

Peligro volcánico en Italia: un paisaje variado

Maddalena De Lucia - Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Osservatorio Vesuviano

Lucia Pappalardo - Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Osservatorio Vesuviano

Marco Neri - Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Osservatorio Etneo

Gianfilippo De Astis - Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Roma 1

Emanuela Bagnato - Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Osservatorio Vesuviano

Micol Todesco - Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Bologna



Fotografía de portada - Erupción del Etna en febrero de 2021.

Fuente: fotografía de Boris Behncke.

La evaluación del peligro volcánico es un desafío formidable, dada la amplia variedad de fenómenos potencialmente involucrados, que operan en diferentes escalas espaciales y temporales. Los volcanes italianos representan bien el amplio espectro de posibles estados de actividad y estilos eruptivos: desde volcanes inactivos hasta actividad persistente, desde el volcán más grande de Europa hasta pequeñas islas volcánicas, Italia enfrenta todo tipo de amenazas reales y potenciales de fuentes volcánicas. El Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) es la principal institución encargada del seguimiento y la vigilancia de los volcanes activos italianos. Para cumplir con su misión, el INGV instala y mantiene redes de observación con instrumentos tecnológicamente avanzados concentrados alrededor de volcanes activos. Las señales recogidas se transmiten mediante sistemas de transmisión redundante a las salas de operaciones activas las 24 horas en Nápoles (Figura 1) y Catania, permitiendo una vigilancia continua.

El sur de Italia es uno de los escenarios tectónicos y volcánicos más activos en el área mediterránea, que comprende volcanes persistentemente activos e inactivos. Mientras escribimos, dos volcanes presentan una actividad eruptiva persistente: el Estrómboli, que pertenece al archipiélago de las Eolias, en el mar Tirreno, y el Etna, en la costa oriental de Sicilia. Ambos volcanes se caracterizan generalmente por una explosividad leve que presenta el lanzamiento de piroclastos cerca del cráter, flujos de lava ocasionales y fuentes de lava de hasta varios cientos de metros. Este tipo de actividad puede culminar en el desarrollo de columnas eruptivas, que pueden alcanzar hasta 10-15 mil metros en el caso del Etna.



Figura 1. La sala de vigilancia activa las 24 horas del día, los 7 días de la semana en Nápoles, en el Osservatorio Vesuviano de INGV.

Fuente: www.ov.ingv.it

El sur de Italia es uno de los escenarios tectónicos y volcánicos más activos en el área mediterránea, que comprende volcanes persistentemente activos e inactivos. Mientras escribimos, dos volcanes presentan una **actividad eruptiva persistente**: el Estrómboli, que pertenece al archipiélago de las Eolias, en el mar Tirreno, y el Etna, en la costa oriental de Sicilia. Ambos volcanes se caracterizan generalmente por una explosividad leve que presenta el lanzamiento de piroclastos cerca del cráter, flujos de lava ocasionales y fuentes de lava de hasta varios cientos de metros. Este tipo de actividad puede culminar en el desarrollo de columnas eruptivas, que pueden alcanzar hasta 10-15 mil metros en el caso del Etna. En estas altitudes, los piroclastos en erupción pueden ser dispersados por los vientos troposféricos cientos de kilómetros alrededor del volcán. El impacto de estos fenómenos es muy diferente para los dos volcanes, tanto por sus diferencias intrínsecas como por su posición geográfica. Estrómboli es una isla pequeña y una atracción turística popular, especialmente durante el verano, mientras que el Etna es un volcán de 3.357 m de altura rodeado por un campo productivo que domina Catania y los pueblos de las colinas, donde viven alrededor de un millón de personas.

Los **volcanes inactivos** plantean un tipo diferente de amenaza. Estos volcanes han estado inactivos el tiempo suficiente como para perder una conexión directa con el sistema magmático en profundidad y, por lo tanto, su capacidad de erupcionar con frecuencia. Sin embargo, estos volcanes mantienen todo su potencial para volver a entrar en erupción en el futuro. Con respecto a los volcanes en erupción frecuente que tienen un conducto volcánico abierto, una renovación de la actividad eruptiva en los volcanes inactivos requiere mayor energía y esto puede conducir a erupciones explosivas con un impacto mayor. El tiempo de reposo prolongado también puede contribuir a reducir la **percepción de riesgo** entre los residentes locales. Las personas pueden vivir tranquilamente en la ladera del volcán durante décadas y adquirir una falsa sensación de seguridad que puede dificultar la implementación de acciones de mitigación a largo plazo.

El nuevo despertar de un volcán inactivo no pasa desapercibido. El desarrollo de una nueva vía para el ascenso del magma hacia la superficie generalmente va acompañado de una serie de fenómenos geofísicos y geoquímicos, como sismicidad superficial, deformación del suelo y cambios en la composición y tasa de descarga de gases volcánicos. Estos signos precursores pueden advertir contra el peligro inminente y pueden amenazar directamente a las comunidades locales incluso antes de que comience la erupción. Las redes multidisciplinarias de vigilancia permiten capturar pequeños cambios en los parámetros observados y el número y la magnitud de las anomalías observadas ayudan a restringir el estado actual de un volcán. Desafortunadamente, estos precursores no siempre brindan pistas reales sobre la duración y el resultado del período de actividad en curso. La actividad volcánica puede terminar antes de que el magma llegue a la superficie o puede intensificarse hasta una actividad eruptiva, y todo el proceso puede llevar desde unos pocos días hasta varios años. Esta gran incertidumbre sobre el resultado final y el marco de tiempo involucrado hace que sea realmente difícil gestionar la actividad volcánica. En este momento (finales de noviembre de 2021), dos volcanes italianos presentan actividad volcánica: la caldera Campos Flégreos, en la zona napolitana densamente poblada, y la isla de Vulcano, perteneciente al archipiélago de las Eolias. La actividad volcánica en estos dos volcanes plantea desafíos muy diferentes para la comunidad involucrada y para los responsables de hacer frente a las emergencias.

