

CAPÍTULO 6

Paradoja volcánica: creación y destrucción

María Cristina Zilio, Gabriela Mariana D'Amico, Facundo

Palacios, María del Carmen Aranda Álvarez y Santiago Báez

Las ciudades romanas de Pompeya, Herculano y otros asentamientos menores desaparecieron de un momento a otro cuando el Vesubio despertó de su largo letargo, en el 79 d.C. Este es un caso emblemático pero en el mundo son numerosas las poblaciones ubicadas al pie de los volcanes, algunas de las cuales desaparecieron de un momento a otro como consecuencia de su furia. Si estas áreas son peligrosas ¿Por qué la gente las elige para vivir? ¿Qué recursos encuentran? ¿A qué distancia desaparece el peligro? Como paradoja volcánica, a la muerte y destrucción presentes en muchas erupciones se suman la fertilidad de los suelos y/o la riqueza minera, así como las aguas termales y el paisaje que actúan como un imán económico y social muy poderoso. Al respecto, Blaikie *et al.* (1996, p. 183) comentan que suele decirse que “la población que vive en zonas de alto riesgo son jugadores por naturaleza, que asumen grandes riesgos para lograr beneficios inciertos”.

En este capítulo⁸⁹, con una mirada desde la Teoría Social del Riesgo (TSR), se pretende identificar las razones de esa elección y establecer los riesgos a los que está expuesta la población. Dada la riqueza informativa, se toma como caso especial el estudio del Vesubio.

No hay dos volcanes ni dos erupciones iguales

Unos 3600 años atrás, la isla volcánica griega de **Santorini** entró violentamente en erupción y desapareció la mayor parte del territorio, sepultando a la civilización minoica. El evento puede haber dado origen al mito de la Atlántida, escrito por Platón, y a “las siete plagas de Egipto”, relatadas en la Biblia (Sánchez Crespo, 2015, p.157).

En tiempos históricos, la mayor erupción explosiva la registró el volcán **Tambora** (Indonesia), en 1815. Perdió unos 1500 metros de altura y provocó más de 60 000 víctimas. A estos efectos locales se sumó “el año sin verano” ya que las cenizas suspendidas en la estratosfera hicieron

⁸⁹ Basado en el artículo *Vivir al pie de los volcanes o el incierto encanto de habitar zonas peligrosas. Una aproximación desde la Teoría Social del Riesgo* (Zilio *et al.*, 2018).

descender las temperaturas estivales de 1816 en el hemisferio norte (Tarbuck y Lutgens, 2005, p. 168). Las hambrunas desencadenadas produjeron más víctimas que la erupción en sí misma. Anecdóticamente, en ese verano excepcionalmente frío y lluvioso, Lord Byron, cansado de estar encerrado en el interior de su casa, propuso a sus invitados escribir un relato de terror. Así nace el esbozo de la historia de *Frankenstein*, escrito por Mary Shelley (Sánchez Crespo, 2015, p.155).

La erupción del **Krakatoa** (Indonesia), en 1883, que destruyó casi por completo su edificio volcánico, hizo desaparecer dos tercios de la isla aunque no registró víctimas por estar deshabitada. Las 36 000 muertes son producto de tsunamis en el océano Indico, con olas que alcanzaron los 35 metros de altura. La onda llegó a registrarse en Londres (Reino Unido) y San Francisco (Estados Unidos). Las cenizas suspendidas alteraron el clima del planeta durante tres años. La violenta explosión, con un índice de explosividad volcánica 6, nunca antes percibida por los seres humanos, fue escuchada a 4800 km de distancia (Pardo *et al.*, 2011, p. 158; Tarbuck y Lutgens, 2005, p. 153). Las inusuales puestas de sol que se registraron durante un año podrían haber inspirado la pintura “El Grito”, de Edvard Munch en 1892, según la hipótesis de un astrónomo noruego (El País, 2003). En el espacio que dejó el Krakatoa está creciendo su “hijo”, el activo Anak Krakatoa.

En 1902, como la boca eruptiva del **Monte Pelée** (Martinica) estaba obstruida por un tapón de lava semisolidificada, se produjo un flujo piroclástico que provocó la muerte de 30 000 personas en cuestión de minutos. Este flujo de ceniza ardiente, vapor y otros gases calientes descendió, a gran velocidad, por la ladera y la ciudad de *Saint Pierre*. Los relatos populares mencionan sólo dos sobrevivientes, un prisionero y un zapatero (Keller y Blodgett, 2007, p. 87).

Más cercano en el tiempo y en el espacio, el **Quizapu** entró en erupción en 1932. Fue en Chile, casi en el límite con Mendoza, pero la ciudad de La Plata, que quedó cubierta por un manto de casi 1 mm de espesor, habría recibido más de tres toneladas de cenizas muy finas, según cálculos del Observatorio Astronómico local (Cortezzi y Ribot, 1982, p. 32). Ya quedan muy pocas personas que recuerden el hecho pero contaban que sus maestras les pedían que juntaran cenizas de los techos para limpiar los pupitres⁹⁰. Ellos hablaban de las cenizas del “Descabezado”. El vulcanólogo platense Eduardo Llambías (2009, p. 67) explica que el Descabezado del Maule es un conjunto de volcanes chilenos. Los geólogos que llegaron hasta ahí no pudieron identificar cuál de estos había sido. Señalando a un volcán, le preguntaron a los baqueanos si era ese. De la respuesta “Quizá, pues”, nació su nombre, “Quizapu”.

¿Qué tienen en común estos procesos volcánicos? ¿Qué diferencias hay? Hablar de elementos en común nos lleva a preguntarnos qué es un volcán. Hablar de diferencias, nos lleva a identificar las formas volcánicas, los tipos de erupción y los materiales involucrados.

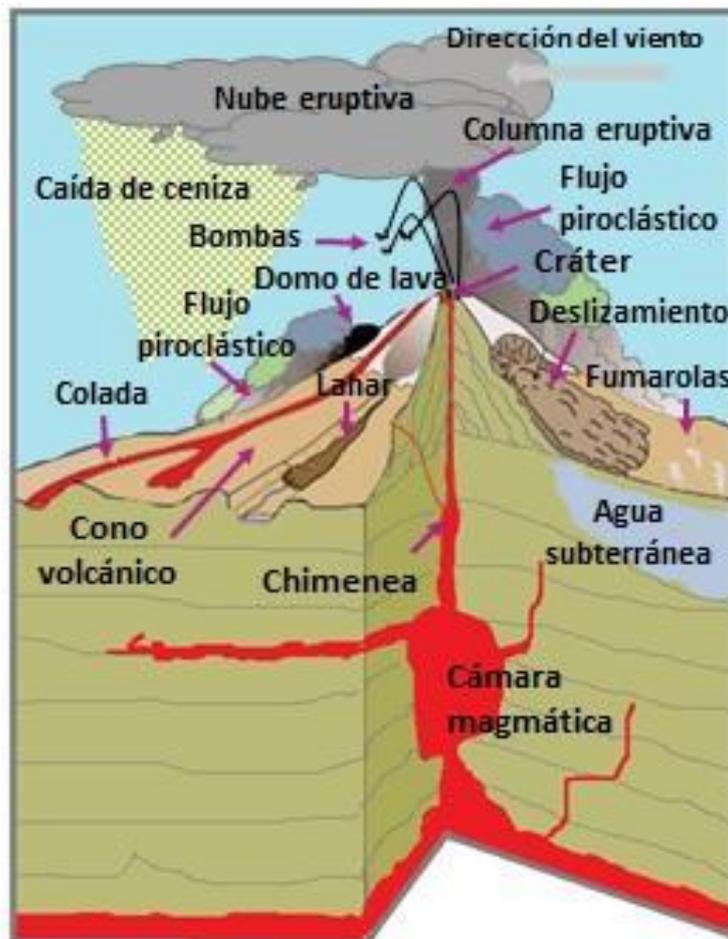
¿Qué es un **volcán**? En general lo asociamos con un relieve positivo de forma cónica, sin embargo el concepto es más complejo. Básicamente, es una acumulación de material magmático

⁹⁰ (T. Zilio, comunicación personal, s.f.).

que, de manera explosiva o efusiva, ha erupcionado –es decir, ha salido a la superficie- a través de un punto o una fisura. Es el resultado de la poderosa energía que existe en las profundidades de la Tierra y que es liberada en forma violenta y espasmódica durante las erupciones.

