

En la figura 5 se muestra, a modo de ejemplo, un evento donde las concentraciones superficiales de SO_2 , uno de los principales trazadores de las emisiones volcánicas, superaron en varios órdenes de magnitud los valores de condiciones de fondo habituales de este observatorio (inferiores a $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$) [6]. Se muestra, asimismo, para ese mismo evento los perfiles verticales de ozono, temperatura y humedad relativa obtenidos del programa de ozonsondeos del observatorio, perteneciente a la red NDACC (Network for the Detection of Atmospheric Composition Change), donde se observa claramente que la nube volcánica se sitúa entre los 2.5-5 km de altitud y viene acompañada de una reducción drástica de las concentraciones de ozono y un aumento significativo de la humedad relativa de la capa (zona sombreada en gris en figura 5).

El proceso eruptivo del volcán de Cumbre Vieja supuso un desafío para la sociedad palmera, pero también para todas las instituciones y organizaciones que prestaron su apoyo en diferentes aspectos de esta crisis. La colaboración y coordinación entre todas fue clave para la gestión de esta crisis y es un ejemplo claro del servicio de la Ciencia para la Sociedad.

Referencias

[1] Josse B., Simon P. and V.-H. Peuch, Rn-222 global simulations with the multiscale CTM MOCAGE, Tellus, 56B, 339-356, 2004.

[2] Informe técnico de AEMET sobre el "Servicio meteorológico a la navegación aérea durante la erupción volcánica en La Palma", Comunicación interna, 2022.

[3] <https://www.actris.eu/news-events/news/actris-spain-coordinating-unprecedented-actions-cumbre-vieja-volcanic-emergency>, 2021

[4] Directive 2008/50/EC of the European Parliament and of the Council of 21 May 2008 on ambient air quality and cleaner air for Europe. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:32008L0050#l1e89-30-1>, 2008

[5] <https://aemetblog.es/2022/03/22/sinergia-entre-medidas-superficiales-y-en-columna-en-la-estacion-de-vigilancia-atmosferica-global-de-izana-aplicacion-a-la-erupcion-volcanica-de-la-palma/>

[6] Cuevas, E., Milford, C., Bustos, J. J., R., García, O. E., García, R. D., Gómez-Peláez, A. J., Guirado-Fuentes, C., Marrero, C., Prats, N., Ramos, R., Redondas, A., Reyes, E., Rivas-Soriano, P. P., Rodríguez, S., Romero-Campos, P. M., Torres, C. J., Schneider, M., Yela, M., Belmonte, J., del Campo-Hernández, R., Almansa, F., Barreto, A., López-Solano, C., Basart, S., Terradellas, E., Werner, E., Afonso, S., Bayo, C., Berjón, A., Carreño, V., Castro, N. J., China, N., Cruz, A. M., Damas, M., De Ory-Ajamil, F., García, M.I., Gómez-Trueba, V., Hernández, C., Hernández, Y., Hernández-Cruz, B., León-Luís, S. F., López-Fernández, R., López-Solano, J., Parra, F., Rodríguez, E., Rodríguez-Valido, M., Sálamo, C., Sanromá, E., Santana, D., Santo Tomás, F., Sepúlveda, E., and Sosa, E.: Izaña Atmospheric Research Center Activity Report 2017-2018. (Eds. Cuevas, E., Milford, C. and Tarasova, O.), State Meteorological Agency (AEMET), Madrid, Spain and World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, WMO/GAW Report No. 247, 2019.

La erupción volcánica de la Palma y sus meteoros

OMAIRA GARCÍA¹, FERNANDO REY², FERNANDO BULLÓN³, DAVID SUÁREZ³, EMILIO CUEVAS¹, Y RAMÓN RAMOS¹

¹CENTRO DE INVESTIGACIÓN ATMOSFÉRICA DE IZAÑA (CIAI), AGENCIA ESTATAL DE METEOROLOGÍA (AEMET), SANTA CRUZ DE TENERIFE, ESPAÑA.

²LUZLUX, S.L., VIGO, ESPAÑA.

³DELEGACIÓN TERRITORIAL DE AEMET EN CANARIAS, AGENCIA ESTATAL DE METEOROLOGÍA (AEMET), LAS PALMAS DE GRAN CANARIA/SANTA CRUZ DE TENERIFE, ESPAÑA.