Otros volcanes italianos activos, pero latentes, están completamente tranquilos, pero su posible nuevo despertar debe tenerse en cuenta en la evaluación de riesgos. El más famoso de estos volcanes es sin duda el Somma-Vesubio, también ubicado en el área metropolitana de Nápoles. Otros volcanes inactivos son la isla de Ischia, en el golfo de Nápoles, dos islas Eolias (Panarea y Lipari) y Pantelleria, una isla en el canal de Sicilia. La lista la completan los volcanes submarinos del mar Tirreno y el estrecho de Sicilia.

A continuación, describiremos las características importantes de las principales áreas volcánicas de Italia y destacaremos los diferentes problemas que plantean los volcanes persistentemente activos, inactivos y durmientes. Creemos que representan bien muchos de los retos típicos relacionados con la evaluación y mitigación del riesgo volcánico.

Volcanes activos en Sicilia

Estrómboli

Estrómboli es una isla volcánica formada íntegramente por un estratovolcán que se eleva desde el fondo del mar (a una profundidad de 2.000 m) y alcanza una altura máxima de 930 m sobre el nivel del mar (Figura 2). Al menos durante los últimos 1.000 años, Estrómboli se ha caracterizado por una actividad persistente, levemente explosiva, a veces acompañada por la efusión de flujos de lava que generalmente se propagan a lo largo de un acantilado en forma de herradura, conocido como *Sciara del Fuoco* (literalmente, la pendiente del fuego). Esta persistente actividad presenta un promedio de 10 a 15 explosiones en una hora, desde tres cráteres activos ubicados en una terraza frente a la *Sciara del Fuoco*, a una altura de 750 m. Estas explosiones suelen tener un impacto menor, con una lluvia de lapilli y ceniza que se limita al área de la cumbre. Sin embargo, pueden ocurrir eventos de mayor envergadura, con mayores consecuencias.



Figura 2. Isla de Estrómboli, vista desde el oeste. En primer plano, la depresión erosiva conocida como «Sciara del Fuoco». En la parte superior, los cráteres de la cumbre que expulsan gases continuamente. Abajo a la izquierda, la ciudad de Estrómboli; abajo a la derecha, las casas de Ginostra.

Fuente: fotografía de Marco Neri.

Las erupciones paroxísticas suelen formar columnas eruptivas que pueden alcanzar un máximo de 7-8 km y al final colapsar alimentando flujos piroclásticos, mezclas calientes de gas y cenizas que se precipitan por la ladera del volcán. Dada la morfología específica de la isla, estos flujos se dirigen comúnmente a lo largo de la ladera occidental, empinada y desértica, de la isla. Una vez que llegan a la costa, pueden amenazar el transporte marítimo a medida que se propagan a lo largo de la superficie del mar o provocar olas anómalas. Estos eventos también lanzan bombas volcánicas y bloques que ocasionalmente llegan a los dos pueblos ubicados en las esquinas NE y SO de la isla (Figura 2). Incluso cuando no son alcanzados por bombas, los pueblos se ven envueltos fácilmente por la caída de lapilli y cenizas, que pueden afectar las carreteras, los cultivos y la calidad del aire, y provocar incendios. Un catálogo de eventos eruptivos en Estrómboli recientemente redactado muestra que se produjeron 36 erupciones paroxísticas en los últimos 140 años. El análisis de los datos disponibles sugiere una mayor frecuencia de eventos extremos durante los últimos 10 años y muestra que es más probable que los paroxismos ocurran poco después de otros. Un ejemplo de este comportamiento son los dos eventos paroxísticos que tuvieron lugar en 2019, el 3 de julio y luego nuevamente el 28 de agosto. El primero se vio empañado por una víctima, debido a la inhalación de una mezcla de humo, cenizas y gases. El nivel de alerta actual para Estrómboli es amarillo, caracterizado por un alto nivel de actividad estromboliana (Figura 3).

