas de mantenimiento de las estaciones, se realizaban tareas cerca del volcán, tanto de inspección como de recogida de muestras de lava y de gases volcánicos. Estos datos han sido de suma importancia para vigilar la dinámica eruptiva y las características de la lava emitida, pues su estudio permite detectar cambios en los magmas que alimentan la erupción y pueden inferirse signos de agotamiento del proceso. También analizábamos la composición de los gases disueltos en las aguas de la zona y de los gases emitidos, en busca de estas señales de evolución de la erupción. Asimismo, utilizábamos cámaras térmicas que nos permitían registrar la actividad de manera objetiva y continua de la columna eruptiva e instalamos estaciones multigás, tanto al norte como al sur de Cumbre Vieja. En suma, mantuvimos un amplio abanico de actividades mediante al menos tres equipos humanos del IGN destacados *in situ* en la isla, con tres coches, más las personas que atendían los centros de procesamiento y análisis en las sedes del IGN, más el personal que asistían a las reuniones de los comités del PEVOLCA y daban las ruedas de prensa (M<sup>a</sup> José Blanco, Directora del IGN en Canarias, y yo misma), más las personas que atendían a la prensa tanto desde La Palma como desde Tenerife y Madrid. Un gran equipo de vigilancia volcánica, que ha realizado una labor excepcional.



Figura 7 Medición de la altura de la columna eruptiva. Fuente IGN.





Figura 8. Avance de la lava. Fuente IGN

Las últimas coladas importantes fueron las que fluyeron hacia el sur, parcialmente a través de tubos volcánicos. Una de las imágenes más impresionantes son las que se ven surgir en el porche de una casa. Fueron coladas efímeras que se fue enfriando con rapidez. La mayoría de estas coladas laterales han sido muestreadas. Con la ayuda de las EPI adecuadas, se recogían fragmentos que tenían que ser enfriados antes de manipularlos. La situación cercana al campo de lavas al sur es muy impresionante, con casas cubiertas por más de cuatro metros de ceniza. A pesar de ello, los principales problemas de salud pública, como ya hemos mencionado, fueron causados por los gases volcánicos y las partículas en suspensión.

Esta erupción ha supuesto un riesgo potencial no solo para las infraestructuras, sino también para la población. En su gestión, se ha desplegado un puesto de mando avanzado en el que estaba Protección Civil del Gobierno de Canarias, trabajando y movilizándolo todos los recursos nacionales y autonómicos. Por ejemplo, coordinaba la realización de la medida de gases en las poblaciones afectadas y el acceso a las distintas zonas de exclusión, entre muchas de las tareas. Gobierno de Canarias con su Protección Civil y todas las fuerzas y cuerpos de seguridad autonómicas y estatales, ha llevado a cabo una labor admirable, manejaban datos en tiempo real y respondían de manera continua con las medidas adecuadas a la evolución del proceso, anticipándose a los peligros de una manera ejemplarmente organizada.

En los últimos días de la erupción, igual que comenzó la señal de tremor volcánico, que indica que hay un fluido que está llegando y alimentando la erupción, de pronto, el día 13 de diciembre disminuyó, se estabilizó en un nivel muy bajo y de pronto, entre las 20 y las 22 horas

por fin y tras unas semanas en las que disminuyeron todos los parámetros de observación, la erupción terminó después de 85 días de actividad. Los daños originados fueron inmensos, se habían cubierto más de 12 kilómetros cuadrados con coladas de lava, había más de 2000 personas afectadas, más de 7000 evacuados, más de 74 kilómetros lineales de carretera perdidos y una gran cantidad de cultivos arruinados. En la zona de Los Llanos de Aridane se da la variedad de plátano de más calidad de todas las islas Canarias. Había tres municipios afectados y los efectos de la erupción eran impresionantes por el tamaño de las superficies y volúmenes afectados.

Sin embargo, la erupción está calificada en términos volcanológicos como pequeña. En una escala del VEI (Índice de Explosividad Volcánica) desde 0 hasta 8, tiene un VEI de 3. Pero es una erupción que ha ocurrido en un entorno urbano, que ha durado 85 días y al haber llegado las coladas a varias poblaciones ha causado daños que han sido muy cuantiosos. El edificio volcánico que ha formado es alargado, está situado en pendiente, con una altura máxima de unos 200 metros y una longitud de unos 600 metros; hay zonas con coladas de 60 ó 70 metros de espesor, el espesor mínimo es de 10 metros, cerca de la costa, y ha habido gran número de centros de emisión que han estado emitiendo gases, ceniza y material incandescente.

