

Boletín de ciencia y tecnología 6

A CINCO AÑOS DE LA ERUPCIÓN DEL 3 DE JUNIO DE 2018, LA URL APORTA AL MONITOREO DEL VOLCÁN DE FUEGO A TRAVÉS DE LA CIENCIA APLICADA

José Luis Méndez Soto¹

A lo largo de la costa sur del territorio guatemalteco existe una falla que se extiende desde Chile, a lo largo del litoral pacífico del continente americano –que pasa por las Islas Curiles, Japón, los archipiélagos del sudeste asiático–, y se extiende hasta Australia y Nueva Zelanda. Esta falla forma el cinturón de fuego, un área en el Océano Pacífico donde las placas tectónicas suboceánicas (Pacífico, Nazca, Cocos y Filipinas) se subducen debajo de las placas continentales (Sur América, Caribe, Norteamérica, Eurasia e Indo Australiana) (Flores *et al.*, 2020; Maldonado, 2021).

Cuando la placa de Cocos se subduce en la del Caribe causa la fusión del material subducido a poca profundidad, generando el magma que abastece a una cadena de volcanes que se extiende a lo largo de la costa

occidental del continente americano (Grove, 2000), así como en varios archipiélagos de Asia y Oceanía. Por esta razón, se puede decir que en Guatemala existe un vulcanismo de subducción o vulcanismo de límite de placas (Insivumeh, 2020).

En el país existen 25 volcanes activos, de los cuales tres tienen actividad superficial: Santiaguillo, Fuego y Pacaya. El volcán de Fuego es la parte superficial y visible de un sistema geológico complejo que inicia en la zona de subducción y culmina en el interior del volcán, en la parte más somera del conducto volcánico donde el magma entra en contacto con la atmósfera. Se considera que este volcán es el que representa una mayor amenaza en el país, dada la vulnerabilidad que existe en su zona de influencia (Roca *et al.*, 2021).

¹ Investigador del Instituto de Investigación en Ciencias Naturales y Tecnología (Iarna) de la Vicerrectoría de Investigación y Proyección (VRIP) de la Universidad Rafael Landívar (URL)

La tragedia que pudo evitarse

El domingo 3 de junio amaneció como un día normal en el flanco oeste del volcán de Fuego; sin embargo, entre el medio día y las primeras horas de la tarde, esta normalidad se vió interrumpida de forma abrupta por una secuencia de flujos piroclásticos que descendió por la barranca Las Lajas del volcán de Fuego, afectando a San Miguel Los Lotes, la aldea El Rodeo y al Hotel y Club de Golf La Reunión.

Los eventos se desarrollaron de diferente forma en los tres lugares. En La Reunión se activaron los protocolos de evacuación con base en los boletines especiales que desde el día anterior había emitido el Instituto de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (Insivumeh) (Ordoñez, 2021), y las personas salieron de la zona de riesgo de forma ordenada, según los simulacros de evacuación que se habían realizado anteriormente. A pesar de que la destrucción fue total, no se lamentó la pérdida de vidas humanas.

Sin embargo, esto no sucedió en las otras dos comunidades, donde la respuesta a la emergencia fue caótica. San Miguel Los Lotes fue devastada, donde seres queridos y familias enteras murieron de forma instantánea al ser soterradas por los flujos piroclásticos que descendían a una temperatura superior a los 900°C. Algunos lograron sobrevivir, pero fallecieron en los días posteriores por la ceniza y los gases tóxicos inhalados, o por las quemaduras.

Por otra parte, la aldea El Rodeo quedó literalmente en el borde de la devastación, pero más allá de la fuerte caída de ceniza, no sufrió mayor daño. Sin embargo, la

experiencia bastó para sensibilizar a la población.

La erupción ocurrida en el volcán de Fuego fue del tipo paroxismal², en la cual las pérdidas materiales son ineludibles, pero la tragedia ocurrida en San Miguel Los Lotes, pudo evitarse. Este evento hizo evidente la necesidad de mejora en el sistema nacional de gestión integral de riesgo a los desastres.