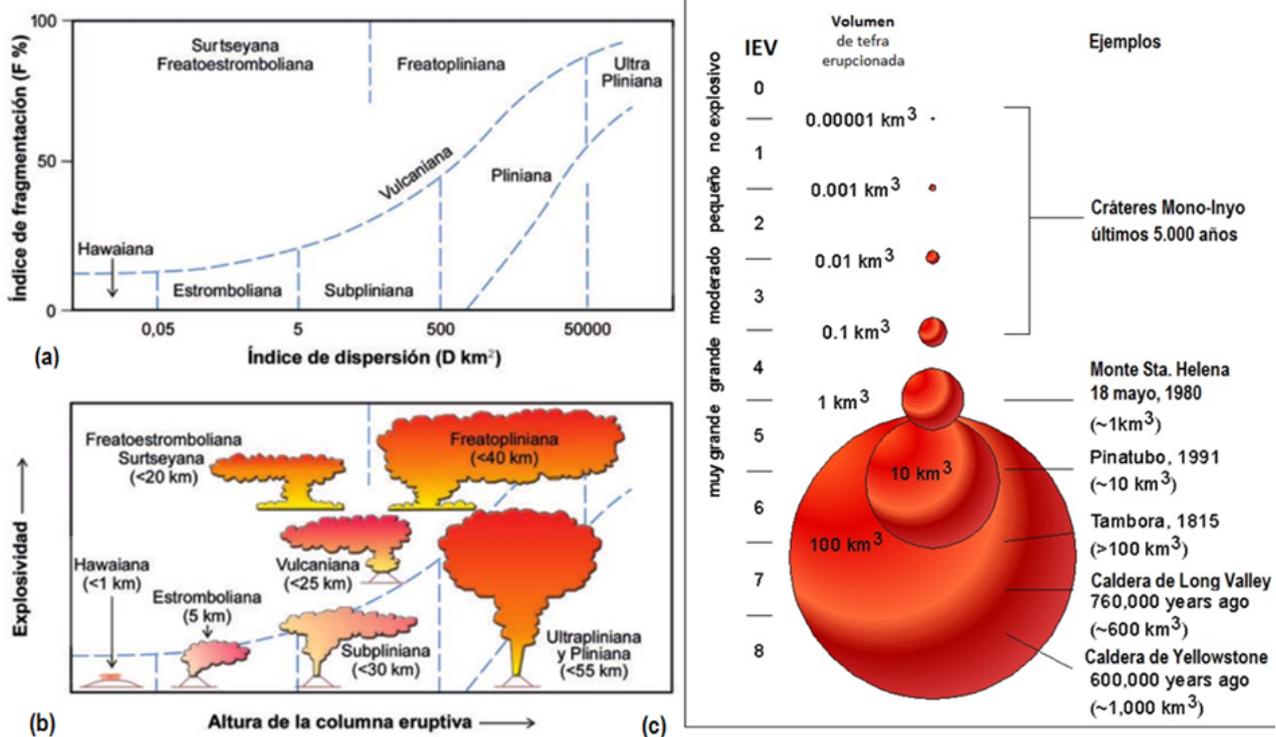


Figura 3. Estos diagramas muestran tres formas diferentes de clasificar las erupciones volcánicas explosivas, según a) el área de dispersión de cenizas y el porcentaje de fragmentación de los depósitos piroclásticos de caída; b) la altura alcanzada por la columna eruptiva y el grado de explosividad; c) el índice de explosividad volcánica (VEI).

Fuente: Hickson, Catherine & Spurgeon, T. & Tilling, Robert. (2013). Tipos de erupciones (erupciones volcánicas). 10.1007 / 978-1-4020-4399-4_122.

Etna

El Etna es el volcán más alto de Europa y uno de los volcanes más activos de la Tierra. La actividad volcánica se concentra principalmente en la cumbre, generando emisiones de gas, actividad de estromboliana a paroxística (hawaiana, violenta estromboliana a subpliniana, Figura 3) y desbordamiento de lava de uno de sus cuatro cráteres. Estas **erupciones de la cumbre**, casi continuas, no solo representan una amenaza aparentemente menor para la vida humana y la propiedad. El desarrollo de altas columnas volcánicas durante eventos eruptivos importantes puede inyectar cantidades significativas de cenizas en la atmósfera (Figura 4) y afectar al tráfico aéreo: a veces esto requiere desviar vuelos y ocasionalmente puede impedir el aterrizaje y despegue en los aeropuertos locales. La lluvia de cenizas también puede afectar las condiciones de las carreteras y los cultivos. La mayor frecuencia de erupciones paroxísticas en la cumbre en las últimas décadas (desde 1977 ha habido cientos de episodios explosivos paroxísticos) ha aumentado sin duda las dificultades para las poblaciones etneanas, que se ven obligadas continuamente a enfrentarse al problema de acumulación de cenizas y lapilli en los tejados de las casas, en las calles y en los terrenos cultivados.

En ocasiones, la actividad volcánica etneana ocurre a lo largo de fisuras radiales, produciendo **erupciones en los flancos** (Figura 5) sobre todo de tres «zonas de fisura» principales, es decir, áreas de debilidad estructural del aparato volcánico. En estos casos, el magma se mueve verticalmente hacia la superficie topográfica a través del conducto central y, en niveles poco profundos (algunos cientos de metros hasta 1-3 km), se propaga lateralmente penetrando, en la mayoría de los casos, en las zonas de fisura.



Figura 4. 4 de marzo de 2021: Erupción explosiva del cráter sureste del Etna, visto desde el golfo de Ognina, en Catania. La columna eruptiva se eleva verticalmente unos 8-10 kilómetros de altura antes de ser empujada por el viento hacia el noreste.

Fuente: fotografía de Marco Neri.

Las erupciones en los flancos representan el tipo de actividad eruptiva más peligrosa, ya que ocurren a menor altitud (entre 2.000 y 500 metros sobre el nivel del mar) y, por lo tanto, más cerca de áreas vulnerables como ciudades, pueblos, vías de acceso y tierras cultivadas. Las erupciones de en los flancos potencialmente peligrosas tienen una frecuencia que varía desde unos pocos meses hasta algunas décadas, aunque los intervalos de tiempo entre tales erupciones se han reducido a un promedio de 1,5 a 3,0 años desde 1971.

Todas las erupciones etneanas en los flancos que se conocen han producido coladas de lava, muchas de las cuales invadieron áreas de tierras cultivadas, destruyeron propiedades e infraestructuras y, a veces, enterraron pueblos enteros. En 1928, por ejemplo, el pueblo de Mascali fue casi totalmente enterrado y destruido por la lava y reconstruido en otro lugar, más abajo. Por otro lado, durante los últimos 70 años, las áreas urbanizadas alrededor del volcán se han desarrollado rápidamente, con un extenso sistema de vías de comunicación y un rápido crecimiento de los centros de población, a menudo en áreas que han estado cubiertas por coladas de lava en el período histórico. Se han instalado servicios turísticos en lo alto del volcán (hasta 2.600-2.800 m de altura), que han sido dañados repetidamente por los flujos de lava, más recientemente en 2001 y 2002-2003. Por estas razones, la región etneana es más vulnerable ahora que en cualquier otro momento.

