

SEGUIMIENTO Y PRONÓSTICO DE ERUPCIONES

R. Ortiz, A. García

Dpto. Volcanología. Museo Nacional de Ciencias Naturales. CSIC. c/ José Gutiérrez Abascal, 2. 28006 Madrid.

VIGILANCIA DE VOLCANES

Para que un volcán entre en erupción es necesaria una condición imprescindible: debe existir magma. Si en el sistema no hay magma susceptible de salir es imposible que se produzca una erupción. Partiendo de este principio es posible estudiar la posibilidad de poder pronosticar la actividad de un volcán (figura 1). Se trata pues de desarrollar técnicas que nos permitan saber si existe magma en el sistema volcánico, si existe movimiento del magma, si cambian las condiciones a las que está sometido y si ello facilita su salida a la superficie.

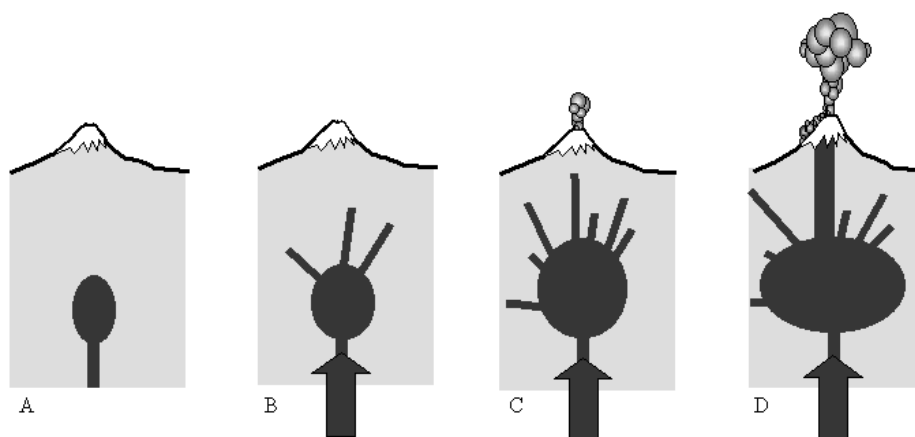


Figura 1. Un volcán puede estar muchos años sin dar muestras de actividad (A). Los únicos signos son los restos de la actividad pasada. Entre ellos están las fumarolas y anomalías térmicas debidas al enfriamiento del sistema y los sismos de asentamiento del edificio. La inyección de nuevo magma (B) provoca la apertura de fracturas y la deformación del edificio volcánico. Asociado a este proceso aparecen sismos de fractura y temblores (tremor) generados por la circulación de fluidos a través de las fracturas. Aparecen cambios en los campos gravitatorio y geomagnético debidos a la inyección del magma. Si el proceso continua (C), la deformación es muy importante, las fracturas llegan ya a la superficie y aparecen nuevas fumarolas. Continúan los sismos de fractura, aumentan mucho los temblores y aparecen nuevos tipos de sismos asociados a la descarga de las fumarolas. Más perturbaciones en los campos gravitatorio y geomagnético. Cambios en las temperaturas y composición química de las aguas termales. La inyección de magma es muy grande (D), se abren los conductos y se inicia la erupción. Disminuye la deformación, aparecen sismos asociados a las explosiones, continuando los temblores asociados a la circulación de fluidos.

Si somos capaces de conocer cuales son las propiedades físicas de este magma, podremos establecer como será su salida, es decir como será la futura erupción del volcán. El ascenso del magma está condicionado por su viscosidad. Es por ello un proceso muy lento, incluso los magmas muy fluidos (basálticos) necesitan más de dos días para alcanzar la superficie desde las zonas de almacenamiento situadas en la base de la corteza. No se conoce ningún volcán que haya pasado de un estado de reposo al de erupción violenta de forma repentina. Aunque en muchos casos, la falta de vigilancia del volcán o la ignorancia asumida del

evidente incremento de las manifestaciones externas, haya provocado la ocurrencia de un desastre volcánico.