Monitoreo de la actividad superficial del volcán de Fuego

Los métodos y las técnicas de la ciencia vulcanológica han evolucionado y solo perduran las más sólidas; sin embargo, aún se sigue dependiendo de la observación. El riesgo que corrieron los vulcanólogos Maurice y Katia Kraft, que finalmente terminó con sus vidas, ahora se considera innecesario dada la existencia de una amplia gama de equipo para el monitoreo vulcanológico, que en aquella época no estaba disponible.

En la actualidad, los ojos y oídos de los observadores se sustituyen por instrumentos electrónicos que ven, escuchan, huelen y miden la actividad del volcán. Por esta razón, más que observación, ahora se habla de monitoreo, lo cual permite agilizar el aprendizaje y la gestión de conocimiento sobre cada volcán.

¿Qué ocurre en el interior de los volcanes? Desde hace muchos años, esta pregunta tiene respuesta, pero ¿qué pasa en el interior del volcán de Fuego? Aún con todos los avances tecnológicos, solo se pueden hacer estimaciones de lo que sucede en su interior, a partir de lo que se detecta en la superficie.

² La actividad superficial de los volcanes ocurre en la atmósfera, es audible y visible (a través de fumarolas en el cráter, caída de ceniza y derrames de lava). Se puede clasificar como: (a) «de fondo», que es la que ocurre todos los días y es la evidencia de que el volcán está activo y mantiene actividad en la atmósfera, (b) paroxismal, que corresponde a un incremento considerablemente elevado de la actividad superficial que puede alcanzar niveles potencialmente peligrosos, ya que descienden flujos piroclásticos, caen balísticos y, en muy raras ocasiones, pueden ocurrir colapsos de ladera y (c) «efusiva», que consiste únicamente en flujos de lava y actividad explosiva (que es potencialmente peligrosa) (USGS, 2017). En el volcán de Fuego la actividad paroxismal se manifiesta principalmente como un incremento de la actividad explosiva, y es la que produce flujos piroclásticos y puede causar el colapso del volcán mismo.

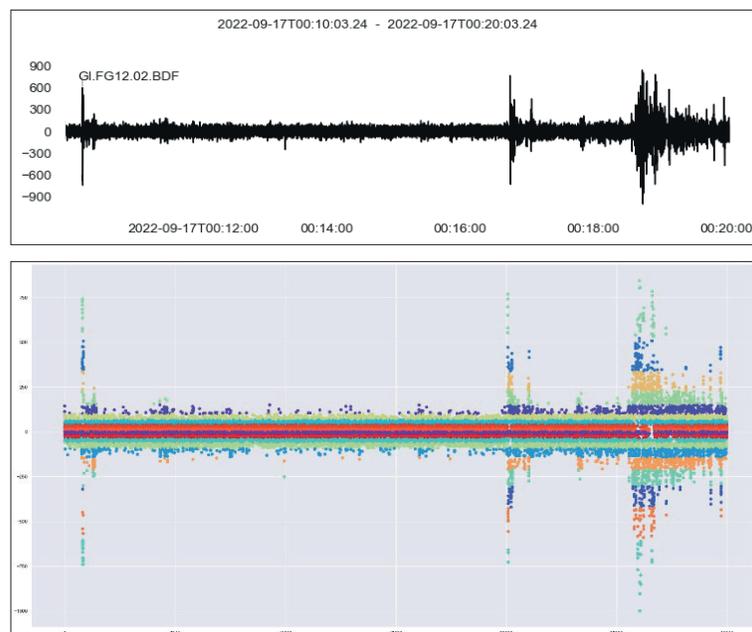
El monitoreo acústico (del infrasonido volcánico³), se implementó por primera vez en el volcán Etna, Italia, y unos años después se ha constituido en el estado del arte del monitoreo volcánico (Marchetti *et al.*, 2019; Ripepe *et al.*, 2018). Por otro lado, también existe el monitoreo sísmico, el cual se usa como complemento del monitoreo acústico y es el único medio para vigilar la actividad interna de volcanes activos que no tienen actividad superficial.