Con el fin de mitigar el impacto de los flujos de lava mediante la elaboración de planes de intervención y protección civil adecuados, recientemente se han llevado a cabo numerosos estudios



Figura 5. 28 de julio de 2001: erupción en el flanco del Etna. Las lavas invadieron y destruyeron parte del centro turístico Etna-Sud.

Fuente: fotografía de Marco Neri.

científicos, muchos de ellos realizados por investigadores del INGV, enfocados a cartografiar las zonas de invasión de lava más probables y, por tanto, más expuestas a la destrucción. Estos estudios muestran que el riesgo de invasión de lava es mayor alrededor del área de la cumbre debido a la actividad frecuente y al rango limitado de ubicaciones de focos de emisión. El nivel de peligro disminuye lejos de la cumbre pero, al mismo tiempo, la vulnerabilidad aumenta de forma exponencial, especialmente en las áreas ubicadas corriente abajo de las zonas de fisura volcánica.

La vulnerabilidad de la zona del Etna es bien conocida por las poblaciones que han vivido en sus laderas durante miles de años. Sin embargo, la gente considera que el Etna es un «buen volcán», ya que casi nunca se cobra víctimas, con sus coladas de lava que se mueven lo suficientemente lentas como para permitir que la gente escape. El nivel de alerta para el Etna es actualmente amarillo.

Vulcano

La isla de Vulcano, en el archipiélago de las Eolias, está formada por varios centros volcánicos de diferentes tamaños. La actividad eruptiva de la isla se caracterizó por una amplia gama de erupciones explosivas y derrames de coladas de lava que, con el tiempo, construyeron dos importantes edificios volcánicos y varios centros menores. Estas estructuras volcánicas fueron parcialmente, o incluso en gran parte, destruidas por múltiples colapsos vulcano-tectónicos, y formaron dos calderas. Dentro de la caldera más reciente, a partir de hace unos 5.500 años, el cono de toba de La Fossa creció y se caracterizó principalmente por erupciones freatomagmáticas (vulcanianas) (Figura 3), aunque también ha sufrido algunas erupciones efusivas a lo largo de su historia. Posteriormente, en la parte más al norte de la isla se formó el cono de Vulcanello, inicialmente a través de una erupción de lava submarina que comenzó en el 126 a. C. (según las crónicas romanas) seguida de erupciones subaéreas explosivas y efusivas. Es de destacar que en los últimos 1.500 años la actividad de estos dos jóvenes centros eruptivos fue repetida, tanto de forma alterna como simultánea. Los restos de otro pequeño cono de toba - Il Faraglione -, fuertemente fumarolizado y ubicado justo frente al puerto de Vulcano, revelan que un tercer centro volcánico surgió del piso de la caldera en tiempos recientes no definidos. La última erupción de La Fossa ocurrió entre el 3 de agosto de 1888 y el 22 de marzo de 1890, después de varios siglos de actividades eruptivas de corta duración, discontinuas pero recurrentes. Esta erupción, bien documentada y descrita por Giuseppe Mercalli, dio lugar a la introducción del término actividad «vulcaniana» en la nomenclatura vulcanológica.

Desde la última erupción, Vulcano ha atravesado períodos de agitación, caracterizados por un aumento de la actividad fumarólica y de liberación de gases, tanto en el campo fumarólico en el borde del cráter como en la base del cono. Entre 1988 y 1993, en particular, se observó un aumento notable en las temperaturas de los gases fumarólicos, hasta 690 °C. El calentamiento se asoció con cambios en la composición del gas, lo que sugiere un aumento de la contribución magmática. Con el tiempo, todas las señales anómalas volvieron a sus valores de fondo y la agitación terminó sin que se reanudara la actividad eruptiva. Más recientemente, desde septiembre de 2021, los sistemas de monitoreo del INGV han resaltado cambios en las señales geofísicas y geoquímicas, incluida la sismicidad superficial, la deformación del suelo del área del cráter, los cambios en la composición del gas, la temperatura y la tasa de descarga (Figura 6). Algunas áreas habitadas se han visto afectadas por liberaciones anómalas de gas a través del suelo y la evidencia de una concentración peligrosa de gases volcánicos en el aire provocó la prohibición temporal de pernoctar en esas áreas. Basándose en los cambios descritos anteriormente, el departamento de Protección Civil ha ordenado la transición del nivel de alerta de verde a amarillo para la isla. Muy recientemente se ha vuelto a definir el marco relacionado con los niveles de alerta que describen el estado de actividad del volcán mediante una combinación de parámetros de seguimiento y datos recopilados de cualquier evento en curso, a través de una estrecha colaboración entre INGV, Protección Civil y algunas universidades. En el nuevo esquema, el nivel amarillo corresponde a la actividad del sistema hidrotermal que alimenta las fumarolas.

Son posibles diferentes escenarios de peligro en Vulcano, que se caracteriza por una larga historia de actividades eruptivas y un sistema geotérmico que ha estado activo desde tiempos históricos. También resultan viables algunos fenómenos peligrosos del cono de La Fossa debido a la inestabilidad de las laderas, fuertemente influida por la dinámica volcánica o la actividad hidrotermal, como se ve en muchos otros conos de toba. La potencial renovación de la actividad volcánica de La Fossa (o bordes de la caldera) conlleva un alto riesgo, especialmente para los sectores más poblados del norte de la isla, que están abarrotados por miles de turistas durante el verano y ubicados justo al pie del cono de La Fossa.



Figura 6. Cráter de La Fossa en la isla Vulcano y, al fondo, las islas de Lipari, Panarea y Estrómboli en noviembre de 2021.

Fuente: fotografía de Gianfilippo De Astis.