Recordemos que, básicamente, el interior terrestre está formado por tres capas concéntricas (núcleo, manto y corteza) y existe un importante gradiente térmico entre el núcleo y la superficie. La corteza y la parte más superficial del manto constituyen la litósfera, la envoltura rígida donde se desarrollan los procesos geológicos y la vida. Tiene un espesor de unos 80 km bajo los fondos oceánicos y unos 110 km bajo los continentes. El límite inferior de la litósfera está dado por los 1280°C, temperatura a la que empiezan a aparecer los primeros fundidos del manto. Más abajo, en la astenósfera, las rocas no son rígidas. Allí el **magma** (roca fundida) se encuentra en forma intersticial respecto a los cristales, como una pasta dental explica Llambías (2009, p. 21). Por motivos que no se comprenden bien, este magma intersticial migra y se almacena en grandes reservorios magmáticos y, desde allí, puede llegar a la superficie o almacenarse en **cámaras magmáticas** poco profundas (figura 1).

Figura 1. Estructura volcánica y peligros asociados



Fuente: modificado de USGS (2000, p. 1) por María Cristina Zilio.

El Cinturón de Fuego del Pacífico⁹¹ concentra la mayor actividad volcánica pero, cuando analizamos su distribución mundial, observamos tres tipos de ambientes volcánicos:

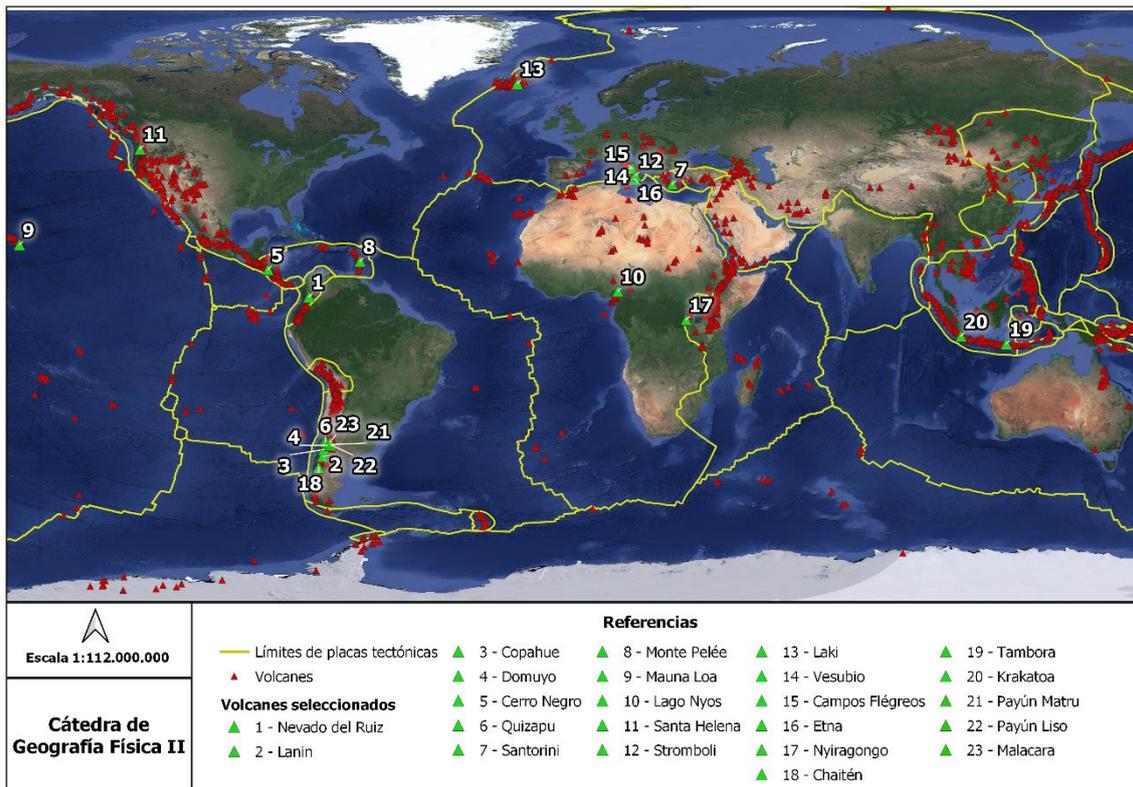
- Las **dorsales oceánicas** (cordilleras volcánicas submarinas), que se forman en los límites divergentes a partir del ascenso de magma basáltico, pobre en sílice, el cual se va agregando lateralmente a las placas. Predominan las erupciones efusivas. Islandia y Azores son áreas emergidas de la cordillera Mesoatlántica.
- Los volcanes **de arco** y **de trasarco** se forman en zonas de convergencia, donde la actividad volcánica es más compleja. Durante el proceso de subducción, la interacción con sedimentos arrastrados desde la superficie produce cambios químicos y termodinámicos que dan origen a diversidad de rocas magmáticas (basalto, andesita, etc.) y a diversidad de erupciones (desde las efusivas a las explosivas). En Sudamérica, los volcanes de arco activos se encuentran alineados con los Andes y son fácilmente reconocibles por su forma y su altura. Al otro lado de la cordillera, hacia el interior, se encuentran los volcanes de trasarco o retroarco. En estos lugares, la litosfera se estira, se agrieta y el espacio generado es rellenado con rapidez por efusión de rocas volcánicas, como ha sucedido en el campo volcánico de Payunia (Mendoza).
- La **pluma caliente** (*hot spot*) tiene su origen en el contacto núcleo-manto. El calor del núcleo forma columnas cilíndricas verticales de rocas de mayor temperatura y menor densidad (“plumas”) que fluyen hacia la superficie. La litósfera se comporta como una lámina de metal atacada por un soplete: disminuye su espesor hasta partirlo y separarlo. El complejo volcánico de Yellowstone (Estados Unidos) y la mayoría de las islas oceánicas, como Galápagos y Hawái, se relacionarían con dichas plumas. Cuando se forman varios puntos calientes alineados y son persistentes en el tiempo, probablemente se rompa la placa y se separe (Llambías, 2001, pp. 20 y 87).

A estas áreas volcánicas, debemos sumar las **zonas de silencio magmático**. Por ejemplo, el sector de la cordillera de los Andes entre los 28 y 33° de latitud Sur carece de registro de actividad volcánica desde hace 18 Ma (Sruoga, 2008, p. 221).

Si bien se desarrolla como caso de estudio al volcán Vesubio (Italia), en este capítulo se ejemplifican, con otros casos, los distintos fenómenos volcánicos. En la figura 2, se observa la ubicación de todos los volcanes mencionados.

⁹¹ Ver Capítulo 5. *Terremotos: similares magnitudes, diferentes consecuencias... ¿Por qué?*

Figura 2. Localización de los volcanes mencionados



Fuente: elaborado por Santiago Báez sobre la base de Google Satellite y capa Volcanes de Global Volcanism Program.

Los volcanes a la luz de la Teoría Social del Riesgo

Peligrosidad

¿Son peligrosos los volcanes? Un volcán es un fenómeno natural. Se transforma en **peligro** o amenaza natural cuando hay una población expuesta, aunque no todos los volcanes tienen la misma peligrosidad. La ubicación en las placas tectónicas, la profundidad del reservorio, la viscosidad del magma y su contenido en gases son algunos de los factores influyentes.

El **magma** es una mezcla de roca fundida, gases y sólidos (cristales). Al tener menor densidad que las rocas sólidas a su alrededor, tiende a abrirse camino a través de la corteza terrestre. Los **gases**, que en profundidad permanecían disueltos en el magma debido a las altas presiones, al acercarse a la superficie se liberan como fase gaseosa independiente (desgasificación); se expanden como burbujas al abrir una botella de gaseosa. El **vapor de agua** y el **dióxido de carbono** (CO₂) suponen más del 90% del total de gases emitidos, a los que se suman monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO₂) y sulfuro de hidrógeno (H₂S). Las concentraciones tóxicas rara vez alcanzan las zonas pobladas. Una trágica excepción tuvo lugar en el lago **Nyos**, ubicado en el cráter de un volcán inactivo (Camerún). Una noche de 1986, casi sin aviso salvo un ruido sordo, el lago liberó una difusa nube de gas denso, principalmente CO₂. Prácticamente inodora, la nube fluyó desde el volcán

hacia los valles, desplazándose en el aire. Se extendió silenciosamente a través de cinco poblaciones y asfixió a casi 2000 personas y muchos animales (Keller y Blodgett, 2007, p. 87).