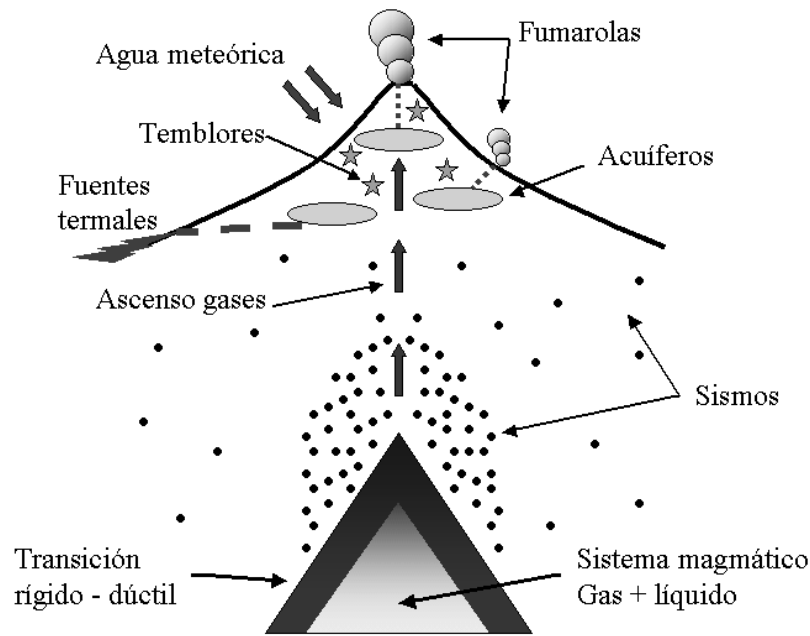


Figura 2. La actividad sísmica en un sistema volcánico se distribuye alrededor del reservorio magmático. Los gases que ascienden por las fracturas se mezclan con las agua meteóricas y dan origen a las fumarolas, suelos calientes y fuentes termales. La salida de los gases y cambios de fase líquido-gas da origen a temblores.

La figura 2 muestra un esquema de la estructura interna de un volcán activo, así como los distintos fenómenos que en él tienen lugar. Hay algunos signos de la actividad volcánica que son apreciables a simple vista como son la aparición de nuevas fumarolas o cambios en las existentes, variaciones en las propiedades de las aguas termales, en la distribución y temperaturas de los suelos calientes o la apertura de fracturas. Otros fenómenos, como la actividad sísmica o la deformación, requieren el empleo de instrumentos muy sensibles, pues cuando son sentidos directamente por la población podríamos encontrarnos en una fase ya muy avanzada del proceso. El incremento de actividad se produce generalmente de modo muy lento; es por ello que la población puede soportar niveles muy altos de actividad del volcán sin conciencia del peligro real al que se encuentra expuesta. El conocimiento que hoy tenemos de los volcanes hace prácticamente imposible que un volcán debidamente atendido entre en erupción sin que sus signos premonitores hayan sido percibidos. Para ello, hay que contar con un mínimo de instrumentación situada sobre el volcán y, especialmente, con un equipo científico y técnico que analice periódicamente los datos y garantice su correcta interpretación.

PRECURSORES

La búsqueda de fenómenos precursoros de los terremotos y de las erupciones volcánicas se ha hecho comúnmente de forma empírica, buscando tras la ocurrencia del evento, todos aquellos signos que pudieran haber servido de aviso (figura 3). Para ello se correlacionan las series temporales del fenómeno y del hipotético precursor en orden a determinar la mejor asociación entre ambos (Mulargia, 1992). Una vez establecida esta asociación, la validación del supuesto precursor pasa por cuantificar cuanto mayor es el número de aciertos sobre el que cabría esperar de la simple coincidencia por azar.

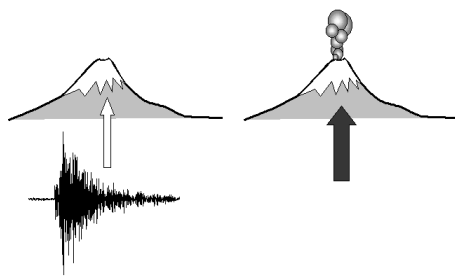


Figura 3. Un ejemplo de precursor de una erupción es un sismo que corresponde a la apertura del conducto por el que ascenderá el magma. El problema radica en identificar perfectamente las características de este tipo de sismos para poderlos diferenciar del resto de eventos que ocurren en la zona.

Es importante que consideremos que dadas dos series aleatorias, es decir dos fenómenos independientes A y B, pero uno de ellos, A, mucho más frecuente que el otro, B, fácilmente se tiende a considerar A precursor de B (figura 4). Así, la actividad sísmica en una zona volcánica activa es mucho más frecuente que otro tipo de actividad volcánica, por consiguiente siempre habrá ocurrido un sismo antes de una erupción.

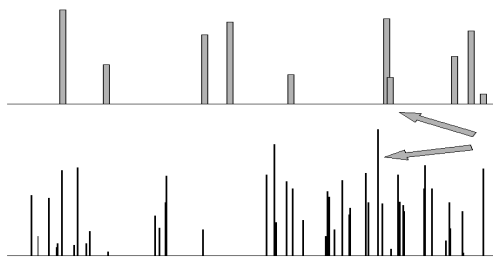


Figura 4. En muchas ocasiones se tiende a considerar fenómenos precursoros a sucesiones de sucesos fruto del azar. Dadas dos series aleatorias independientes, una mucho más frecuente que la otra, hace que la primera se considere precursora de la segunda. La flecha muestra asociaciones de este tipo.