En parte ha sido emocionante para nosotros vivir la experiencia de observar una erupción tan de cerca y con una profusión de datos tan espectacular, pero lo más impresionante ha sido ver cómo colaboraban equipos humanos tan amplios, de instituciones y organizaciones tan diversas, durante tantos días y con una entrega y una coordinación ejemplares. Todos hemos aportado

lo mejor de nosotros mismos, hemos intentado estar a la altura de las circunstancias y en conjunto, todo lo vivido ha constituido una de esas experiencias que se te quedan grabadas en la memoria y te cambian tanto en lo personal como en lo profesional. Lo más admirables ha sido el comportamiento de la población de la isla de La Palma, han estado ejemplares, mostrando una resiliencia y una generosidad sin igual. Creo que llevan en sus genes grabada la naturaleza de lo que supone una erupción, como el pino canario, que ya está rebrotando incluso dentro del entorno del cono volcánico, y la verdad es que, en los momentos de trabajo más

duro, los que lo habían perdido todo nos alentaban casi más a nosotros que lo que nosotros podíamos alentarlos a ellos.

Hemos tenido muchísimo trabajo de observación, atención a medios y ha sido una erupción muy seguida por la opinión pública, y también con muchísimo apoyo de autoridades públicas, que han estado acompañándonos a lo largo de numerosas visitas. Las ayudas oficiales han empezado a llegar incluso antes de que acabase la erupción, sin embargo, el proceso de reconstrucción va a ser más largo y va a ser más difícil de lo que imaginamos.

En la figura 10 puede verse el volcán, el edificio volcánico que ha quedado, un edificio volcánico que se está desgasificando y enfriando lentamente. Está emitiendo todavía gases tóxicos que son irrespirables, y que obliga a permanecer en la zona con mascarillas protectoras. Actualmente lo estamos explorando con cámaras térmicas



Figura 9. Trabajos de campo. Fuente Iván Torres

y en zonas de fractura, se puede comprobar que la temperatura interna se mantiene todavía entre 900 y 1000 grados. El edificio está en proceso de transformación lenta, con pequeños deslizamientos y asentamiento. Hay amplias zonas con depósitos de azufre y carbonatos y se va viendo cómo poco a poco se transforma.

Hoy en día sigue habiendo sismicidad, aunque haya terminado la erupción, lo que indica que hay un fenómeno residual de tendencia hacia el equilibrio en el interior del sistema. No podemos descartar que incluso pueda haber algún episodio de repunte de la sismicidad, con algún terremoto que todavía sea sentido por la población o un enjambre de sismos. Así paso en El Hierro, en donde la erupción finalizó en 2012 y durante tres años, hasta de 2014 hubo enjambres de sismicidad, incluso sismos importantes, con algunos días en los que se registraron hasta 400 terremotos. Actualmente, en Cumbre Vieja hay de 10 a 20 temblores al día.

Estamos estudiando la estabilidad del cono volcánico y cómo se enfría. Hay un problema y es que hay emisión de dióxido de carbono, que es un gas muy pesado que no es tóxico si no alcanza niveles altos de concentración, pero que en niveles altos puede llegar a desplazar al oxígeno. En dos poblaciones costeras, La Bombilla y Puerto Naos, hay niveles tan altos que saturan nuestros aparatos de medida. Estas zonas siguen, por lo tanto, evacuadas.

En la página web del Instituto Geográfico Nacional ([www.ign.es](http://www.ign.es)) hay mucho material gráfico, vídeos y profusión de datos, que han estado en todo momento a disposición de la población, porque pensamos que proporcionar



Figura 10 Edificio volcánico de Cumbre Vieja al terminar la erupción  
Fuente IGN

información genera confianza y permite al gran público seguir el fenómeno de manera fiable. En cada reunión del Comité Científico se hacía una valoración de los datos disponibles y se llegaba a un comunicado diario diseñado por consenso entre todos los científicos. De esa manera la información era única y esta información ha sido la base para los comunicados a la población. Controlar el flujo de información en una situación así, para que sea veraz, detallada, bien explicada y consensuada es muy importante porque en las redes sociales hay un gran número de volcanólogos, unos acreditados y otros aficionados, que pueden sin querer contribuir a la difusión de bulos e informaciones alarmistas o a la creación de una situación confusa con datos e interpretaciones divergentes. Esto es especialmente relevante porque es muy humano prestar más atención a una fuente cercana de información y no a la más acreditada y fiable. La verdad es que, a pesar de que desde el primer momento se han oído detalles disparatados, como que la isla se iba a partir o se estaba hundiendo, el mensaje oficial ha llegado con mucha claridad a la población y ha generado confianza en la gestión de la emergencia.