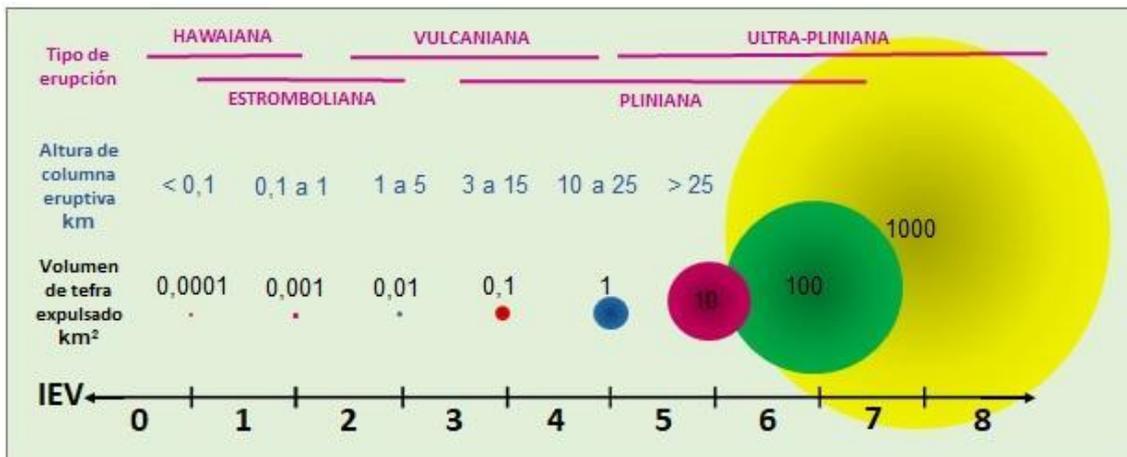
Existen distintos tipos de magmas. Su viscosidad (capacidad de fluir) depende de la temperatura, el contenido de sílice y las proporciones de sólidos (cristales) y gases que contenga. Al llegar a la superficie, la roca fundida tiene temperaturas entre 700° y 1300° C, dependiendo de su composición. Cuando el contenido en sílice (SiO₂) es menor a 50%, el magma es básico, denso y fluido, mientras que cuanto más aumenta el contenido silíceo y gaseoso, los magmas son más viscosos, explosivos y menos densos. Con más de 65% el magma es ácido (OAVV).

Podemos ver en la figura 1, los distintos peligros o amenazas asociados a los volcanes. **Peligros directos:** 1) caída de tefra o ceniza; 2) caída de tefra en trayectoria balística (los fragmentos más grandes de roca, como las bombas, pueden caer a 4 kilómetros del centro de emisión; 3) coladas de lava⁹²; 4) flujos piroclásticos y 5) gases volcánicos. **Peligros indirectos:** terremotos, tsunamis, *lahares*⁹³, avalanchas de detritos, *vog*⁹⁴ y lluvia ácida.

El **índice de explosividad volcánica** (IEV) proporciona una medida relativa de la explosividad de una erupción e identifica las erupciones mediante el volumen de productos expulsados (lava, piroclastos y ceniza volcánica), la altura de la pluma y otros factores del nivel de explosividad (figura 3).

Se trata de una escala abierta que, de 0 a 8, abarca desde las erupciones efusivas a una mega-erupción explosiva, con una columna de cenizas mayor a 25 km de altura. Cada aumento de grado equivale a una explosividad 10 veces mayor (INPRES, s.f., p. 1). No siempre refleja la magnitud del desastre.

Figura 3. Índice de Explosividad Volcánica



Fuente: adaptado de INPRES (s.f., p. 1) por María Cristina Zilio

⁹² La lava es el magma, empobrecido de gases, que ha alcanzado la superficie.

⁹³ *Lahar*: flujo de lodo que se desplaza por las laderas del volcán, asociado a grandes lluvias o deshielo.

⁹⁴ *Vog* ("v" por material volcánico y "og" por niebla -fog en inglés-) es un tipo de niebla tóxica formada por CO₂, vapor y otros gases volcánicos que afecta a varios volcanes, como a los de Hawái. Puede generar lluvia ácida.

En 1985, la erupción del **Nevado del Ruiz** (Colombia) tuvo una pequeña erupción con un IEV 3, pero dejó más de 20 000 muertos, siendo una de las erupciones volcánicas con mayor cantidad de víctimas mortales. El derretimiento de la nieve glacial de su cima (como expresa su nombre) generó un flujo de lodo y escombros (*lahar*), que sepultó a la ciudad de Armero. En 1845, un evento similar había provocado 1000 muertes, pero los depósitos dejados por este suceso produjeron un suelo rico en nutrientes que indujo a la gente a trasladarse allí para establecer granjas. Armero se convirtió en el centro agrícola del valle. Un estudio de riesgos, ignorado por completo, presagiaba un 100% de probabilidad de repetición de un evento similar. El crecimiento demográfico multiplicó por 21 el número de víctimas fatales. A principios de 1986 se estableció un centro de observación de volcanes en ese país.

Los estilos de las erupciones volcánicas se mueven entre dos extremos: la efusividad y la explosividad. Según el tipo de magma, éste puede emerger como una colada de lava que fluye con suavidad o eyectarse de manera explosiva, violenta y caótica. En los grandes volcanes esto ocurre intermitentemente. Los diferentes estilos eruptivos se clasifican entre esas dos formas extremas. Las erupciones efusivas se alimentan de cámaras magmáticas profundas situadas en la astenósfera (80-130 km), mientras que las erupciones explosivas se originan en reservorios ubicados cerca de la superficie (1-8 km). Si estas cámaras no extruyen su contenido, el magma se enfría lentamente y da origen a un **cuerpo intrusivo** o plutónico. Cuando extruyen nunca alcanzan a vaciar todo su contenido por eso debajo de un volcán siempre hay un plutón de igual composición química pero con estructura cristalina. Las rocas volcánicas también pueden contener algunos cristales visibles (Llambías, 2009, p. 37).

En las **erupciones efusivas**, el magma es fluido y contiene pocas burbujas de gas. La lava fluye y forma coladas de variada extensión. Las burbujas pueden crecer libremente porque la baja viscosidad no ofrece resistencia al aumento del tamaño. No estallan y, al enfriarse la lava, se preservan como pequeñas vesículas -escoria- (Llambías, 2009, p. 37). Presentan tres tipos de coladas: 1) **aa** o escoriáceas (fluyen a través de canales abiertos y su superficie es extremadamente rugosa); 2) **de bloques** (flujos masivos de lava que avanzan a paso de hombre) y 3) **pahoehoe** (corren debajo de una costra solidificada debido al enfriamiento de los costados y el techo y la lava que se escurre deja túneles vacíos). Estas últimas, a veces, presentan el aspecto de cuerdas, por eso se la reconoce como lava “cordada”.

Si bien las coladas de lava son las manifestaciones volcánicas menos peligrosas, igualmente pueden generar muerte y destrucción, como ha sucedido en el **Nyiragongo** (República Democrática del Congo). Este estratovolcán, ubicado en el Gran Valle del Rift⁹⁵, posee un profundo cráter con un lago de lava y un pequeño cono activo. En 1977, este lago se vació de repente, cuando la lava escapó por fisuras y provocó un centenar de muertes. Esta conducta la ha repetido en distintas ocasiones. En

⁹⁵ Único sistema de fallas activo a escala continental, podría ser el estadio inicial de una fragmentación continental similar a la que originó al mar Rojo (Báez y Zilio, 2021).

2021, la colada de lava alcanzó los suburbios de la ciudad de Goma, afectando directamente a decenas de miles de habitantes y provocando la muerte de más de 30 personas. A las peligrosidades asociadas al volcán debe sumarse una elevada vulnerabilidad, dado que, con un fuerte crecimiento demográfico, es una región en permanente conflicto -escasez generalizada, guerra civil, cientos de miles de refugiados, presencia de distintas facciones de la guerrilla, comercio ilegal con coltán⁹⁶-. A medida que la lava comienza a enfriarse, el mismo gobierno alienta a la gente a regresar a sus hogares. Las rocas todavía están calientes pero la gente está lista para empezar de nuevo. Cuánto tarda en enfriarse y solidificarse la lava no se puede responder con precisión. Cada volcán tiene un comportamiento único. Depende del tipo de lava, el espesor de la colada y la viscosidad. Pero, entre los factores que determinan la posibilidad de edificar nuevamente se encuentra la urgente necesidad de tierras para rehacer sus hogares -quienes los perdieron por la erupción- o para instalarse - para los cientos de miles de desplazados- (Báez y Zilio, 2021).

En las **erupciones explosivas**, el magma contiene gran cantidad de gases, en parte disueltos y en parte como burbujas. Su presencia determina que haya mayor presión dentro que afuera del reservorio. Esa presión fractura la superficie. La disminución brusca de la presión en la cámara separa los gases disueltos, generando nuevas burbujas e incrementando su tamaño. Por su rápido crecimiento, todas estallan al mismo tiempo y liberan un enorme volumen de energía que levanta hasta varios kilómetros de altura una columna eruptiva. Consecuencia de las explosiones, la lava se fragmenta en pequeñas trizas de vidrio o **cenizas**⁹⁷. La columna eruptiva está integrada por gases muy calientes, cenizas, piedra pómez, trozos de roca de antiguas explosiones y fragmentos de lava – transformada en vidrio y bombas volcánicas-. A cierta altura, la columna pierde la capacidad de ascenso y es arrastrada por los vientos dominantes que desparraman las cenizas (Llambías, 2009, p. 38). Parte de los fragmentos de rocas, como bombas y bloques, adquieren una trayectoria balística parabólica (similar a la de una bala de cañón), para luego caer sobre el terreno.