Después de una semana de intensa actividad tanto sísmica como de deformación del terreno, el día 19 septiembre de 2021 se inició una erupción volcánica en Cumbre Vieja, en la zona de Cabeza de Vaca en la isla de La Palma (Islas Canarias). Esta erupción volcánica, que finalizó oficialmente el 25 de diciembre de 2021, se ha caracterizado por combinar fases explosivas, durante las cuales se emitieron fundamentalmente cenizas y piroclastos, con fases efusivas, cuando se expulsaron grandes volúmenes de gases que fueron inyectados directamente en capas bajas y medias de la troposfera [1, 2] (figura 1).

Estas emisiones continuas de grandes cantidades de partículas y vapor de agua a altas temperaturas ocasionó que la erupción estuviera acompañada por la formación de nubes tipo cúmulos (*cumulus*) y estratocúmulos (*stratocumulus*) en línea asociados a la pluma volcánica en niveles bajos, así como frecuentemente por la generación de pirocúmulos (*flammagenitus*) con cimas a 6 km de altitud aproximadamente (figura 2). Dada la alta concentración de partículas, actuando como núcleos



Figura 1. Imagen de las emisiones de piroclastos, cenizas, gases (vapor de agua principalmente) y depósitos de azufre elemental sobre el cono volcánico tomada desde el barrio de Tacande (El Paso, 13/11/2021).

de condensación, estas nubes se caracterizan por estar formadas por una mayor cantidad de gotas, de menor tamaño, lo que produce que la reflectividad de la nube aumente siendo, por tanto, más blanquecinas (fenómeno conocido como efecto “Twomey”). Asimismo, estas circunstancias prolongan la vida útil de estas nubes (reduciendo la precipitación asociada, efecto “Albrecht”).

Una de las formaciones nubosas más llamativas se produjo con la interacción de la columna eruptiva y la capa de aire sahariano (SAL). La SAL viene acompañada con cuantiosas cantidades de material desértico, pero además se caracteriza por ser una capa de alta estabilidad atmosférica, cuyo tope superior normalmente lleva asociado una inversión térmica en torno a los 5-6 km de altitud. El choque de la corriente de aire ascendente inyectada por el volcán con esa capa de inversión térmica provocó desplazamientos del aire en la zona, el cual recupera su posición rápidamente dada la alta estabilidad de la capa. Estos desplazamientos generan oscilaciones u ondas circulares que se van propagando a través de toda la capa de inversión térmica, generando las llamadas “ondas de gravedad”.



Figura 3. Ondas de gravedad generadas por la interacción de la columna eruptiva y el tope superior de la capa de aire sahariano. Imagen tomada desde el barrio de Valencia (El Paso, 01/10/2021).

Durante la erupción se generaron además otros fenómenos meteorológicos característicos de este tipo de eventos como pequeños “torbellinos o remolinos” debido a las corrientes térmicas sobre las coladas de lava o descargas eléctricas (i.e. “rayos de volcán”) (figura 4). Los rayos volcánicos se pueden producir en los episodios de más efusividad del volcán y se generan debido a la fricción entre las cenizas y los piroclastos emitidos, lo cual provoca la liberación de iones en el penacho volcánico y las consiguientes descargas eléctricas. La red de descargas eléctricas de AEMET contabilizó aproximadamente 20 rayos volcánicos durante todo el proceso eruptivo, registrándose la máxima actividad el 30 de octubre de 2021 (16 rayos y el de máxima intensidad con +38.8 kA).