Por tanto, para valorar un precursor se debe considerar la probabilidad de que se trate simplemente de una coincidencia. Para ello se introduce el parámetro η que permite compensar el número de aciertos debidos exclusivamente al azar

$$\eta = \frac{\text{probabilidad alarma válida}}{\text{probabilidad serie aleatoria}}$$

Por ejemplo, si cada mañana se lanza una moneda y según el resultado, se avisa de la posible ocurrencia de una erupción, si ésta ocurre tenemos ya un 50% de probabilidades de haber acertado .

Hay que tener presente que un precursor puede tener distintos orígenes. Por ejemplo, la deformación en un volcán puede deberse a un proceso de inyección de magma en el sistema, pero también a la recarga del sistema de acuíferos o a la acumulación de una gran carga de hielo en la parte alta del edificio volcánico. La actividad sísmica puede tener su causa en los procesos que ocurren en el volcán, pero también ser de origen tectónico local o simples procesos de asentamiento del edificio volcánico. Además, en muchos casos, los fenómenos precursoros son tan pequeños que no somos capaces de detectarlos.

Desde un punto de vista formal (Mulargia y Gasparini, 1996), definimos que un fenómeno A es precursor de otro fenómeno B, cuando A se produce antes de que ocurra B. Sin embargo, para que A pueda considerarse un fenómeno precursor de B debe cumplir varias condiciones

- Debe existir una relación fenomenológica conocida entre A y B
- Debe estar claro como es A y perfectamente definidas las características de B
- Debe estar definida la ventana temporal en la que ocurre B después de presentarse A

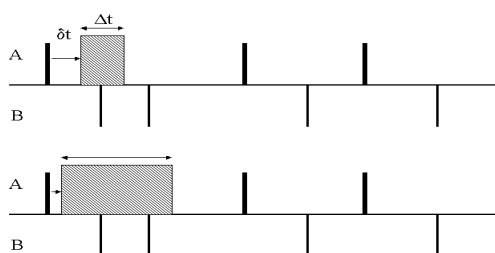


Figura 5. Dadas dos series de datos A y B, el problema es saber si se puede utilizar la serie A como precursora de la serie B. Para ello se define una ventana de duración Δt (en la figura representado por un cuadrado sombreado) que puede estar desplazado un tiempo δt . El evento de la serie B debe ocurrir dentro de la ventana. Este criterio debe mantenerse a lo largo de toda la serie.

La elección de la ventana temporal es el aspecto más complicado en la cualificación del precursor. Si se elige muy grande cualquier fenómeno serviría como precursor, pues en un tiempo suficientemente grande siempre se va a producir el evento (Mulargia, 1997). Es necesario restringir el tamaño de la ventana, así como considerar la posibilidad de que exista un desplazamiento de la misma (figura 5).

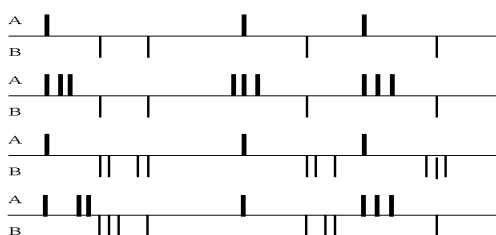


Figura 6. Frecuentemente se presentan múltiples eventos en ambas series, por lo que debe estudiarse las distintas posibilidades de asociaciones múltiples entre ambas series.

También se deberán estudiar los casos en que varias apariciones de un precursor correspondan a un único evento o el caso opuesto, a una única manifestación del precursor le siguen varias del evento y también que sean múltiples las apariciones del precursor y del evento (figura 6).

ALARMA VÁLIDA, FALSA ALARMA, ALARMA FALLIDA. PRECURSORES FUERTES Y DÉBILES.

No en todos los casos se presenta o repite el precursor antes que el fenómeno. Así deberemos considerar tres posibilidades

- Se presenta el precursor y ocurre el fenómeno: en este caso decimos que se ha producido una alarma válida.
- Se presenta el precursor pero no ocurre el fenómeno: es el caso de la falsa alarma.
- No se presenta el precursor pero ocurre el fenómeno: este caso se conoce como alarma fallida.