Durante una explosión se registran señales acústicas como un incremento abrupto de la amplitud y la frecuencia de onda, para luego recuperar sus valores normales (Puma & Torres, 2020), y es aquí donde entran en acción los algoritmos de detección. El más común es el STA-LTA, el cual es un método matemático donde se aplican promedios móviles a la amplitud (Argueta, 2019). El reto de este algoritmo consiste en la estimación

del rango de las ventanas móviles y los umbrales de detección del inicio y fin de un evento explosivo ocurrido en la atmósfera.

Actualmente, el Instituto de Investigación en Ciencias Naturales y Tecnología (Iarna) de la Universidad Rafael Landívar (URL) está desarrollando una alternativa al algoritmo del STA-LTA, que corresponde al análisis de conglomerados, el cual es un método numérico que agrupa datos con base en parámetros estadísticos, tales como la media. Un ejemplo de ello es el método k-means o k-medias (Likas *et al.*, 2003), que toma como criterio de agrupación las distancias existentes entre cada dato (figura 1), y cuya particularidad es que requiere de la estimación previa de la cantidad de conglomerados o grupos que se desea calcular, lo cual puede ser una ventaja o desventaja según la aplicación que se le desee dar.

Figura 1. Identificación de conglomerados en la amplitud de una onda acústica registrada por la estación FG12 del Insivumeh



Nota. En la figura se puede apreciar cómo a lo largo del tiempo la amplitud de la señal se estratificó mediante el método de k-means. Fuente: elaboración propia con datos del Insivumeh

³ Los volcanes son muy ruidosos en el espectro infrasonico, es decir, ondas acústicas no audibles inferiores a los 20 hercios. El infrasonido volcánico provee mucha información sobre lo que ocurre en esa región del conducto volcánico, donde el magma entra en contacto con la atmósfera.

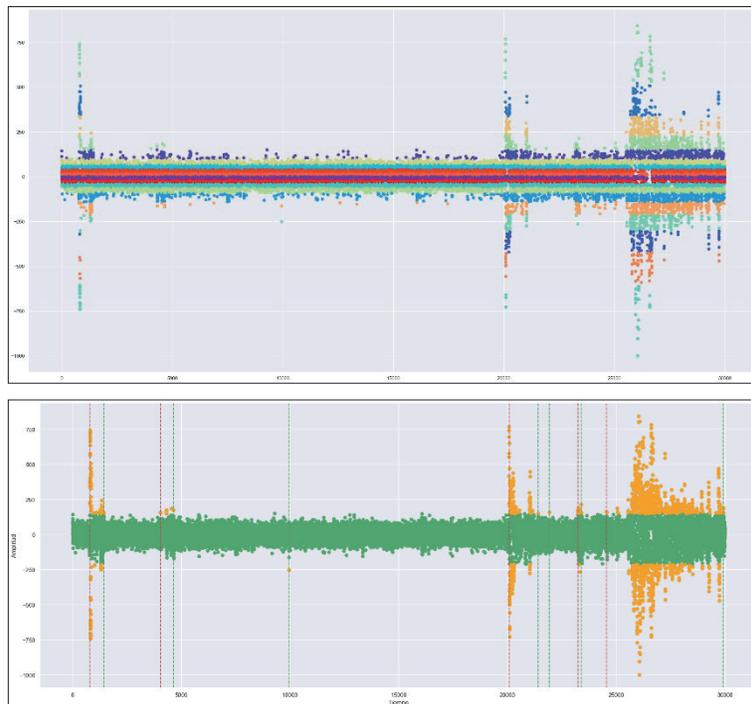
El resultado de este método es que se obtiene una estratificación de la amplitud de la señal, con lo cual es relativamente fácil identificar los incrementos de amplitud (figura 2), la duración de estos y, por lo tanto, es posible detectar eventos explosivos con buena precisión. El método no plantea los retos que existen en el algoritmo STA-LTA, ya que todos los parámetros se ajustan de forma automática, por lo cual este nuevo algoritmo llamado «detección por análisis de estratos de amplitud», es completamente automatizable.