Las erupciones efusivas dan tiempo suficiente, en general, para la evacuación mientras que las erupciones explosivas son sumamente dañinas. Entre estos dos estilos eruptivos extremos existe una gran diversidad de combinaciones posibles. Los distintos productos volcánicos son el resultado de los diferentes tipos de magmas y las diversas morfologías volcánicas.

Cuando el material magmático es más viscoso no deja salir los gases hasta que una explosión violenta expulsa esta nube de gases junto con fragmentos de magma líquido y trozos de roca: se trata de una **erupción explosiva** o **piroclástica**. Dicha explosividad aumenta cuando el magma entra en contacto con agua superficial o subterránea (**erupción hidromagmática**).

En extremo peligroso es el **flujo piroclástico**. Esta nube ardiente está compuesta por piroclasas y gases y se caracteriza por alta temperatura y velocidad superior a los 100 km/h. Cuando la boca eruptiva está parcialmente obstruida por lava semisolidificada tiene una explosión direccional

⁹⁶ El país produce el 70 % de las reservas mundiales de columbita-tantalita o “coltán”, un mineral del que se deriva el tantalio, imprescindible para la fabricación de cualquier dispositivo electrónico.

⁹⁷ A diferencia de la verdadera ceniza, la ceniza volcánica no es producto de la combustión sino roca pulverizada.

como en la erupción del Monte Pelée, en 1902. En otras ocasiones, la erupción es vertical y cuando esta columna colapsa, cae al suelo y fluye a gran velocidad por las laderas, lo cual recuerda el anillo de las explosiones nucleares (“**surge**” **piroclástico**). En Pompeya, después de la abundante caída de ceniza y piedra pómez, llegó material hidromagmático proveniente de un surge piroclástico. La mayoría de las víctimas perdió la vida en ese momento (Barberi, 1995, p. 50).

No es la lava la que causa los desastres globales. Gases y cenizas inyectados en la atmósfera durante grandes erupciones han sido los responsables de cuatro de las cinco grandes extinciones masivas. La última de éstas, que marcó el fin de la “era de los dinosaurios”, hace 66 Ma⁹⁸, no se debería únicamente al impacto de un meteorito en Yucatán. En las antípodas de México, una gruesa secuencia de coladas basálticas escalonadas -los *traps*-, modeló 500 000 km² de la meseta del **Decán** (India). Para algunos investigadores, el meteorito y la liberación de grandes cantidades de CO₂ a partir de estas erupciones fisurales habrían alterado significativamente el clima del período Cretácico (Tarbuck y Lutgens, 2005, pp. 155 y 276; Pardo *et al.*, 2011, p. 151).

Otros ejemplos, de menor escala a la extinción biológica muestran el impacto de la actividad volcánica en la escala global. Se trata de las tres erupciones más devastadoras de los últimos tiempos: el Tambora y el Krakatoa, ya presentados, y el **Laki**. La erupción de este último volcán, entre 1783 y 1784, provocó miles de víctimas en Islandia y alteró el equilibrio climático en toda Europa durante meses. La erupción de fisura, de unos 100 km de longitud y con unos 130 volcanes activos, emitió lava y nubes tóxicas de ácido fluorhídrico y SO₂. Las consecuencias en el país fueron devastadoras. Entre el 20% y el 25% de la población murió debido a la hambruna y/o al envenenamiento por flúor. Se perdió el 80% de las ovejas y el 50% de las vacas y caballos. La mortandad se extendió por Europa a causa de las enfermedades y el hambre. Conforme la nube tóxica se dispersó, la temperatura aumentó y posteriormente disminuyó, produciendo veranos muy fríos en todo el planeta. Para algunos investigadores habría sido el detonante de la Revolución Francesa (Pardo *et al.*, 2011, p. 158; Sánchez Crespo, 2015, p. 18).

Exposición y vulnerabilidad

Las erupciones volcánicas son como algunas epidemias, afirman Blaikie *et al.* (1996), por cuanto representan un límite al empleo del análisis de la vulnerabilidad. Ponen en peligro

a cualquier persona que viva dentro de la zona de alto riesgo, sea rica o pobre, terrateniente o peón sin tierra, hombre o mujer, viejo o joven, miembro de mayorías o minorías étnicas (...). Los niveles de ingresos, la calidad de la construcción de la casa y el tipo de ocupación, todo parece tener poco peso sobre la capacidad dife-

⁹⁸ Ver cuadro de eras geológicas en Capítulo 2. *El Antropoceno: el precio de la tecnología*.

rencial de la población para resistir el arsenal volcánico de emisiones de gas caliente, impacto de la descarga, flujos de lava, proyectiles, avalanchas volcánicas (lahares) de lodo y el depósito de la ceniza (Blaikie *et al.*, 1996, p. 182),

En las erupciones volcánicas, la exposición varía en función de la peligrosidad. Las erupciones efusivas afectan principalmente a la población expuesta en las laderas del volcán, pero las erupciones explosivas pueden afectar a población que reside en áreas muy distantes. La vulnerabilidad, entendida como la población que presenta las características socio-económicas más deficientes, puede influir en la recuperación de la población posterior a una erupción volcánica. Asimismo, si se tiene un efectivo conocimiento de la peligrosidad de un volcán en donde las erupciones predominantes son efusivas, la población con mayores recursos puede optar por habitar zonas relativamente “seguras”.

Incertidumbre

Si bien los procesos volcánicos son conocidos por la comunidad científica, algunos volcanes se encuentran mejor estudiados y monitoreados que otros. A mayor conocimiento de un volcán, menor es su incertidumbre técnica. Vinculada a ésta, la incertidumbre social es menor cuantas más estrategias de gestión eficientes se desplieguen en un territorio con riesgos volcánicos.

Respecto del estado del conocimiento (tanto científico como de la población), existen numerosos ejemplos de volcanes que no eran considerados activos por el largo período de reposo desde su última erupción. La **predicción** de las erupciones es compleja debido a las características únicas de cada edificio volcánico. Su comportamiento no es homogéneo. Algunos volcanes presentan actividad secundaria (**fumarolas, solfataras, mofetas**, etc.), que sugiere actividad reciente, pero otros estaban “dormidos” y se han reactivado violentamente, situación que los hace más peligrosos porque es difícil elaborar planes de emergencia a corto y mediano plazo. El caso más destacado es la erupción del **Chaitén** (Chile), en 2008, ya que hacía 9000⁹⁹ años que no mostraba actividad (Llambías, 2009, p. 69). En algunos volcanes, el tiempo entre el comienzo de su actividad y el momento culminante es de semanas o meses, como el volcán **Santa Helena** (Estados Unidos) que comenzó a dar señales dos meses antes de la erupción de 1980. La mayor parte de su lado norte explotó, perdiendo 400 m de altura de sus 2900 m s.n.m. La avalancha de escombros, la descarga horizontal, los flujos piroclásticos y los *lahares* devastaron un área de 400 km² (Tarbuck y Lutgens, 2005, p. 136). Un equipo de científicos lo venía estudiando por un abultamiento en el flanco norte, sin embargo, los movimientos sísmicos disminuyeron en los dos días anteriores. El desencadenante fue un terremoto de magnitud media. Al tratarse de un área boscosa protegida, solo fallecieron 59 personas. Los vientos llevaron las cenizas hacia el este. La localidad de Cougar debió ser evacuada. El Observatorio Volcanológico de Cascades (USGS), realiza el monitoreo sísmico y volcánico de la región.

⁹⁹ Un volcán se considera inactivo si no tuvo una erupción en los últimos 10 000 años o no presenta señales medibles de actividad (fumarolas, sismicidad o deformación de la superficie).

Unos volcanes pueden tener erupciones regulares, como el **Stromboli**, en Italia; otros erupcionan con frecuencia y otros, como vimos, tienen períodos de recurrencia muy largos. Otros no avisan y entran en erupción violentamente.