Esto nos permite definir tres parámetros que representan la proporción de alarmas válidas (V), falsas alarmas (F) y alarmas fallidas (N) para cada precursor (Gasparini et al., 1990). Evidentemente, la suma de los tres es la unidad. La eficacia de un precursor (U) se define en función del número de aciertos frente al número de fallos, es decir:

$$U = \frac{V}{F + N}$$

Esta función tiende a cero para un precursor malo y a infinito para el precursor ideal. Esto permite clasificar los precursores en función de estos parámetros

- El precursor ideal sería aquél que sólo presenta alarmas válidas ($V = 1, F = 0, N = 0$).
- En un precursor fuerte predominan las alarmas válidas ($V > F + N$).
- Un precursor débil se activa fácilmente provocando muchas falsas alarmas ($F > V, F > N, V < F + N$ es decir $V \rightarrow 0$).

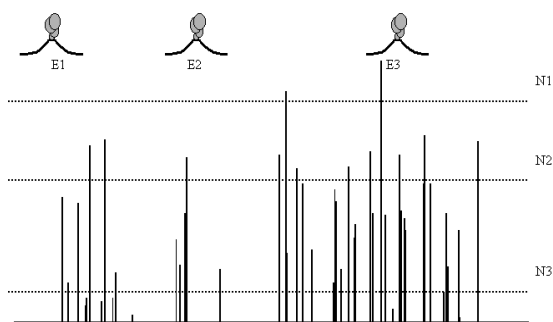


Figura 7. Si el sistema de precursores es poco sensible se pueden pronosticar muy pocas erupciones. Así, con el nivel N1 sólo podríamos haber pronosticado E3 y habríamos tenido una sola falsa alarma. Con N2 habríamos pronosticado correctamente E2 y E3, habiendo tenido más de ocho falsas alarmas. Con N3 seguiríamos pronosticando E2 y E3 (no se produjo precursor para E1) pero el número de falsas alarmas sería superior a treinta.

En general, si aumentamos la sensibilidad del sistema de vigilancia, aumentamos el número de alarmas válidas, disminuimos el número de alarmas fallidas, pero aumentamos también el nivel de falsas alarmas (figura 7). Por el contrario, si se disminuye la sensibilidad o se es más estricto en los criterios de valoración de los precursores, disminuiríamos el número de falsas alarmas, pero también aumentará el número de alarmas fallidas.

UTILIZACIÓN DE VARIOS PRECURSORES

La utilización simultánea de varios precursores distintos permite mejorar la eficiencia del sistema de alarmas siempre que éstos estén relacionados estadísticamente y de modo exclusivo a través del evento, en nuestro caso de la actividad volcánica. La existencia de una muy pequeña correlación entre ambos precursores, ajena al evento, disminuye drásticamente la ventaja del sistema de precursor múltiple frente al simple en términos de falsas alarmas (Grandori et al., 1988). Como ejemplo, podemos tomar la actividad sísmica y la deformación en un volcán: los cambios en los niveles freáticos y especialmente en el suelo helado (permafrost), se reflejan provocando un incremento de la actividad microsísmica y deformación superficial; un gravímetro nos indicaría modificaciones en la distribución de masas. Los cambios en las precipitaciones provocan variaciones importantes en las emisiones de CO₂ y los cambios de presión inducen también significativas variaciones en las emisiones de radón. La utilización de estaciones micrometeorológicas en los mismos emplazamientos donde se muestrean los gases permite, en cierto modo, compensar estos efectos. Es muy importante disponer de largas series temporales, de forma que puedan analizarse las correlaciones cruzadas entre los distintos parámetros y, así, poner de manifiesto la existencia de causas ajenas a la actividad volcánica en la aparición de los posibles fenómenos precursores.

PRECURSORES Y TOMAS DE DECISIÓN

Es importante tener presente que el objetivo de la detección del precursor (P) es poder tomar una decisión (D) que permita mitigar el impacto del evento (V) (Matthews, 1997). La situación es que el precursor puede presentarse (P) o no (~P) y ser seguido (V) o no (~V) de la erupción. Supongamos que se nos presenta el precursor P; en ese caso debemos considerar cuatro situaciones, según se tome la decisión (D) o no (~D) y ocurra o no la erupción. Las probabilidades de cada uno de estos casos vendrán dadas por

- Pr(V & D) es la probabilidad de que se haya presentado el precursor, se haya tomado la decisión y ocurra la erupción
- Pr(~V & D) es la probabilidad de que se haya presentado el precursor, se haya tomado la decisión y no ocurra la erupción
- Pr(V & ~D) es la probabilidad de que se haya presentado el precursor, se haya tomado la decisión de ignorarlo y ocurra la erupción
- Pr(~V & ~D) es la probabilidad de que se haya presentado el precursor, se haya tomado la decisión de ignorarlo y no ocurra la erupción