Los volcanes activos en el área napolitana: Somma-Vesubio, Campos Flégreos e isla de Ischia

La densamente poblada área metropolitana de Nápoles se encuentra entre dos volcanes activos altamente explosivos, el distrito volcánico Campos Flégreos (incluida la caldera Campos Flégreos y las islas volcánicas de Ischia y Procida - Vivara) al oeste y el icónico estratovolcán Somma-Vesubio hacia el este. El área está habitada por más de 3 millones de personas y es uno de los lugares con mayor riesgo de desastre volcánico en Europa (Figura 7).



Figura 7. El volcán Somma Vesubio al fondo y el cono de toba de Capo Miseno, en la caldera Campos Flégreos, en primer plano.

Fuente: fotografía de Fabio Sansivero.

Los dos complejos volcánicos muestran diferencias notables en sus morfologías, así como en la dinámica eruptiva.



Figura 8. Interior del cráter del Vesubio.
Fuente: fotografía de Giuliana Alessio.

El volcán Somma-Vesubio es mundialmente conocido por la catastrófica erupción del 79 d.C. que destruyó las ciudades romanas de Pompeya, Herculano y Stabiae (Figura 8). Su historia eruptiva se caracteriza por el cambio de un estado inactivo (conducto cerrado), generalmente interrumpido por grandes erupciones explosivas de tipo pliniano o subpliniano, a períodos de conducto abierto que producen eventos mixtos de efusividad / baja explosividad. Según una clasificación basada en el índice de explosividad volcánica (VEI, Figura 3), estas erupciones van desde un VEI de 4-5 para grandes eventos explosivos, hasta un VEI de 0-3 para períodos de conducto abierto. El último de estos períodos duró alrededor de 300 años y terminó con la última erupción del volcán, en marzo de 1944 (Figura 9). Desde ese momento el volcán ha entrado en un nuevo estado de reposo de conducto cerrado, con actividad fumarólica muy modesta, sismicidad de baja magnitud y raros enjambres de terremotos. El volcán se encuentra en su nivel base de alerta «verde» debido a la ausencia de variaciones significativas en los parámetros monitoreados. Hoy en día, el área que rodea al volcán alberga a unos 500.000 habitantes.

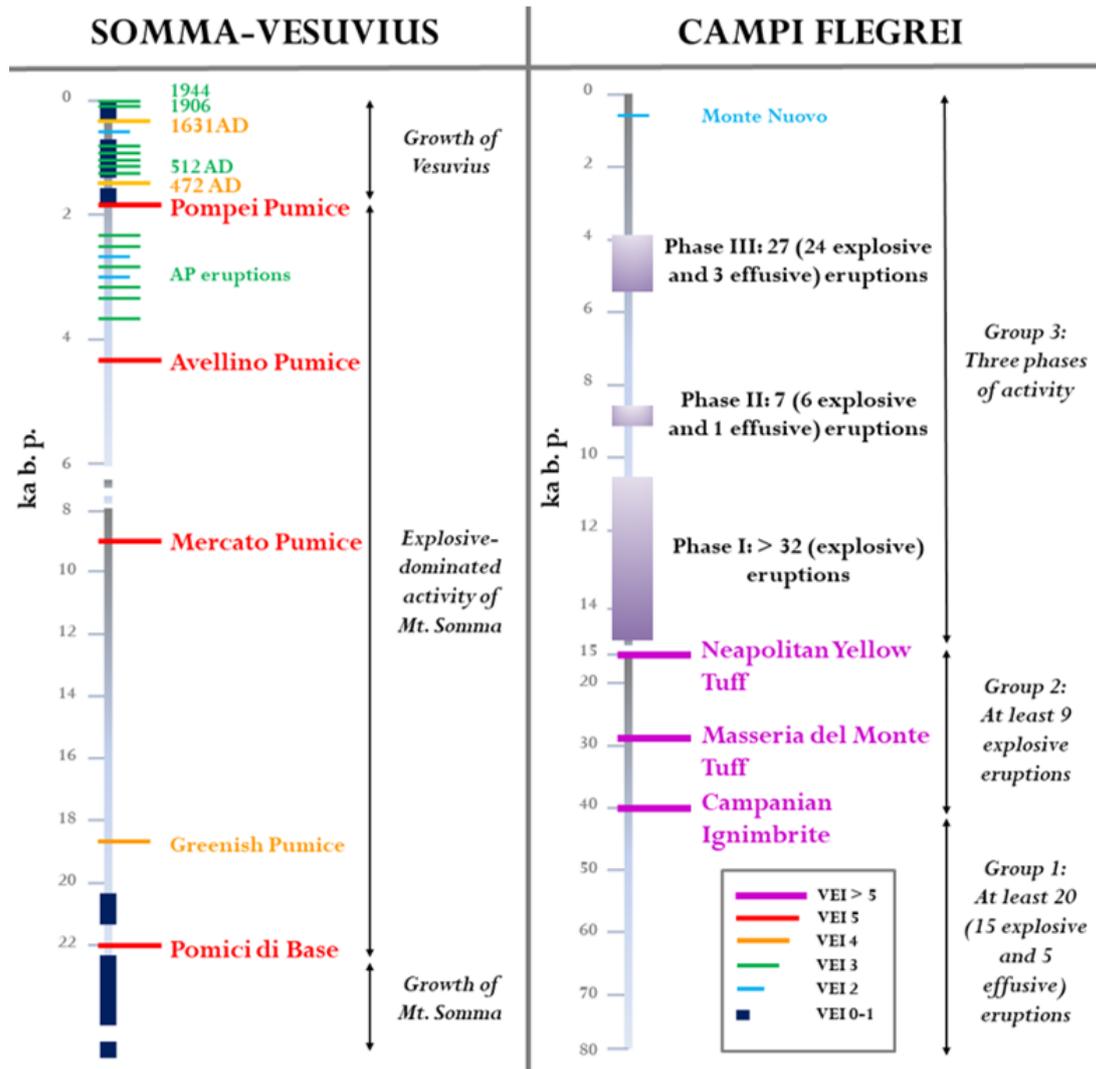


Figura 9. Cronogramas esquemáticos de la actividad volcánica de Somma-Vesubio y Campos Flégreos registrados por sucesiones estratigráficas.