Ahora la población tiene más acceso al conocimiento que incluye una conciencia del riesgo volcánico, aunque para la vulcanología es un reto reducir la probabilidad de una falsa alarma. Tomemos el caso de los **Campos Flégreos**¹⁰⁰, caldera volcánica¹⁰¹ italiana afectada por **bradisismos**. Variaciones en el volumen de una cámara poco profunda provocan que el terreno se eleve o descienda bajo la ciudad de Pozzuoli, en el centro de la caldera. En su puerto, se ven huellas históricas de este proceso, como las columnas del *Serapeum*, un mercado romano. En épocas más recientes hubo tres crisis bradisísmicas, acompañadas de intensa actividad sísmica. Un levantamiento masivo de suelo, que sumó tres metros, acompañado de más de 10 000 temblores en el área obligó, hacia 1983, a evacuar a 40 000 personas debido a la vulnerabilidad sísmica de los viejos edificios del centro histórico. A fines de 1984, todos los fenómenos anómalos se fueron calmando gradualmente (Kilburn *et al.*, 2017, p. 2. En caso de reactivación se espera que unas 200 000 personas deban ser evacuadas antes del comienzo de la erupción. Decidir cuál es el momento preciso para dar la alarma no es simple. Esperando la aparición de todas las señales, puede alcanzar un estadio muy cercano a la erupción y ser demasiado tarde, o, como en los Campos Flégreos, puede volver a atenuarse.

Riesgo volcánico

Como vemos en la figura 4, Tilling y Bailey (1985, modificado en Tilling, 1993, p. 8) han elaborado una pirámide que abarca todos los pasos que se deben seguir en la gestión de riesgo volcánico. En la base del diagrama se encuentra el **estudio geológico** de un área volcánica. Con esa información se deben confeccionar los **mapas de riesgo**: erupción más fuerte, frecuencia de las erupciones, evento máximo esperable, posible dimensión del área afectada, el tipo de fenómenos eruptivos esperados (coladas de lava, flujos piroclásticos, caída de cenizas, flujos de lodo, etc.), acumulaciones de hielo y nieve (potencial peligro de *lahares*). En la cartografía se van a distinguir los peligros cercanos de los más lejanos -que pueden alcanzar los miles de kilómetros, asociados a la emisión y caída de cenizas-. Este último aspecto nos lleva a hablar de la “paradoja de las cenizas”, como menciona Villarosa (2021, 15m02s). Las últimas erupciones que afectaron a nuestro país se originaron en Chile, pero Argentina fue la más afectada debido a la dirección de los vientos predominantes.

¹⁰⁰ Tan solo una decena de kilómetros los separan del volcán Vesubio.

¹⁰¹ Una caldera se forma cuando una gran cantidad de magma extruido en una erupción explosiva genera el desplome de la parte superior del volcán -al quedar la cámara parcialmente vacía-.

Figura 4. Gestión del riesgo volcánico



Fuente: adaptado de la pirámide de Tilling y Bailey (1985, modificado en Tilling, 1993, p. 8) por María Cristina Zilio.

Se requieren acciones de **vigilancia**, **predicción** y **prevención**. Es imposible evitar las destrucciones provocadas por los flujos piroclásticos, pero la sociedad ha demostrado tener capacidad para controlar las coladas lávicas, por ejemplo en el volcán **Etna** (Italia). El monitoreo volcánico ayuda a predecir las erupciones. Algunas de las señales que anuncian el movimiento ascendente del magma son la hinchazón de la superficie, los enjambres de pequeños terremotos y los cambios en la emisión de gases, en la temperatura del agua subterránea y en el campo magnético (Keller y Blodgett, 2007, p. 98).

Esta información debe ser sistematizada y deben protocolizarse las actividades a seguir. Excepto los códigos de color para la aviación, no existe un sistema internacional estandarizado de niveles de **alerta de volcanes** (Global Volcanism Program). Cada país crea sus propios protocolos para las responsabilidades, la comunicación y la colaboración interinstitucionales. En la Argentina, el **Observatorio Argentino de Vigilancia Volcánica** (OAVV), dependiente del SEGEMAR, se encarga del estudio y monitoreo de nuestros volcanes y genera alertas tempranas, dando aviso a las autoridades de Protección Civil y la población, a fin de mitigar el riesgo volcánico. Ha elaborado un semáforo de alerta volcánica que indica los niveles de peligrosidad y el comportamiento de la población.

Paralelamente a la vigilancia, se debe llevar adelante un proceso de **concientización** sobre los peligros que involucra la educación de la población en general, de los medios de comunicación y de los niveles de decisión y políticas públicas.

En la punta de la pirámide se suele observar un quiebre entre los sistemas de generación de información y los sistemas de decisión. En general se actúa en la emergencia y/o contingencia. No se trata de una **gestión de riesgo** sino de crisis. La gestión presenta distintos grados de complejidad que tienen que ver con la interacción de diferentes factores, como problemáticas en la interfaz ciencia-gestión (sistemas de protección civil).

Caso de estudio: Vesubio

Diversas razones influyeron en la selección de este volcán como caso principal: (1) la descripción de la erupción del año 79 d.C. es no sólo la más antigua sino la más famosa, llevada incluso al cine; (2) posee el observatorio vulcanológico más antiguo del mundo, motivo por el cual tiene un mejor seguimiento de su comportamiento; (3) concentra una de las mayores densidades demográficas en terrenos volcánicos y (4) en función de los registros de su comportamiento se considera que se encuentra en un período de inactividad temporal pero que puede tener una erupción explosiva (figura 5).

Figura 5. Volcán Vesubio



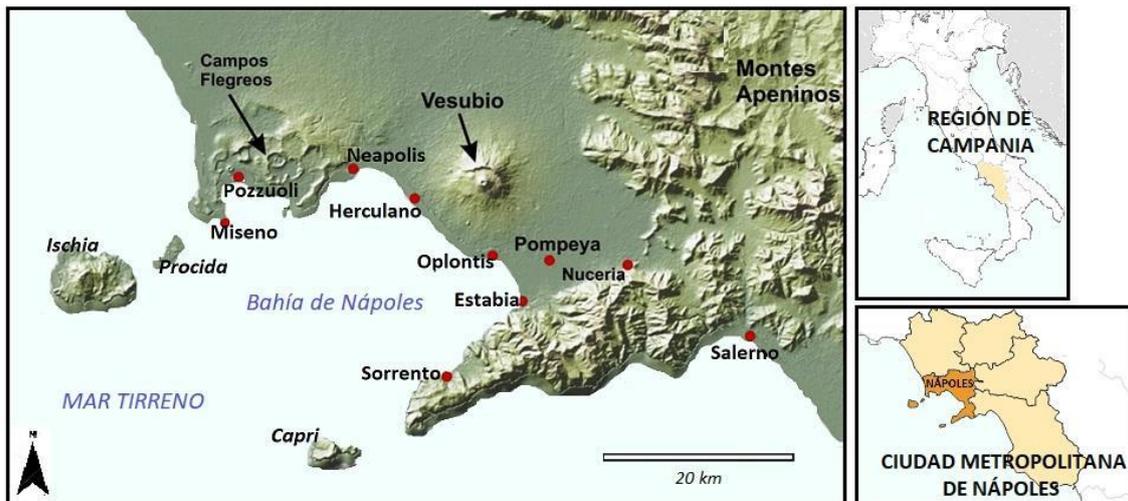
a) Vista desde Sorrento y la bahía o golfo de Nápoles; b) Un túnel volcánico; c) Cráter vesubiano y su actividad fumarólica y d) Vista desde las ruinas de Pompeya (el cráter a la izquierda y la cresta del Monte Somma a la derecha). Fotografías: María Cristina Zilio (2020).

Peligrosidad

El territorio italiano es producto de un complejo comportamiento de las placas tectónicas y esta complejidad se visibiliza en la formación de las cordilleras, elevada sismicidad y numerosos volcanes. Al menos diez de ellos son activos: *Stromboli*, Etna, Vesubio, *Colli Albani*, Campos Flégreos, Ischia, Lipari, Vulcano, Pantellería, Isla Ferdinandea. Si bien sólo los dos primeros tienen erupciones continuas o separadas de períodos cortos de descanso -de meses a algunos años-, todos estos volcanes pueden producir erupciones en un corto o mediano tiempo (INGV).

El 24 de agosto del 79 d.C., la dirección del viento fue la responsable de que Oplontis, Pompeya y Estabia, ciudades situadas en las faldas del **Vesubio**, acabaran sepultadas por hasta tres metros de material volcánico (figura 6). El aire arrastró los gases tóxicos provocando la muerte instantánea de numerosos habitantes. En **Pompeya**, en menos de 24 horas, murieron más de 2000 de sus 20 000 habitantes (Tarbuck y Lutgens, 2005, p. 150). **Herculano**, en cambio, quedó cubierta por la lava incandescente que corrió volcán abajo hacia el oeste. Nola, Sorrento y Neapolis (Nápoles), quedaron gravemente dañadas por los temblores que acompañaron la erupción y que provocaron un pequeño tsunami en la bahía (Castillo, 2017, p. 25).