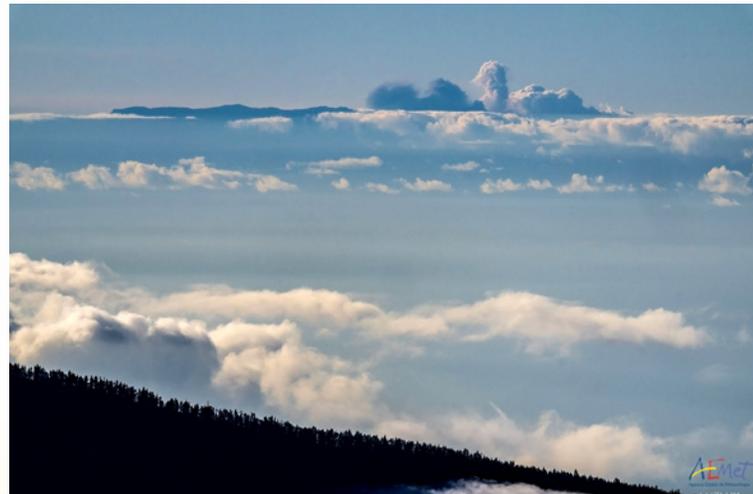


Figura 2. Cúmulos, estratocúmulos y pirocúmulos asociados al penacho volcánico. Imagen superior tomada desde la Montaña La Laguna (15/11/21). Imagen central tomada desde el Puerto de Tazacorte (13/11/21). Imagen inferior tomada desde el Observatorio Atmosférico de Izaña (Tenerife, AEMET, 28/10/21).

Los fenómenos ópticos asociados a los procesos de refracción o reflexión de la luz al atravesar la atmósfera también fueron frecuentemente observados en la erupción de Cumbre Vieja. La figura 5 muestra dos de los más característicos: un “destello o rayo verde” y un halo de 22° centrado en el Sol. El primero, observable solo justo antes de la puesta de sol o después del amanecer, se produce cuando el haz solar atraviesa capas atmosféricas con densidades muy diferentes, lo que provoca patrones de



Figura 4. Imagen de un remolino de cenizas sobre las coladas volcánicas tomada desde La Montaña de La Laguna (15/11/21, imagen superior izquierda) y rayos volcánicos en el penacho volcánico desde el barrio de Tacande (El Paso, 15/11/21) (imagen izquierda y superior derecha).

curvatura de los rayos solares diferenciados dependiendo de la región espectral. La radiación de altas frecuencias del espectro visible (verde/azul) se curva más que la de bajas frecuencias, por lo que tan solo son visibles los destellos verdes o azules. En el caso de La Palma, este fenómeno se observó especialmente sobre las coladas volcánicas, que generaron un importante gradiente térmico en las capas cercanas a la superficie. Respecto a los halos, anillos luminosos blancos o casi blancos, se producen por la refracción o reflexión de la radiación solar en los cristales de hielo presentes en las nubes cirriformes, principalmente, en capas altas de la troposfera [3]. En el caso de la figura 5 se trata de un halo de 22° o “halo pequeño”, el cual se genera siempre con un radio de 22° centrado en el Sol, en este caso, y presentando una orla roja visible en la parte interior.

Referencias

- [1] <https://www.ign.es/web/vlc-serie-palma>
- [2] <https://aemetblog.es/2022/03/22/sinergia-entre-medidas-superficiales-y-en-columna-en-la-estacion-de-vigilancia-atmosferica-global-de-izana-aplicacion-a-la-erupcion-volcanica-de-la-palma/>
- [3] <https://cloudatlas.wmo.int/es/22-halo.html>

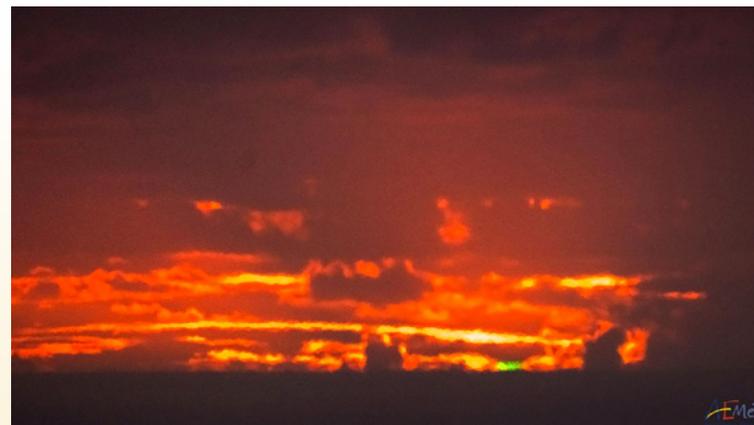


Figura 5. Destello o rayo verde, del tipo de espejismo inferior, observado durante un atardecer sobre las coladas volcánicas (imagen superior) tomada desde el barrio de Tacande (El Paso, 15/11/21). Imagen parcial de un halo de 22° solar sobre el valle de Aridane (imagen izquierda), tomado desde el barrio de Valencia (El Paso, 26/10/2021).