En Somma-Vesubio, en los últimos 22.000 años, se produjeron cuatro erupciones plinianas con formación de caldera y, al menos, tres grandes erupciones subplinianas. El último ciclo de actividad de conducto abierto comenzó después de 1631 y duró hasta 1944.

En los Campos Flégreos, la actividad volcánica comenzó hace más de 80.000 años e incluye la gran erupción de Ignimbrita Campaniense, con formación de caldera, y la segunda gran erupción con colapso de caldera de la Toba Amarilla Napolitana. La única erupción en tiempos históricos ocurrió en 1538 d.C. Para los VEI de Campos Flégreos de los últimos 14.000 años, no se indican las erupciones.

La caldera de los Campos Flégreos (literalmente «campos en llamas»), proporciona un ejemplo clásico de cómo la actividad volcánica puede tener un gran impacto en las comunidades locales. Los fenómenos de actividad volcánica (levantamiento del suelo y sismicidad) ocurridos durante los años 1982-1984 causaron daños importantes en los edificios y llevaron a la evacuación de los residentes de la parte central de la ciudad de Pozzuoli. La caldera de los Campos Flégreos (Figura 10) está considerada entre los volcanes más peligrosos de Europa, ya que ha sido el origen de la erupción más grande de toda la zona mediterránea: la erupción de la Ignimbrita Campaniense, fechada hace unos 40.000 años. Según estudios recientes, esta erupción, que emitió una gran cantidad de cenizas y gas volcánico a la atmósfera, provocó una bajada de la temperatura de la Tierra en varios grados durante muchos años, un verdadero invierno volcánico, lo que contribuyó a la desaparición de los neandertales. Una segunda gran erupción se remonta a hace 15.000 años, con el emplazamiento de la toba amarilla napolitana, sobre la que se construyó gran parte de la ciudad de Nápoles (Figura 9).

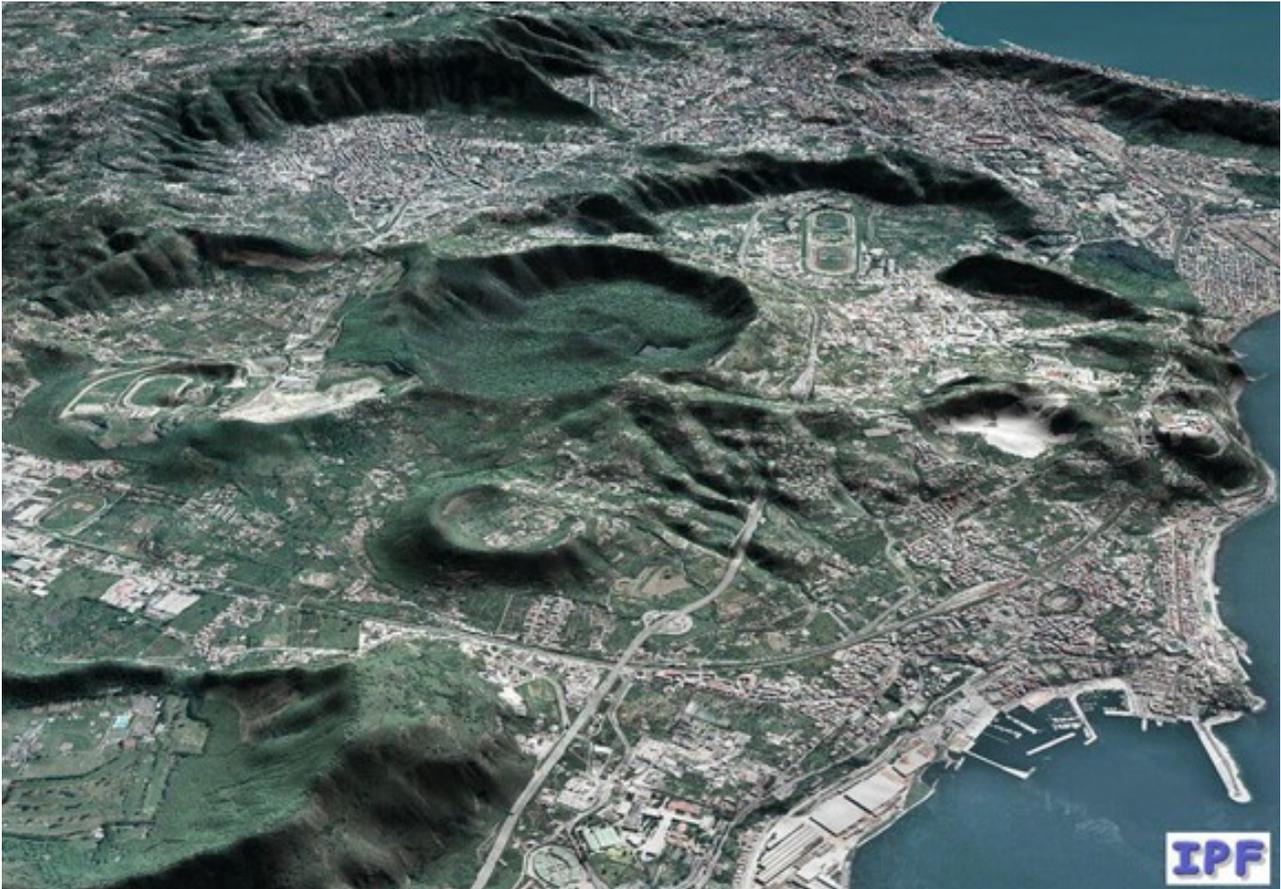


Figura 10. La figura muestra parte de la caldera de los Campos Flégreos en cuyo centro se encuentra la ciudad de Pozzuoli, en primer plano. Son visibles algunos de los volcanes monogenéticos formados durante los últimos diez mil años de actividad volcánica. La imagen muestra la alta urbanización de la caldera. En particular, en el centro, el cráter de Astroni (formado hace unos 3.800 años), hoy parque natural, y la Piana di Agnano desde donde ocurrió la erupción pliniana de Agnano Montespina (hace unos 4.100 años); abajo, a la izquierda, el cráter más grande de Gauro (formado hace unos 10.000 años).