Figura 6. Ubicación del volcán Vesubio y alrededores



Fuente: adaptado de Soto Bonilla (2014, p. 1) por María Cristina Zilio.

Plinio el Joven, funcionario romano, se encontraba a unos 30 km de distancia y describió los eventos de la erupción. En su honor, este tipo de erupciones se denominan plinianas¹⁰². Para, Soto Bonilla (2014, p. 5), el nombre debería incluir la contribución del tío, **Plinio el Viejo**, quien

¹⁰² Se caracterizan por explosiones que producen columnas eruptivas que pueden elevarse decenas de kilómetros y que pueden afectar áreas ubicadas a cientos y miles de kilómetros del volcán.

murió en el cumplimiento de su deber como almirante de la flota del Tirreno, tratando de salvar vidas. Considera que su labor debería ser reconocida como pionera en la defensa civil.

A partir de 1748, el descubrimiento de huecos que habían contenido restos humanos, en la ceniza solidificada, estimuló la excavación sistemática de Pompeya. En 1863, se comenzó a inyectar yeso líquido en esos vacíos, obteniendo así un calco de los cadáveres. En la actualidad se utilizan resinas sintéticas que permiten recoger mayor número de detalles (Castillo, 2017, p. 26). Las figuras resultantes muestran los últimos momentos de la vida de los pompeyanos. Un estudio multidisciplinar (Mastrolorenzo *et al.*, 2010, p. 1) ha determinado que las víctimas no sufrieron una larga agonía, sino que perdieron la vida al instante por exposición a temperaturas al menos de 250°C, en Pompeya, y 500°C, en Herculano. Teniendo en cuenta la altura de la columna piroclástica, que se habría elevado unos 30 kilómetros de altura, y la velocidad de la nube que provocó su derrumbe, se determinó que el tiempo de tránsito de esta nube tóxica sobre Pompeya fue de poco más de un minuto. Los moldes de los cuerpos presentan “espasmo cadavérico”, una postura adoptada únicamente cuando la muerte es instantánea (Mastrolorenzo *et al.*, 2010, p. 6).

Si bien el evento del año 79 d.C. es el más famoso, no es la única erupción vesubiana. Para comprender su evolución debemos tener en cuenta que es un estratovolcán y, a simple vista, su perfil presenta una doble cima ya que está compuesto por el antiguo **volcán Somma**, transformado en caldera, y el Vesubio, crecido en su interior. Se calcula que hace 19 000 años se terminó de formar el primer volcán, del que hoy solo queda una cresta asimétrica conocida como Monte Somma. El Vesubio mide 1281 m s.n.m y posee un cráter de 500 m de diámetro y unos 300 m de profundidad (Orsi *et al.*, 2001, pp. 7 y 9). En su compleja historia, que supera los 300 000 años, alternan períodos de actividad eruptiva, durante los cuales el conducto del volcán está abierto, y períodos de inactividad, en los cuales el conducto está obstruido. Durante los primeros, se suceden intervalos cortos de erupciones efusivas y explosivas de baja energía que se producen cuando el magma, que va llenando el conducto, alcanza el cráter. Luego, el conducto se obstruye y el material se acumula en una cámara magmática. En general, terminan con una erupción explosiva que es tanto más violenta cuanto más largo es el período de quietud que lo precedió (Orsi *et al.*, 2001, p. 13). Sufrió siete erupciones plinianas (INGV), con IEV 5 o 6. La erupción de 1944, "terminal", de naturaleza mixta (explosiva y efusiva), marcó el paso del volcán a un estado de actividad de conducto obstruido (INGV). Desde esa fecha, las señales se han restringido a actividad fumarólica, principalmente dentro del cráter, y terremotos pequeños. Su comportamiento anterior y su estado actual sugieren que puede reanudar su actividad eruptiva y que puede ser explosiva. En síntesis, el Vesubio es peligroso (Orsi *et al.*, 2001, p. 13).

Exposición

Su cráter se encuentra a unos 15 km del centro de Nápoles. Con 940 940 habitantes y una densidad de 7911 hab/km², es la comuna más poblada de la Ciudad Metropolitana de Nápoles (CMN), que suma más de tres millones de habitantes (Tuttitalia, 2021). La intensa urbanización

sobre sus laderas ha aumentado dramáticamente el riesgo volcánico. Debido al carácter urbano de la CMN, predominan las actividades industriales, los servicios y el comercio. La fertilidad del suelo permite el desarrollo de los viñedos que, sobre las laderas del Vesubio, crecen en terrazas. Se destaca la producción del *Lacryma Christi*, famoso vino de la región.

Vulnerabilidad

Italia presenta valores altos tanto en el Índice de Desarrollo Humano (IDH) como en el IDH ajustado por desigualdad, siendo de 0,887 y 0,784 respectivamente, sin embargo, su desarrollo no es homogéneo en todo el territorio. Un periódico económico determina anualmente la calidad de vida de las ciudades italianas. De un total de 107 lugares, la ciudad de Nápoles, en 2020, se ha ubicado en el 92°. Este lugar resulta del promedio de diversas variables que, observadas por separado, descienden en su posición: números de enfermeros por habitante (100°), tasa de ocupación (105°), empresas en quiebra (106°), denuncia de extorsiones cada mil habitantes (103°), índice de riesgo climático (100°), jóvenes que no trabajan ni estudian (99°) y espacio habitable en metros cuadrados por componentes de familia (107°). La elevada densidad, la falta de servicios, la inseguridad, el crimen organizado son algunos de sus mayores problemas (*// Sole 24 Ore*, 2020).

El plano urbano es irregular, adaptado al relieve, a la línea de costa y a la presencia de construcciones antiguas. Muchas calles estrechas recuerdan que “Neapolis” fue una colonia griega. El tráfico es complejo, con atascos y caos circulatorio. No se respetan las reglas de tránsito. Nápoles es una ciudad violenta debido a la Camorra, su criminalidad organizada. La mafia napolitana se asocia tanto a asesinatos como a comercios legales (construcción, recolección de residuos, entre otros) e ilegales -contrabando y droga- (González, 2006).

Incertidumbre

La actividad histórica del Vesubio está bien documentada ya que posee el observatorio más antiguo del mundo (1848). Esta reconocida institución realiza un monitoreo continuo sobre la sismicidad, deformación del suelo y emisiones de gases del volcán. Ha reconstruido la evolución morfológica del volcán a partir de fuentes históricas e iconográficas sobre su actividad en los últimos siglos (INGV, s/f).

Se estima que podría registrarse una erupción subpliniana similar a la de 1631, en el corto a mediano plazo. Si bien la erupción real podría ser más modesta, se ha tomado como base para formular un plan de emergencia (Orsi *et al.*, 2001, p. 30). Como dice Barberi (1995) “se puede estimar con buena aproximación una erupción del Vesubio en los próximos 20 años, pero no podemos establecer con certeza si habrá o no erupción del Vesubio en este período

de tiempo” (p. 52). Han pasado 27 años desde esa afirmación y no registró mayor actividad de la normal.

Para el plan de evacuación actual se calcula una duración superior a 20 días tras el preaviso de erupción. Hacia la década de 1990, escribía Barberi (1995, p. 52), en caso de una erupción, se necesitaban tres semanas para realizar una evacuación ordenada de los 600 000 habitantes del área -ahora el número de habitantes se ha multiplicado por cinco-.

Riesgo

La peligrosidad de la CMN es alta. Además del Vesubio, incluye otros dos volcanes activos y peligrosos (Campos Flégreos e Ischia), que también pueden dar erupciones explosivas. La exposición y la vulnerabilidad son elevadas por concentrar más de tres millones de personas, con alta densidad de población, dominio de la mafia, trazado complejo y tráfico caótico. Cada uno de estos elementos restringe una rápida evacuación potencial. Si bien posee el *Osservatorio Vesuviano* y la gente tiene conciencia del peligro, hay incertidumbre sobre el comportamiento volcánico ya que es imposible predecir antes de la erupción, con el conocimiento actual, su dinámica eruptiva y la cantidad de magma emitida. El análisis de estas cuatro dimensiones nos lleva a considerar al Vesubio y sus alrededores como una de las áreas con mayor riesgo volcánico del mundo.