A cada uno de estos estados le corresponde un coste (pérdidas). El total sería

$$S = \$_{00} \Pr(V \& D) + \$_{10} \Pr(\sim V \& D) + \$_{01} \Pr(V \& \sim D) + \$_{11} \Pr(\sim V \& \sim D)$$

Se define como factor de pérdidas estructurales el término $K = (\$_{01} - \$_{00}) / (\$_{10} - \$_{11})$. El tomar la decisión D tiene un coste S, que se introduce como cociente de las probabilidades $\Pr(S | V)$ y $\Pr(S | \sim V)$, admitiéndose como criterio para tomar la decisión D que se cumpla

$$K \Pr(V) / \Pr(\sim V) \Pr(S | V) / \Pr(S | \sim V) > 1$$

EVOLUCIÓN TEMPORAL DE UN OBSERVABLE DE LA ACTIVIDAD VOLCÁNICA

Hay que tener presente que los precursores de una erupción volcánica no son fenómenos que se presenten aislados y de forma manifiesta, sino que se trata de pequeños cambios en el conjunto de la actividad de la zona. Una aproximación teórica considera que el desencadenamiento de una erupción es análogo al fallo de un material en un proceso de rotura (Voight, 1988). Toda erupción, desde un punto de vista de la mecánica de rocas, está precedida y acompañada por fracturas de rocas que rodean al magma, debidas a la presión de magma o a la liberación de volátiles desde los sistemas magmáticos profundos (> 5 km) hasta los domos superficiales. Por ello, es posible partir de la ecuación que describe la rotura de un material. Si Ω es un observable, como la actividad sísmica, la deformación o la composición de los gases, la evolución de este observable antes del inicio de la erupción debe responder a una ecuación diferencial del tipo

$$\frac{d^2\Omega}{dt^2} = A \left(\frac{d\Omega}{dt} \right)^\alpha$$

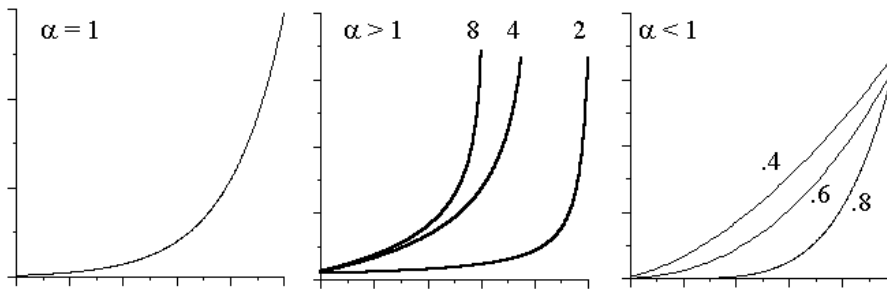


Figura 8. Evolución de la derivada temporal de un observable antes de una erupción basado en el modelo de fallo de material. La figura muestra las soluciones de la ecuación diferencial obtenidas para distintos valores de α .

donde α es el parámetro que rige la evolución del sistema y A una constante. Esta ecuación diferencial es muy sencilla de integrar, pero presenta tres familias de soluciones en función del parámetro α

$$\frac{d\Omega}{dt} = \left(\frac{d\Omega}{dt} \right)_0 e^{A(t-t_0)} \quad \text{para } \alpha = 1$$

$$\frac{d\Omega}{dt} = \left[A(1-\alpha)(t-t_0) + \left(\frac{d\Omega}{dt} \right)_{t_0}^{1-\alpha} \right]^{1/(1-\alpha)} \quad \text{para } \alpha < 1$$

$$\frac{d\Omega}{dt} = \left[A(\alpha - 1)(t_r - t) + \left(\frac{d\Omega}{dt} \right)_{tr} \right]^{1/(1-\alpha)} \quad \text{para } \alpha > 1$$

donde t_0 es el tiempo inicial, mientras que t_r corresponde al tiempo de la ruptura (erupción). La variable t_r se introduce para evitar que la solución para $\alpha > 1$ tome valores imaginarios.

La figura 8 muestra las curvas obtenidas para distintos valores de α . Todas las soluciones presentan un comportamiento similar, aumentando la actividad paulatinamente con el tiempo. Para valores de $\alpha > 1$ se produce una fuerte aceleración antes de la erupción. Para valores de $\alpha < 1$ la actividad crece continuamente, a ritmo más o menos constante, pero no se produce ninguna aceleración, por lo que es muy difícil determinar en que momento se va a producir la erupción. El análisis de estas curvas se simplifica si se representa $1/(d\Omega/dt)$ en función del tiempo (figura 9). Para $\alpha = 2$ se obtiene una recta, y para los otros valores de α curvas descendentes cuyas tangentes cortan al eje x. Este punto de corte se estima como el tiempo en el que se espera la erupción (Voight y Cornelius, 1991). De esta forma, en base a la variación de los distintos parámetros, se puede pronosticar en cuanto tiempo se espera la erupción. Es importante recordar que este modelo ajusta la derivada del observable con respecto al tiempo. Cuando se dispone de datos obtenidos periódicamente es equivalente utilizar directamente las diferencias de los valores obtenidos que sus derivadas numéricas, pero cuando se trata de datos con muestreo variable es necesario calcular numéricamente las derivadas temporales.

