

Los campos volcánicos basálticos: rompiendo con los estereotipos de los volcanes

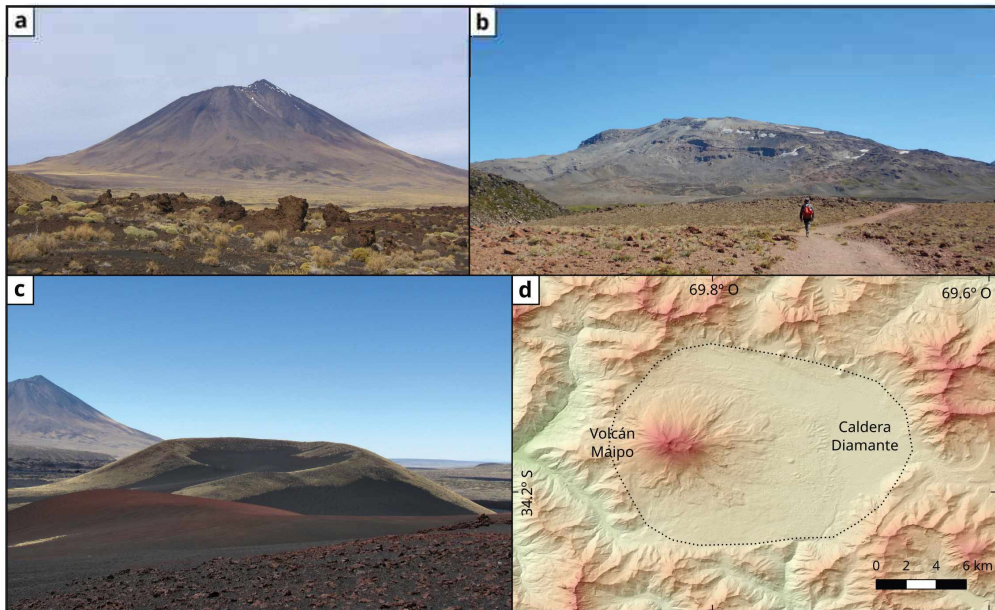


Irene R. Hernando
Gerardo N. Páez

El imaginario popular nos presenta a los volcanes como montañas con formas cónicas casi perfectas, pero... ¿Son realmente todos los volcanes así? Exploraremos algunas de las geoformas más comunes de la Tierra y que se alejan del estereotipo de volcán: los campos volcánicos monogenéticos basálticos.

El aspecto y tamaño de los volcanes es tan variado, que muchas veces son hasta difíciles de reconocer a simple vista. Es así que se distinguen a grandes rasgos los llamados volcanes **poligenéticos** y **monogenéticos**. Los **volcanes poligenéticos** son grandes edificios construidos a lo largo de miles a cientos de miles de años, a través de numerosos eventos eruptivos (Figs. 1a, b). Al contrario, los **volcanes monogenéticos** son formados durante un solo evento eruptivo, que puede durar desde pocas semanas hasta algunos años, e inclusive algunas décadas (Fig. 1c), y son generalmente de un tamaño relativamente pequeño.

Pero si existe tanta variación en las formas volcánicas, entonces... ¿Qué es un volcán? Podríamos decir simplemente que un volcán es el sitio en la superficie terrestre en donde se emiten los productos volcánicos, los cuales abarcan desde lavas (el magma o la roca fundida que



1. Diferentes formas volcánicas. **a.** El estratovolcán Payún Liso, Mendoza, con un clásico aspecto de cono. **b.** Volcán Copahue, Neuquén, similar a un escudo. **c.** Cono de escoria monogenético de poca altura, Mendoza. **d.** Modelo digital del terreno mostrando el aspecto de la Caldera del Diamante, Mendoza, junto al estratovolcán Maipo en su interior.