Fuente: DTM por Laboratorio de Geomática y Cartografía, INGV Osservatorio Vesuviano.

Hoy, el área volcánica activa incluye una depresión de caldera de 12 kilómetros de ancho, centrada en la ciudad de Pozzuoli. En los últimos 15.000 años fue el sitio de una actividad volcánica monogenética (es decir, un volcán formado por una sola erupción) que produjo alrededor de 70 erupciones (con VEI variable, que abarca de 0 a 5), concentradas principalmente en épocas distintas, separadas por largos períodos de inactividad. La última de estas erupciones ocurrió en 1538 d.C., después de más de 3.000 años de inactividad, y en una semana dio lugar al nacimiento de un nuevo cono volcánico, el Monte Nuovo, de unos 130 m de altura. Desde entonces, se han desarrollado muchas ciudades dentro de la caldera, que actualmente está habitada por más de 350.000 personas.

Después de un largo período de hundimiento desde la última erupción, en las últimas décadas la caldera mostró signos de reactivación potencial caracterizados por episodios de elevación del suelo, sismicidad superficial, aumento significativo en la desgasificación hidrotermal y cambios en la geoquímica de fluidos (Figura 11). En la caldera de los Campos Flégreos, el fenómeno característico del lento levantamiento o descenso del suelo se llama bradisismo (Figura 12).



Figura 11. Muestreo de fumarolas en Pisciarelli, en la caldera de los Campos Flégreos.

Fuente: fotografía de Emanuela Bagnato.

Las principales crisis bradisísmicas ocurrieron en 1970-72 y 1982-84 y estuvieron acompañadas de varios miles de terremotos y 3,5 m de levantamiento total del suelo, lo que obligó a los habitantes del centro de la ciudad de Pozzuoli a evacuar. Una fase de actividad en curso, que hasta ahora ha resultado en un levantamiento del suelo de 85 cm en el sector central de la caldera y algunos miles de terremotos, ha llevado al Departamento de Protección Civil italiano a cambiar el nivel de alerta del volcán Campos Flégreos desde el nivel mínimo («verde») al de aviso «amarillo» a finales de 2012.



Figura 12. El templo de Serapis, un mercado romano ubicado no lejos de la costa de Pozzuoli. Las ruinas de este Macellum (que data de finales del siglo I d.C.) han sido fundamentales para la reconstrucción de los movimientos de tierra (bradisismo, del griego bradius = lento y seismos = movimiento), debido a la presencia en las tres columnas de mármol en pie de agujeros de lythodome (moluscos marinos que viven en un entorno costero en el límite entre la marea alta y la baja) que atestiguan el hundimiento máximo de la zona.

Fuente: fotografía de Fabio Sansivero.

La isla de Ischia, en el distrito de los Campos Flégreos, es la parte emergente de un extenso sistema volcánico que se eleva a más de 1000 m sobre el nivel del mar. En Ischia, el vulcanismo comenzó hace 150.000 años y ha continuado de forma intermitente, con períodos de inactividad que duran de siglos a milenios, hasta la última erupción de Arso en 1302 d.C. El volcán se encuentra en el nivel mínimo de alerta y actualmente se caracteriza por actividad fumarólica e hidrotermal, que posibilita una economía próspera. También está ligada a su naturaleza volcánica una sismicidad moderada, que puede ocasionar graves daños debido a que los hipocentros son muy poco profundos. Un ejemplo reciente es el terremoto vulcano-tectónico de magnitud 3,9 que ocurrió el 21 de agosto de 2017 en la ciudad de Casamicciola Terme. El terremoto más destructivo de los últimos siglos ocurrió en 1883 y destruyó por completo la misma ciudad, matando a 2.313 personas. La isla está densamente poblada, con más de 60.000 habitantes distribuidos en menos de 50 km². Durante las temporadas turísticas esta población aumenta sustancialmente.

Debido al elevado peligro volcánico y el contexto urbano densamente poblado, los volcanes napolitanos han sido el terreno para desarrollar estrategias complejas de mitigación de riesgos dirigidas a la planificación de emergencias. La información importante para pronosticar el comportamiento futuro de los volcanes se deriva de un análisis preciso y en profundidad de la historia magmatológica y eruptiva, así como de simulaciones numéricas de los fenómenos eruptivos esperados. Basándose en lo anterior, la comunidad vulcanológica ha definido los posibles escenarios pre-eruptivos y eruptivos de futuras erupciones y las áreas que con el tiempo resultarán afectadas por los efectos de la actividad volcánica. Además, la naturaleza monogénica de la pasada actividad eruptiva de los Campos Flégreos implica la incertidumbre sobre la ubicación precisa del futuro foco eruptivo, pudiendo surgir en cualquier momento un nuevo volcán dentro de la caldera de 12 km de ancho. Este conocimiento representa la base para identificar el perímetro de las zonas potencialmente sujetas a fenómenos peligrosos, adoptado en la planificación de emergencia por el Departamento Nacional de Protección Civil de Italia.