Es importante señalar que, tanto el algoritmo STA-LTA, como la detección por análisis de estratos de amplitud, pueden manifestar cualquier evento atmosférico que se

desarrolla (como truenos), la detonación de fuegos pirotécnicos o incluso vehículos que descienden una cuesta cercana frenando con el motor. Por esta razón, es necesario realizar un proceso de clasificación, en otras palabras, descartar cualquier evento explosivo que no sea de origen volcánico.

Antes de hablar de la clasificación, es oportuno mencionar que, durante una explosión volcánica, el infrasonido puede golpear el suelo y producir una señal sísmica, o más bien infrasonido que se propaga por un medio sólido. De esta forma, si se instala un sensor de infrasonido y un sismómetro a unos 5 kilómetros del cráter del volcán, se obtienen dos señales producidas por el mismo evento, una sísmica y una acústica.

Figura 2. Identificación de eventos atmosféricos a través del análisis de estratos en la amplitud de una onda acústica registrada por la estación FG12 del Insivumeh



Nota. En la figura se puede apreciar cómo se identifican los eventos atmosféricos en el recorte de la señal acústica analizada. La mayoría de estas detecciones no corresponde a una explosión del volcán de Fuego y, por esta razón, durante la etapa de clasificación se descartan de cualquier análisis posterior. Fuente: elaboración propia con datos del Insivumeh

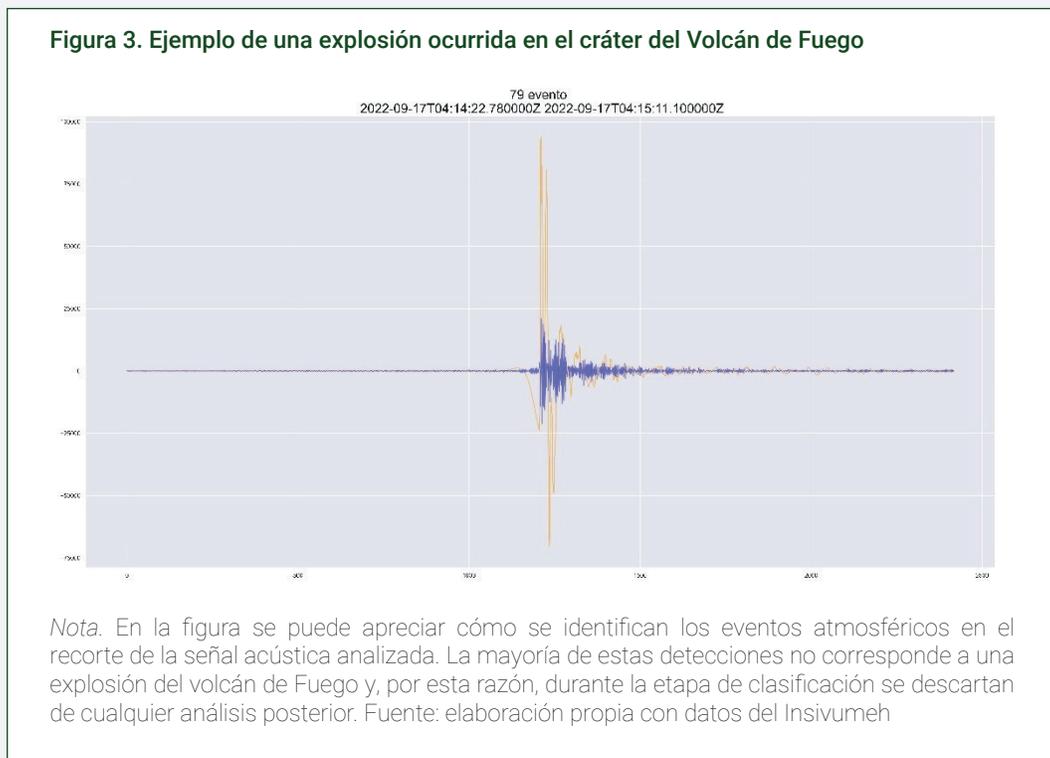
Existen varios métodos para clasificar las explosiones volcánicas. En este caso, el tipo de explosiones de interés son aquellas que producen una onda sísmica, debido a que el objetivo de estudio es la gestión de riesgo.