El incierto encanto de habitar zonas peligrosas

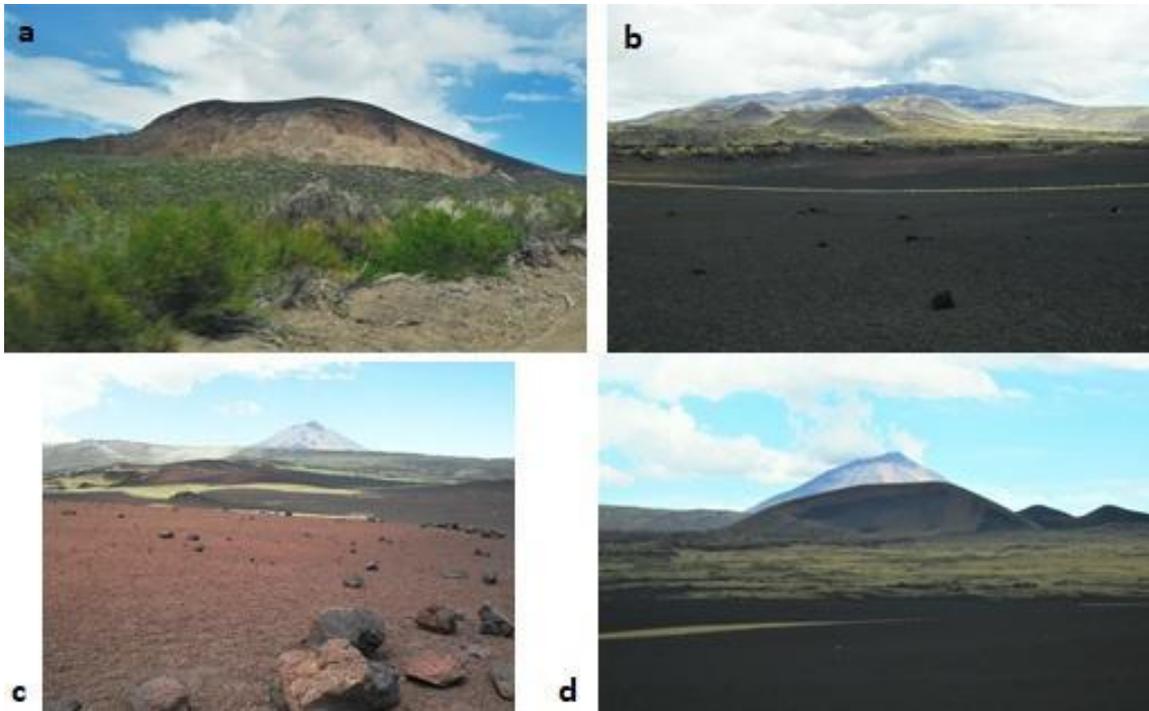
Si bien son innumerables los riesgos volcánicos, también lo son los efectos benéficos de sus productos. No es accidental que la densidad de población sea alta cerca de los volcanes. En el mundo, solo el 1% de los suelos está formado por cenizas volcánicas pero albergan el 10% de la población mundial (*Global Volcanism Program*). La meteorización de estas cenizas fertiliza los suelos que sustentan cultivos como los arrozales (Indonesia, Filipinas y Japón), la caña de azúcar (América Central) y los viñedos (Italia). Las abundantes cenizas de la erupción del **Cerro Negro** (Nicaragua, 1992) auguraban una crisis agrícola, sin embargo, a los diez meses se lograron buenas cosechas de los fértiles suelos entremezclados con cenizas volcánicas (Blaikie *et al.*, 1996, p. 183). Los volcanes generan productos minerales, tanto durante la erupción (piedra pómez y escoria), como a partir de fenómenos post volcánicos (azufre y otros minerales), utilizados en industria y construcción. Los reservorios de vapor o agua caliente en campos geotérmicos se han aprovechado tanto para calefaccionar como para generar electricidad. Los mayores productores, en 2000, fueron: Estados Unidos, Filipinas, Italia, México, Indonesia, Japón, Nueva Zelanda, Islandia, Costa Rica y El Salvador (Tarbuck y Lutgens, 2005, p. 608). El uso médico y recreativo de las fuentes termales también se ha reconocido en todo el mundo por miles de años, por ejemplo, las Termas de **Copahue**, Neuquén. Los volcanes

también son un atractivo turístico, con gran beneficio económico para las comunidades locales, como el ascenso hasta la cima volcánica -**Lanín**, Neuquén-; la visita a géiseres - **Domuyo**, Neuquén- o a la **Payunia**, “meca de los vulcanólogos”.

¿Sabías que la Payunia es un laboratorio volcánico a cielo abierto?

La reserva provincial de Payunia (Mendoza) se ha presentado como candidata a Patrimonio Mundial (figura 7). Claro ejemplo de vulcanismo de trasarco, presenta diversidad de expresiones volcánicas. La homogeneidad de colores negruzcos y rojizos es solo interrumpida por la presencia escasa de coirones amarillentos, única cubierta vegetal. Es uno de los diez campos volcánicos más importantes del planeta y posee ejemplos de todos los tipos de erupciones, todos los tipos de volcanes y todas las formas volcánicas que puedan existir. Presenta 1) **conos** formados en distintas erupciones (poligenéticos), como la caldera volcánica del **Payún Matrú** (3715 m s.n.m) y el **Payún Liso** (3680 m s.n.m), con su cima truncada; 2) la erupción hidromagmática del volcán **Malacara** (1876 m s.n.m) y 3) alrededor de 800 conos formados por un solo evento eruptivo (monogenéticos), muchos de los cuales son “aportillados”, semejantes a una herradura. Sobre extensos campos de lapilli (fragmentos sólidos de entre 2 y 64 mm), abundan lavas aa, *pahoehoe* y de bloques, tubos de lava y fisuras expuestas.

Figura 7. Campo volcánico de la Payunia



Payunia y alrededores. a) Volcán Malacara; b) campo de lapillis y, de fondo, la caldera del Payún Matrú y conos adventicios; c) campos de lapillis oxidados y, de fondo, el Payún Liso; d) campo de lapillis, coirones, un cono aportillado y la cima truncada del Payún Liso. Fotografías: María Cristina Zilio (2012).

¿Sabías que Misiones y Corrientes son territorios volcánicos?

Durante el pasado geológico, grandes sectores continentales fueron cubiertos por lavas basálticas muy fluidas, extruidas por fisuras. En períodos geológicamente cortos (cerca de un millón de años), coladas sucesivas, algunas de hasta 50 metros de espesor, enterraron el relieve previo. Estos mantos -conocidos como *plateau* basálticos, provincias ígneas gigantes o basaltos de inundación- estarían asociados a la presencia de una pluma caliente con una cabeza de tamaño considerable (Tarbuck y Lutgens, 2005, pp. 155-156 y 167).

El nacimiento del Atlántico estuvo precedido, hace unos 130 Ma, por la irrupción de estos basaltos. Cuando el océano comenzó a formarse, este gigantesco *plateau* basáltico dio origen a las provincias basálticas de Paraná, en Sudamérica, y de *Etendeka*, en África (Tarbuck y Lutgens, 2005, pp. 383-384). En nuestro país, tiene más de 1 000 000 km² de superficie, casi 2000 metros de profundidad, y se visibiliza en Misiones y gran parte de Corrientes. Estos mantos lávicos cubren gran parte de los estratos arenosos que contienen al Sistema Acuífero Guaraní. Otros fenómenos asociados son la formación de saltos –Cataratas del Iguazú, Saltos del Moconá-; la “tierra colorada” -suelo originado en la meteorización del basalto, rico en hierro- y la formación de geodas, como las amatistas –variedad de cuarzo-.

¿Sabías que es un *maar*?

Un *maar* es un amplio cráter volcánico de bajo relieve formado por erupciones explosivas – generalmente hidromagmáticas- poco profundas. Estos cráteres suelen llenarse de agua (USGS, 2022). Como ejemplo encontramos al lago Albano¹⁰³, a unos 20 km de Roma. Este se encuentra en el complejo Montes Albanos (*Colli Albani*, en italiano), un gran estratovolcán con una caldera pleistocénica de 10 km de diámetro. Las erupciones posteriores enterraron parcialmente a la caldera. El mayor de estos cráteres posteriores es el lago Albano, un *maar* compuesto de 2,5 por 4 km construido en múltiples etapas. Son inciertas las erupciones históricas informadas durante el período romano, pero se han registrado enjambres sísmicos que duraron hasta dos años (Global Volcanism Program).

Lo interesante de este lago de cráter, el más profundo de Europa (167,5 m), es que debido a los repetidos desbordamientos catastróficos¹⁰⁴ desde el borde del mar, se desarrolla una de las primeras obras de mitigación de riesgo. Los antiguos romanos excavaron, en 394 a. C. un túnel de drenaje para mantener el nivel del lago a una altura segura de 70 m por debajo del borde del cráter (De Benedetti *et al.*, 2008, pp. 387 y 404).

¹⁰³ Famoso porque en su orilla se encuentra el Palacio Pontificio de Castel Gandolfo, residencia veraniega de los papas.