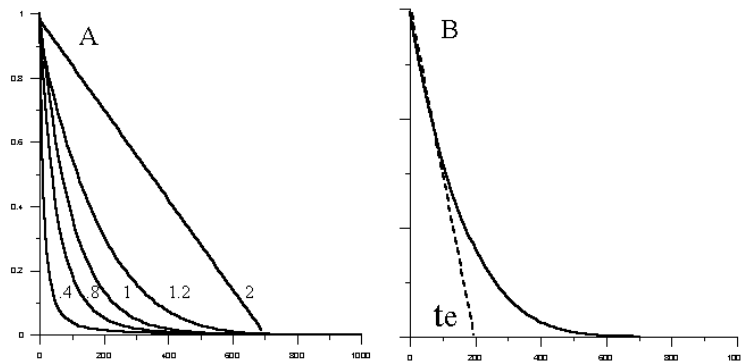


Figura 9. El momento del fallo del material corresponde a una fuerte aceleración en la derivada del observable. En la práctica se representa el inverso de la variación temporal del observable. El corte con el eje correspondería al momento del inicio de la erupción.

Evidentemente, los datos que se obtienen de la evolución de los distintos observables de la actividad del volcán presentan importantes fluctuaciones, por lo que deberá estimarse cual es la tendencia de la evolución. Para ello se han ensayado distintas posibilidades, incluyendo filtrados numéricos de las series de datos y distintos tipos de ajustes, aunque, en general, la calidad de los datos permite hacer poco más que un simple ajuste gráfico. Observables, como la energía sísmica liberada, presentan una evolución típicamente en forma de *escalera del diablo* (figura 10) que es necesario promediar, siendo los algoritmos

del tipo RSAM Real-time *Seismic Amplitude Measurement* (Endo y Murray, 1991) y SSAM *Real Time Seismic Spectral Amplitude Measurement* (Rogers y Stephens, 1995) los más utilizados. Otros datos, como la deformación medida con técnicas geodésicas tradicionales, tienen un periodo de muestreo demasiado grande para poder pronosticar el momento de la erupción. En este sentido es conveniente disponer de sistemas automáticos para la medida de la deformación, como pueden ser clinómetros y extensómetros electrónicos, gravímetros en registro continuo, distanciómetros operados automáticamente, GPS diferencial en operación permanente, etc.

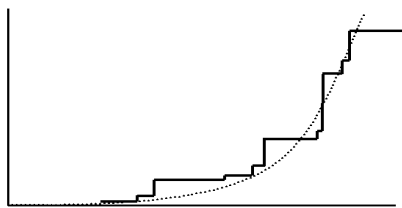


Figura 10. La evolución de los distintos observables de la actividad volcánica no es continua, sino que presenta frecuentes saltos y periodos de calma. Este tipo de evolución se denomina escalera del diablo (cada peldaño es distinto en altura y longitud). Un caso típico corresponde a la energía sísmica liberada.

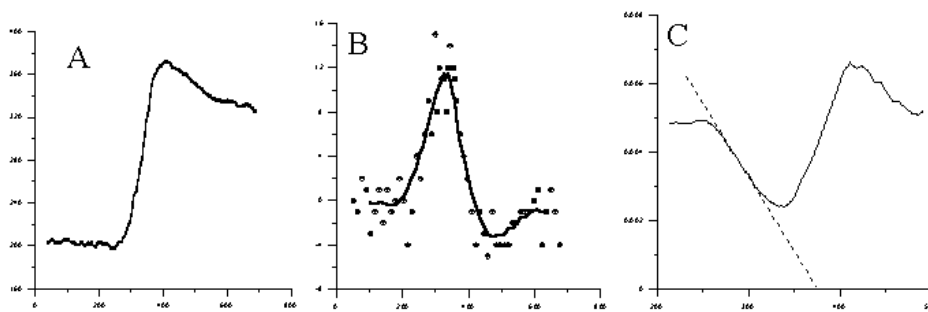


Figura 11. La figura muestra el análisis de una serie temporal para pronosticar el inicio de la erupción: A corresponde a la deformación de una caldera que experimenta un proceso de inflación. En B se representan los valores de la derivada temporal de la deformación (puntos) y el resultado de aplicar un filtro de suavizado (línea continua). Finalmente en C se representa el inverso del ajuste y la extrapolación de la rama descendente cuyo corte con el eje corresponde al pronostico del momento de inicio de la erupción. Ejemplo realizado sobre datos sintéticos obtenidos a partir de datos reales de la crisis de Campos Flegreos (Barberi et al., 1984).