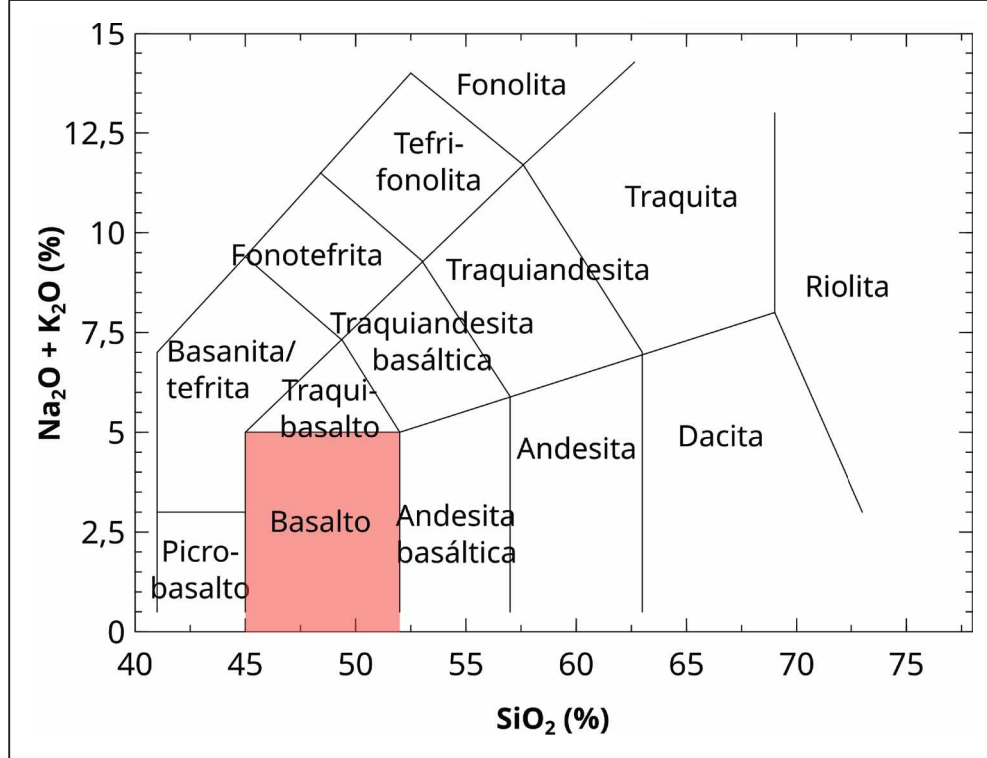
se extruye o sale hacia la superficie), a los piroclastos (que representan al magma “roto” o fragmentado durante una erupción explosiva), y diversos gases volcánicos (como vapor, etc.). Cuando los productos volcánicos de diferentes ciclos eruptivos se emiten en la superficie a través de un mismo conducto, o de diferentes conductos, pero relativamente cercanos entre sí, el material volcánico se va “apilando” y se forman los grandes volcanes poligenéticos (Figs. 1a, b). Incluso, en algunos casos el edificio volcánico puede no formar un relieve “positivo” (sobresaliente) sino que se forma una depresión que puede tener hasta decenas de kilómetros de ancho (los volcanes denominados “calderas”, Fig. 1d), lo que muestra lo variado que puede ser el aspecto de los volcanes.

Pero no siempre sucede que el magma se emite a través de un mismo conducto o conductos cercanos. En estos casos, el resultado es completamente diferente ya que se forma lo que se denomina un **campo volcánico**. Los campos volcánicos presentan numerosos centros volcánicos distribuidos en un área mayor, los que en su conjunto fueron formados en un intervalo de tiempo de hasta algunos millones de años (ver más abajo). Pero el esquema puede ser más complicado aún, ya que es común que convivan grandes

volcanes poligenéticos junto con numerosos volcanes más pequeños monogenéticos dentro de un mismo campo volcánico. Los campos volcánicos formados por rocas basálticas (Fig. 2) son por lejos los más abundantes en el planeta. Estos campos pueden ser de tamaños muy variables, teniendo en algunos casos unas pocas decenas de conos, y en otros casos hasta cientos o más de mil conos monogenéticos (como el campo Michoacán-Guanajuato, en México). Estos conos, que en su mayor parte son denominados conos de escoria, aunque también los hay de otros tipos como los *maares* y anillos de tobas, se encuentran junto a coladas de lava de la misma composición basáltica.

Composición de las rocas volcánicas

Para clasificar correctamente una roca volcánica de acuerdo a su composición, es necesario realizar un análisis químico. Los componentes químicos más abundantes de las rocas volcánicas son el silicio (expresado en el análisis químico como dióxido de silicio, SiO_2), el aluminio (Al_2O_3), hierro (Fe_2O_3), magnesio (MgO), calcio (CaO), sodio (Na_2O), potasio (K_2O), además de



2. Diagrama de clasificación química de las rocas volcánicas (TAS: Total Alkali-Silica), en el que se observa el rango de composiciones que caracteriza a los basaltos.

otros elementos que en general están en menor abundancia, como es el caso del titanio (TiO_2). La clasificación más usada se basa en los porcentajes del dióxido de silicio y el de sodio y potasio, en un diagrama bivalente (con dos ejes, x - y). Este diagrama se llama TAS (del inglés "Total Alkali-Silica"; Fig. 2). Los basaltos, que son las rocas volcánicas más abundantes del planeta, poseen entre 45 y 52 % de SiO_2 , y una suma de álcalis menor a 5 %. Son rocas de colores oscuros, que en general presentan abundantes minerales ricos en hierro y magnesio, como las olivinas y los piroxenos.