Los planes nacionales de Protección Civil para Somma-Vesubio y los Campos Flégreos incluyen como escenario de referencia para ambos volcanes una erupción explosiva de tamaño medio. Este escenario se caracteriza por tres etapas principales correspondientes a diferentes áreas de peligro y riesgo: una primera fase de «caída», con el desarrollo de una columna eruptiva muy alta (decenas de km) y sostenida, asociada a la caída de fragmentos piroclásticos en los sectores en la dirección del viento (la denominada zona amarilla); una segunda fase de colapso eruptivo de la columna con generación de flujos piroclásticos (afectando la denominada zona roja) y una tercera fase con abundante precipitación y generación de flujos de lodos.

El impacto asociado a la primera fase consiste principalmente en el colapso de los tejados en el área urbanizada alrededor de los volcanes. En esta latitud, los vientos estratosféricos soplan principalmente hacia el este. Esto reduce considerablemente el riesgo de caída de cenizas para la ciudad de Nápoles, de 1 millón de habitantes, en caso de una erupción explosiva de Somma-Vesubio, ubicada en el sector oriental de la ciudad. No obstante, Nápoles está muy expuesta a la lluvia de cenizas producida por una erupción en los Campos Flégreos, ubicados en el sector occidental.

Sin embargo, el riesgo máximo se deriva del paso de los flujos piroclásticos (segunda fase). Se trata de nubes de ceniza y gas volcánico que fluyen a gran velocidad y temperatura por los flancos del volcán y pueden alcanzar distancias considerables en pocos minutos, destruyendo todo a su paso. En las áreas más cercanas al foco, debido a su alta densidad y velocidades (100 km/h), los flujos piroclásticos son capaces de derribar incluso los edificios modernos de hormigón armado. A mayores distancias los flujos piroclásticos se ralentizan y pierden parte de su carga de cenizas, por lo que la fuerza del impacto se reduce mientras la temperatura permanece siempre por encima de los límites de supervivencia. Estudios recientes muestran, de hecho, que durante la erupción pliniana en el 79 d.C., los desafortunados habitantes de las ciudades de Herculano y Oplontis (ubicadas a 5-6 km del Vesubio), así como los de Pompeya (10 km del Vesubio), murieron por el choque térmico debido a la alta temperatura (300-600 °C) de los flujos piroclásticos.

En caso de erupciones explosivas de intensidad media-alta, los flujos piroclásticos procedentes de los Campos Flégreos y de Somma-Vesubio pueden llegar al área de la ciudad de Nápoles, como lo demuestran tanto las sucesiones volcánicas presentes en el área metropolitana, como los resultados de los cálculos numéricos que simulan el paso de flujos piroclásticos sobre las morfologías volcánicas actuales. Debido al alto impacto de los flujos piroclásticos, la única

contramedida para salvaguardar a la población sigue siendo la evacuación completa de la zona de riesgo en el mismo inicio de la crisis volcánica y antes de que ocurra la fase eruptiva.

A pesar del alto riesgo volcánico del área napolitana, la población residente no percibe el riesgo volcánico como relevante. En las últimas décadas se han realizado estudios en profundidad sobre las percepciones del riesgo volcánico para los habitantes de la zona napolitana. Los resultados para la población del Vesubio demuestran que las personas son conscientes de la amenaza de una futura erupción y están preocupadas por ella, pero se sienten más preocupadas por los problemas que enfrentan a diario, como el desempleo y la delincuencia. Además, el 80 % de la población muestreada cree que el Vesubio no entrará en erupción en los próximos 10 años. El estudio también destaca que el conocimiento del Plan de Emergencia del Vesubio no está muy extendido. En consecuencia, la confianza en los funcionarios públicos y en el éxito del plan es baja, así como la confianza en uno mismo para hacer frente a tal emergencia. Por otra parte, una nota positiva es la gran confianza en los científicos. Más recientemente, otra encuesta ha demostrado que los habitantes de la zona roja del Vesubio son más conscientes de la amenaza volcánica que los de la zona amarilla. Esta percepción diferente era de esperar, dado que han sido los más afectados por la actividad eruptiva del Vesubio en los últimos tiempos.

Para los habitantes de la caldera de los Campos Flégreos, como para los del Vesubio, el peligro volcánico no se menciona espontáneamente como un problema importante al que se enfrenta la comunidad y está más asociado con el volcán Vesubio que con la caldera de los Campos Flégreos. Sin embargo, al preguntarles sobre el tema concreto, los ciudadanos expresaron una seria preocupación por la amenaza volcánica y sus efectos en su comunidad. Solo el 17 % de la muestra poblacional conoce la existencia del Plan de Emergencia de los Campos Flégreos, y el 65 % dice no haber recibido suficiente información sobre los posibles efectos de una erupción. No obstante, los ciudadanos se sienten suficientemente seguros de poder hacer frente a una erupción, pero tienen poca confianza en las autoridades locales y Protección Civil.

Por último, quizás porque aún no se ha implementado un plan de emergencia, la percepción del peligro volcánico de una pequeña muestra de habitantes de la isla de Ischia es muy baja, tan leve que algunos de ellos creen que están incluidos en los mapas de riesgo del Vesubio.

Todas estas cuestiones plantean un desafío para la gestión de emergencias en toda el área napolitana y destacan la necesidad de una campaña de educación y concienciación precisa sobre el peligro volcánico y el plan de emergencia que desarrolle conocimientos, motivación y habilidades para afrontar los peligros. Además, tanto en las áreas de Somma-Vesubio como en los Campos Flégreos, los ciudadanos solicitan su participación en la planificación de emergencias y, en particular, en las medidas de preparación. De ello se desprende que debe establecerse un proceso participativo en la construcción y actualización de futuros planes de emergencia.