La figura 11 muestra el proceso de análisis de datos para pronosticar el momento de la erupción en un supuesto proceso de deformación. El análisis de los observables de la actividad volcánica permite detectar fácilmente en que momento el volcán aumenta su actividad, y en muchos casos, la aceleración en el ritmo de variación de los observables, permite pronosticar el momento en el que se producirá la erupción. Sin embargo, la toma de la decisión de que se va a producir una erupción hay que hacerla mucho antes de que los indicadores hayan alcanzado un nivel lo suficientemente alto (si es que lo alcanzan y la erupción no se ha presentado antes) para que no exista duda. Esto implica que no es posible asegurar cual será la evolución del sistema (figura 12), existiendo tres posibilidades

- Continúa la aceleración de la actividad y se produce la erupción en el tiempo esperado
- La actividad se estabiliza y permanece durante mucho tiempo al nivel alcanzado
- La actividad se desacelera, disminuye y el sistema vuelve al estado de reposo

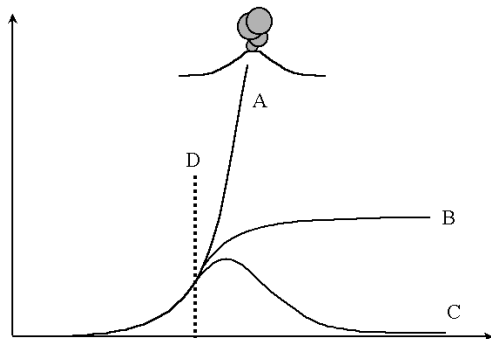


Figura 12. El problema es tener que realizar los pronósticos con suficiente tiempo para poder tomar decisiones. Al definirse claramente la aceleración de la variación temporal del observable se anuncia una posible erupción, que se presentará o no, evolucionando la actividad hacia valores cada vez mayores, estabilizándose durante mucho tiempo o cesando.

Finalmente destacar que el modelo nos indica que no siempre es posible pronosticar en que momento se va a producir la erupción ya que para determinados valores de α no se produce aceleración de la actividad. Pero siempre es claro que el volcán se ha reactivado y que más pronto o más tarde la erupción ocurrirá.

EL SEMÁFORO DEL VOLCÁN

Supongamos un volcán que se encuentra adecuadamente instrumentado y bajo continua vigilancia por un equipo científico y técnico cualificado. La cuestión es ahora como se puede en cada momento cuantificar la actividad del volcán y de que modo esta cuantificación se puede transmitir a la población y autoridades. Tras haberse ensayado múltiples y complejas escalas se ha llegado a que la mejor cuantificación de la actividad volcánica se reduce a un simple semáforo con tres niveles: verde, amarillo y rojo. Esto se debe a dos motivos: todo el mundo está familiarizado con el semáforo de tres colores y además nuestro conocimiento actual de la actividad volcánica no permite gestionar en la práctica más niveles (Ortiz, 1996; De La Cruz-Reyna, 1996).

El semáforo del volcán permite definir en cada momento como deben actuar los equipos técnicos que intervienen en la gestión de la crisis volcánica, así como las comunicaciones que deben establecerse con los estamentos de la Protección Civil (cuadro 1). Dentro de cada nivel, y para uso exclusivo de cada grupo, es posible establecer más niveles para uso interno. En general, la versión mayoritariamente aceptada del semáforo considera los tres colores (únicos niveles que trascienden fuera del estamento científico) divididos en cinco niveles más el cero. Los niveles cero, uno y dos, corresponden al color verde, el tres es el amarillo y el cuarto y quinto al rojo. Tan importante es establecer claramente la escala ascendente (inicio de una crisis volcánica) como la descendente (vuelta a la normalidad). Este concepto de semáforo, nacido originariamente para la gestión científica de una crisis volcánica, se puede aplicar también para la gestión de la emergencia, por ejemplo para la evacuación de las poblaciones situadas en las proximidades del volcán. En cada momento se puede tener un mapa del volcán, con un semáforo en cada sector, que se gestiona en función de la actividad. De este modo es posible actualizar en cada momento los mapas de peligrosidad y de riesgo volcánico en función de la evolución de la actividad.