En general, los métodos de clasificación consisten en filtrar las señales para garantizar su procedencia volcánica y posteriormente ver las similitudes en las señales que se reciben. Tanto en el filtrado de la señal como en la verificación de la similitud se utilizan métodos numéricos.

Los métodos comúnmente usados son dos y, para realizar la clasificación, es necesario usar ambos: la correlación cruzada y la estimación de los tiempos de arribo. Cuando una explosión detectada, tanto en la onda sísmica, como en la acústica supera ambos criterios, se puede afirmar que dicha explosión ocurrió en el cráter del volcán (figura 3).

Todo el proceso mencionado se integra en un script por medio de líneas de código escritas en lenguaje Python, lo cual refleja un proceso transdisciplinario entre la matemática aplicada, la informática, la física y la vulcanología. Por su parte, la información analítica producida a partir del procesamiento de las señales recolectadas durante el monitoreo acústico, se constituye en un insumo necesario para un análisis posterior.

A partir del estudio de los datos del monitoreo acústico del volcán de Fuego es posible contar con indicadores cuantitativos sobre su actividad diaria que permiten, en el corto plazo, aumentar la capacidad predictiva del sistema nacional de monitoreo y gestión de riesgo de la amenaza volcánica y, en el largo plazo, identificar patrones de actividad volcánica que podrían aumentar el entendimiento de este volcán.



Referencias

- Argueta, P. D. (2019). *Reconocimiento automático de señales sismo volcánicas en el volcán Santiaguito, Guatemala*.
- Flores, J., Alcalde, S., Canales M., & Chwastyk M. (2020). *El palpitante Cinturón de Fuego del Pacífico*. National Geographic. https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/palpitante-cinturon-fuego_15178
- Grove, T. L. (2000). Origin of Magmas. *Encyclopedia of Volcanoes*, 133–147.
- Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología. (2020). *Marco tectónico para Guatemala*.
- Likas, A., Vlassis, N., & Verbeek, J. J. (2003). The global k-means clustering algorithm. *Pattern Recognition*, 36(2), 451–461.
- Maldonado, E. (2021). Un mundo con temblores y terremotos. *Le Monde Diplomatique*, 209, abril.
- Marchetti, E., Ripepe, M., Campus, P., Le Pichon, A., Vergoz, J., Lacanna, G., Mialle, P., Hérelil, P., & Husson, P. (2019). Long range infrasound monitoring of Etna volcano. *Scientific Reports*, 9(1), N.PAG-N.PAG. <http://10.0.4.14/s41598-019-54468-5>
- Ordoñez, E. (2021). *La mujer frente al volcán de Fuego*. Magna Terra.
- Puma, N. y Torres, J. L. (2020). *Evaluación y análisis de la actividad sísmica en el volcán Sabancaya, periodo 1990-2019*. <https://repositorio.igp.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12816/4785/Evaluacion-y-analisis-de-la-actividad-sismica-en-el-volcan-Sabancaya-1990-2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ripepe, M., Marchetti, E., Delle Donne, D., Genco, R., Innocenti, L., Lacanna, G., & Valade, S. (2018). Infrasonic Early Warning System for Explosive Eruptions. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 123(11), 9570–9585. <https://doi.org/10.1029/2018JB015561>
- United States Geological Survey. (2017). *USGS: Volcano Hazards Program Glossary - VEI. Glossary*. <https://volcanoes.usgs.gov/vsc/glossary/vei.html>

CONTACTO

Instituto de Investigación en Ciencias Naturales y Tecnología
Vicerrectoría de Investigación y Proyección
Universidad Rafael Landívar
Campus Central, San Francisco de Borja, S. J., Ciudad de Guatemala
Vista Hermosa III, Campus Central, zona 16
Edificio O, oficina 101
PBX: (502) 2426-2626, ext. 2555
vrip-iarna@url.edu.gt