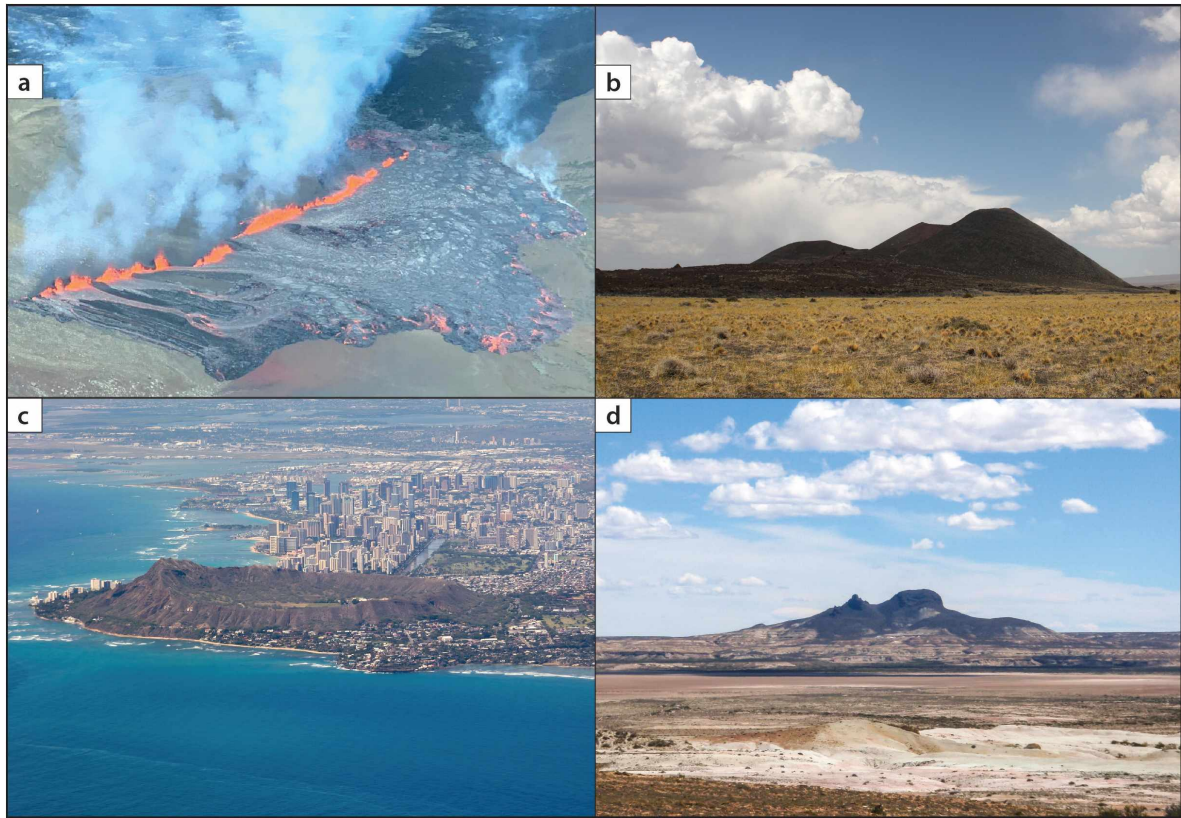
La forma nos habla de los procesos: tipos de volcanes monogenéticos

Podríamos decir entonces que los campos volcánicos representan un tipo de vulcanismo "descentralizado", donde sucesivas erupciones ocurren en distintos sectores dentro del mismo campo volcánico. Es por eso que este estilo de vulcanismo se denomina también monogenético, dado que cada volcán es único y una vez finalizada la erupción, es raro que una boca eruptiva se reactive. Esta falta de recurrencia en la

actividad volcánica hace que los aparatos volcánicos que se forman a partir de este tipo de erupciones tengan tamaños menores y características únicas que los diferencian de los grandes volcanes poligenéticos, como por ejemplo el Volcán Lanín en Neuquén o el Volcán Tuzgle en Salta.

El ejemplo más simple de erupciones monogenéticas lo constituyen las denominadas erupciones fisurales, en donde el conducto alimentador del vulcanismo llega a la superficie y derrama lavas sin construir ningún tipo de aparato volcánico (Fig. 3a). Este tipo de erupciones se caracteriza por la emisión de grandes volúmenes de lava y por la escasa generación de piroclastos. Sin embargo, con el correr del tiempo estas erupciones pueden cambiar de estilo y empezar a construir uno o varios conos volcánicos a lo largo de las fisuras que alimentan las coladas.