Cuadro 1. Niveles de la actividad volcánica				
N	Semáforo	Definición	Actuación	Comunicaciones
0	Verde	Estado normal de la actividad	Rutina	Reuniones periódicas de los grupos científicos para análisis de datos y elaboración de boletines/informes anuales
1	Verde	Señales anómalas	Revisión de los instrumentos. Comprobación de los eventos	Consultas entre especialistas implicados
2	Verde	Continúan las señales anómalas	Despliegue instrumentación suplementaria ----- Declaración, si procede, del paso a semáforo amarillo para su comunicación a las autoridades de Protección Civil. Designación de un Portavoz científico único	Reuniones de especialistas y responsables de los grupos científicos para el seguimiento y evaluación de las anomalías
3	Amarillo	Incremento de la anomalía o aparición de otros indicadores	Despliegue instrumentación de crisis. Delimitación geográfica ----- Solicitar la Convocatoria del "Comité de Evaluación y Seguimiento de los fenómenos volcánicos" para declarar cuando proceda el paso a semáforo rojo	Comunicación permanente del Portavoz Científico con la autoridad responsable de Protección Civil Reunión de especialistas y responsables de los grupos científicos para el seguimiento y evaluación de las anomalías
4	Rojo	Aceleración de la actividad y/o evidencia de presencia de magma	Se espera inicio erupción	Comunicaciones en el marco del "Comité de Evaluación y Seguimiento..." ampliado en su caso con otros especialistas
5	Rojo	Erupción	Atención a la erupción	Ruedas de Prensa diarias del Portavoz Científico y los especialistas que se designen

Los niveles 0, 1 y 2 pertenecen únicamente al ámbito científico. Aunque la comunicación oficial a Protección Civil se produce al pasar de nivel 2 al 3, conviene realizar una comunicación personal al equipo técnico de Protección Civil cuando se alcanza el nivel 2.

Tan importante es la gestión ascendente de esta escala de niveles como la descendente. El regreso al nivel de base se realiza siempre en forma escalonada.

Tras la declaración de semáforo amarillo el único interlocutor con los medios de comunicación será el portavoz científico y los especialistas que se designen en el caso de ruedas de prensa.

La financiación de los gastos ocasionados por las actuaciones y reuniones de los científicos, en cada nivel, debe estar prevista o recabarse por las Instituciones y Organismos competentes.

BIBLIOGRAFÍA

BARBERI, F.; CORRADO, G.; INNOCENTI, F.; LUONGO, G. (1984). *Phlegrean Fields 1982- (1984). Brief chronicle of a volcano emergency in a densely populated area*. Bull. Volcanol., **47**: 175-185

DE LA CRUZ-REYNA, S. (1996). *Un código de alerta para el manejo de emergencias volcánicas*. En Riesgo Volcánico, Ortiz, R. editor. Serie Casa de los Volcanes. Cabildo de Lanzarote, Nº 5: 181-188

ENDO, T. E.; MURRAY, T. (1991). *Real-time Seismic Amplitude Measurement (RSAM). A volcano monitoring and prediction tool*. Bull Volcanol., **53**: 533-545

- GASPARINI, P.; GRESTA, S.; MULARGIA, F. (1990). *Statistical analysis and eruptive activities at Mt. Etna during 1978-1987*. J. Volcanol. Geotherm. Res., **40**: 317-325
- GRANDORI, G.; GUAGENTI, E.; PEROTTI, F (1988). *Alarm system based on a pair of short term earthquake precursors*. Bull Seism. Soc. Am., **78**: 1538-1549
- MATTHEWS, R. A. J. (1997). *Decision theoretic limits on earthquake prediction* Geophys. J. Int., **131**: 526-529
- MULARGIA, F. (1992). *Time association between series of geophysical events*. Phys. Earth Planet Inter., **71**: 147-153
- MULARGIA, F.; GASPARINI, P. (1996). *Precursor candidacy and validation*. Geophys. Res. Lett., **23**: 1323-1326
- MULARGIA, F. (1997). *Retrospective validation of the time association of precursors*. Geophys. J. Int., **131**: 500-504
- ORTIZ, R., editor (1996). *Riesgo Volcánico*. Serie Casa de los Volcanes. Cabildo de Lanzarote, **Nº 5**: 304 pp.
- ROGERS, J. A.; STEPHENS, J. A. (1995). *SSAM Real Time Seismic Spectral Amplitude Measurement on PC and its application to volcano monitoring*. Bull. Seism. Soc. Am., **85**: 632-639
- VOIGHT, B. (1988). *A method for prediction of volcanic eruptions*. Nature, **332**: 125-130
- VOIGHT, B.; CORNELIUS, R. R. (1991). *Prospects for eruption prediction in near real-time*. Nature, **350**: 695-698