En el caso de la erupción de Cumbre Vieja ha habido un equipo de grandes profesionales que han estado trabajando en la comunicación y se ha creado un clima de confianza como pocas veces se ha visto en situaciones parecidas, lo que unido a la inteligente y acertada gestión del Gobierno de Canarias y del Gobierno de España, y la

excelente labor de todas las instituciones científicas participantes, ha permitido que la situación se afrontase con mucha calma y responsabilidad. Hemos aprendido mucho de los profesionales de la comunicación en cuanto a cómo divulgar y cómo exponer detalles científicos especializados para que fueran entendibles por la población en general y a hablar en situaciones de tiempo real, porque a veces tienes a tu disposición un micrófono, explicas algo rápidamente y luego te arrepientes y te das cuenta de cómo podrías haberlo hecho mejor. Un científico no es en principio un gran comunicador y hay mucho que aprender en ese sentido en una situación de emergencia.

A pesar de la tragedia que hay detrás de todos los datos que se han recogido, estos datos contienen información muy valiosa. Ha sido uno de los procesos eruptivos monitorizados de manera más completa y detallada, lo que permitirá avanzar en muchos campos y especialmente en el pronóstico de erupciones. En ese sentido, hay patrones en los datos de medida muy relevantes, que se pueden conocer, identificar y luego utilizar para realizar previsiones más ajustadas. Por ejemplo, hay estadísticas muy interesantes sobre procesos de *unrest*. De todos los procesos de intrusión magmática que producen actividad de tipo preeruptiva, los que terminan con una erupción constituyen un porcentaje menor, pues en la mayoría de las ocasiones, el proceso aborta, la actividad se detiene y no culmina en erupción. El magma no alcanza la presión suficiente y finalmente se queda estancado cerca de la su-



Figura 11. Llegada de una colada a una población



perficie. Eso se ve con más claridad *a posteriori*, claro.

Sin embargo, a corto plazo (estamos hablando de horas o días) sí que se pueden identificar señales que indican, con probabilidad creciente a medida que aparecen, que va a producirse una erupción. Estas señales que permiten realizar pronósticos se observaron desde el día 15 al 19, cuando se detectó una aceleración en el incremento de la sismicidad, con más terremotos, siempre de mayor tamaño, también se constató una migración de sismicidad hacia la superficie, una aceleración en la aparición de deformaciones del terreno y temblores de magnitud máxima nunca anteriormente registrados. Para el día 19, todos esos signos era indicativos de que podían quedar poco tiempo para una erupción, sin poder estimarse con precisión la ventana temporal. Aunque no se podía descartar que el proceso abortase, era probable que pudiera haber una erupción a corto plazo y por ello se efectuaron las simulaciones de recubrimiento de coladas.

En cuanto a la posibilidad de detener una colada, la verdad es que poco puede hacerse frente a un frente de lava que puede tener 10 metros de altura, que ejerce tal presión que es capaz de descalzar casas y mover los cimientos. Eso es imparable, se intentó hacer algo, pero fue imposible. Lo que sí se ha conseguido en Islandia es desviar, que no detener, una colada en su fase final utilizando agua marina

del puerto, cuando el avance era ya más débil. Estas coladas tenían una viscosidad, un tamaño y una temperatura que las hacían imparables, evaporaban el agua de piscinas y depósitos de manera casi instantánea, rellenaban grandes huecos... era un avance impresionante.

Ha sido una gran experiencia desde todos los puntos de vista y creo que, en conjunto, todas las partes implicadas pueden sentirse muy satisfechas. Muchas gracias por su atención.

### **Sobre la autora**

#### **Carme López Moreno**

*Geofísica, vulcanóloga e investigadora española, Directora del Observatorio Geofísico Nacional IGN y fue una de las vigilantes de la erupción del Volcán de Cumbre Vieja en Las Palmas.1 El 13 de marzo de 2022 el Instituto Geográfico Nacional fue condecorado con la Medalla al Mérito de la Protección Civil, por la labor desarrollada en la crisis volcánica de La Palma y López fue la encargada de recoger la medalla en nombre de la Dirección General.*