¹⁰⁴ El último desbordamiento catastrófico se describe como “consecuencia de la ira de Poseidón contra los romanos, en el 398 a. C., por su guerra contra los etruscos” (De Benedetti *et al.*, 2008, p. 387).

Preguntas para reflexionar

- Vivir en la ladera de un volcán ¿es peligroso *per se*?
- Al pensar en riesgo volcánico, debemos referirnos a un espectro muy amplio ¿Podrías pensar en dos ejemplos completamente diferentes?
- ¿Qué factores influyen en la peligrosidad de un volcán? ¿Cuáles son los mayores peligros? Si aumenta el índice de explosividad, ¿aumenta el peligro? ¿Por qué?
- Si bien la exposición y vulnerabilidad están íntimamente relacionadas con la distancia, ¿desaparece el riesgo estando lo suficientemente distantes de un volcán? ¿Qué acciones deberían tomarse para reducir el riesgo volcánico?
- ¿Por qué se habla de destrucción y creación al hacer referencia a los volcanes?

Referencias

- Báez, S. y Zilio, C. (noviembre, 2021). Edificar sobre la lava caliente. Peligrosidades y vulnerabilidades asociadas a las erupciones del volcán Nyiragongo y la ciudad de Goma (RDC), República Democrática del Congo. E-ICES 16. ICES – UNCUYO – CNEA – UTN – Ag. Recuperado de <https://icesuncuyo.wixsite.com/e-ices16/p%C3%B3sters-galeria-1>
- Barberi, F. (1995). Mitigación de riesgos volcánicos. En Instituto Tecnológico Geominero de España. *Reducción de riesgos geológicos en España* (49-54). Madrid: Tiasa Gráfica.
- Blaikie, P., Cannon, T., Davis, I. y Wisner, B. (1996). *Vulnerabilidad. El entorno social, político y económico de los desastres*. Bogotá: La Red.
- Castillo, E. (2017). Pompeya. Barcelona: Serie Arqueología.
- Cortezzi, C. y Ribot, A (1982). Registro histórico de caída de cenizas volcánicas en La Plata. En: Laboratorio de Investigaciones del Territorio y el Ambiente. Municipalidad de La Plata. La Plata: de la ciudad antigua a la ciudad nueva. Sueños y realidades. La Plata: Municipalidad de La Plata.
- El País (11 de diciembre de 2003). El cielo de 'El Grito' de Munch es 'realista'. Recuperado de https://elpais.com/cultura/2003/12/11/actualidad/1071097201_850215.html
- Global Volcanism Program. *Smithsonian Institution*. Sitio web oficial. Recuperado el 4 de agosto de 2021 de <https://volcano.si.edu/>
- De Benedetti, A., Funciello, R., Giordano, G., Diano, G., Caprilli, E. y Paterne, M. (octubre de 2008). Vulcanología, historia y mitos del lago Albano maar (volcán Colli Albani, Italia). *Revista de Vulcanología e Investigación Geotérmica* 176(3):387-406. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/223208765_Volcanology_history_and_myths_of_the_Lake_Albanomaar_Colli_Albanivolcano_Italy
- González, E. (3 de noviembre de 2006). La Camorra se hace con Nápoles. Reportaje. El País. Recuperado de https://elpais.com/diario/2006/11/03/internacional/1162508401_850215.html

- Il Sole 24 ore (2021) *Le province più vivibili d'italia. Qualità della vita 2020*. Recuperado de <https://lab24.ilsole24ore.com/qualita-della-vita/>
- INGV. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanología. Sezione di Napoli - Osservatorio Vesuviano. Sitio Web Oficial. Recuperado el 20 de abril de 2021 de <https://www.ingv.it/it/>
- INPRES (s.f.). Índice de explosividad de un volcán, 1-4. Recuperado de <http://contenidos.inpres.gob.ar/docs/%C3%8DNDICE%20DE%20EXPLOSIVIDAD%20UN%20VOLC%C3%81N.pdf>
- Kilburn, C., De Natale, G. y Carlino, S. (15 de mayo de 2017). Progressive approach to eruption at Campi Flegrei caldera in southern Italy. *Nat Commun* **8**, 1-8. Recuperado de <https://www.nature.com/articles/ncomms15312>
- Keller, E. y Blodgett, R. (2007). *Riesgos Naturales. Procesos de la Tierra como riesgos, desastres y catástrofes*. Madrid: Pearson Prentice Hall.
- Llambías, E. (2001). Geología de los cuerpos ígneos. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. Universidad Nacional de Tucumán. Instituto Superior de Correlación Geológica (INSUGEO), pp. 7-10, 88-93 Y 95-99.
- Llambías, E. (2009). *Volcanes. Nacimiento, estructura, dinámica*. Buenos Aires: Vazquez Mazzini Ediciones.
- Mastrolorenzo, G., Petrone, P., Pappalardo, L. y Guarino, F. (junio, 2010). Lethal Thermal Impact at Periphery of Pyroclastic Surges: Evidences at Pompeii. *Revista científica Plos One*. 5 (6), 1-12. Recuperado de <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0011127>
- OAVV. Observatorio Argentino de Vigilancia Volcánica. *Sitio Web Oficial de SEGEMAR*. Recuperado el 22 de abril de 2021 de <https://oavv.segemar.gob.ar/>
- Orsi, G., Cuna, L., De Astis, G., de Vita, S., Di Vito, M.A., Isaia, R., Nave, R., Pappalardo, L., Piochi, M., Postiglione, C., Sansivero, F. (2001). I vulcani napoletani: pericolosità e rischio. *Osservatorio Vesuviano*. Recuperado de: https://www.ov.ingv.it/ov/doc/vulcani_napoletani_HQ.pdf
- Pardo, A., Keller, G. y Adatte, T. (2011). De México a India: en busca de las causas del ocaso de los dinosaurios. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 2011 (19.2), 148-160. Recuperado de: <https://www.researchgate.net/publication/280298299>
- Sánchez Crespo, A. (2015). *El general que se alió con las arañas*. Madrid: Guadarramistas Historia. 1-282.
- Soto Bonilla, G.J. (2014). Los Plinius, el Vesubio, Pompeya y el Imperio Romano de la segunda mitad del siglo I. Universidad Latina Campus Heredia (Tesis doctoral). Costa Rica. Recuperado de: <https://www.researchgate.net/publication/281359457>
- Sruoga, Patricia (2008). Volcán Maipo ¿Una amenaza latente? En CSIGA (Ed.). *Sitios de Interés Geológico de la República Argentina* (215-227). 46(I) Buenos Aires: SEGEMAR.
- Tarback, E. J. y Lutgens, F. 2005. *Ciencias de la Tierra. Una Introducción a la Geología*. Madrid: Pearson Educación S. A.

- Tilling, R. (1993). Apuntes para un Curso Breve sobre Peligros Volcánicos. Organización Mundial de Observatorios Vulcanológicos. 2-3 de julio de 1989. Santa Fe. Estados Unidos. p. 8 Recuperado de <http://cidbimena.desastres.hn/docum/crid/Volcanes/pdf/spa/doc4482/doc4482-contenido.pdf>
- Tuttitalia (1 de enero de 2021). Comuni nella città metr. di Napoli per popolazione. En *Guida ai Comuni, alle Province ed alle Regioni d'Italia*. Recuperado de <https://www.tuttitalia.it/campagna/provincia-di-napoli/73-comuni/popolazione/>
- USGS (octubre, 2000). ¿Cuáles son las amenazas o peligros volcánicos? USGS Fact Sheet 144-00. Recuperado de <https://pubs.usgs.gov/fs/fs144-00/fs144-00.pdf>
- USGS (2022). Maar. Recuperado de <https://volcanoes.usgs.gov/vsc/glossary/maar.html> el 3/6/2022.
- Villarosa, G. (4 de junio de 2021). La erupción del Cordón Caulle del 4 de junio de 2011: aportes científicos a problemas de gestión. En: *GEA-IPATEC. Cómo integramos la ciencia a la gestión del riesgo desde la perspectiva geoambiental. Grupo de Estudios Ambientales del Instituto IPATEC (Conicet-UNCo)*. Ciclo de charlas. 1º Encuentro. Recuperado de https://www.youtube.com/watch?v=C2ITMSHLG-8&ab_channel=Comunicaci%C3%B3nUNCoBariloche
- Zilio, M., D'Amico, G., Palacios, F. y Aranda Álvarez M. (2018). Vivir al pie de los volcanes o el incierto encanto de habitar zonas peligrosas. Una aproximación desde la Teoría Social del Riesgo. VII Congreso Nacional de Geografía de Universidades Públicas y XXI Jornadas de Geografía de la UNLP. Recuperado de <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/110357>