El segundo estilo de vulcanismo monogenético lo constituyen los denominados conos de escoria, en los cuales la generación y acumulación de piroclastos (escorias) ocurre en las inmediaciones del conducto a partir de erupciones de baja explosividad. Esto resulta en un volcán pequeño con aspecto de montículo cónico, con un cráter ubicado en la parte superior (Figs. 1c y 3b). Si bien son volcanes relativamente pequeños, pueden alcanzar hasta 2 km de diámetro en la base y



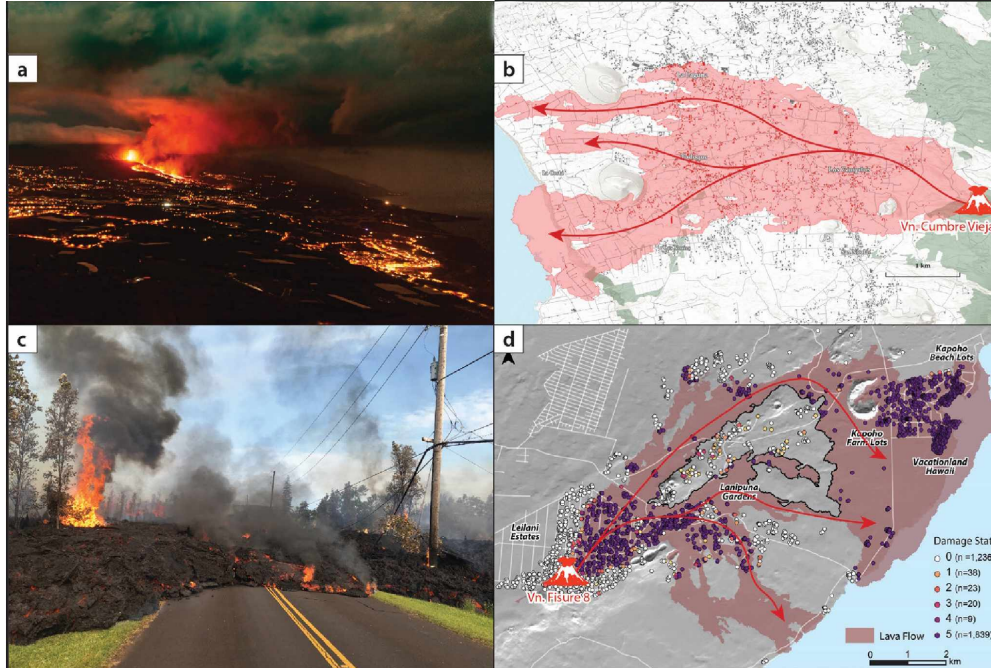
3. Volcanes monogenéticos. **a.** Momento inicial de la erupción fisural de 2021 en Islandia en la que no se observa un cono volcánico. Fuente: Internet. **b.** Cono de escoria del volcán Santa María en el Sur de Mendoza. **c.** Anillo de tobas de un *maar* ubicado en las inmediaciones de la ciudad de Honolulu, Hawaii. **d.** Cuellos volcánicos (*neck* en inglés) de los cerros Madre e Hija en la Provincia de Santa Cruz.

alturas de hasta 300 m. En la cumbre suelen tener cráteres de menos de 100 m de diámetro, con un aspecto oxidado producto de la circulación de los gases volcánicos. Los conos de escoria se caracterizan por tener pendientes altas (de hasta 30°) e internamente presentan un aspecto estratificado dado por la acumulación de piroclastos (con tamaños que van desde centímetros hasta varios decímetros de diámetro). Una curiosidad de los conos de escoria es que representan la forma volcánica más frecuente en la superficie de la Tierra, con cientos de miles de ejemplos en todos los ambientes geodinámicos donde haya volcanismo subaéreo.

Un tercer tipo de aparato volcánico lo constituyen los denominados *maares*, que son volcanes monogenéticos formados por la interacción del magma con un cuerpo de agua poco profundo. Este tipo de aparatos volcánicos son típicos de las costas de lagos y mares, pueden encontrarse también en zonas pantanosas o asociados a lechos de ríos, e incluso pueden resultar de la inte-

racción entre la lava y un cuerpo de agua subterránea (acuífero). A diferencia de los casos anteriores, este tipo de volcanes se caracteriza por sus cráteres amplios con aspecto de palangana (Fig. 3c), rodeados por un anillo de tobas de baja altura y muy suaves pendientes (menos de 15°). En general los anillos de tobas tienen diámetros máximos de hasta 8 km y se componen de material piroclástico de grano fino de aspecto muy estratificado (ricos ceniza volcánica), y cráteres de hasta 2 km de diámetro con hasta 300 m de profundidad.

Por último, en campos volcánicos inactivos, cuando la acción de la erosión ha desdibujado los conos originales, son comunes las geofomas denominadas cuellos volcánicos o "*necks*". Este tipo de geofoma representa el conducto central del volcán por donde circuló la lava que alimentó la erupción, y que, como es muy resistente a la erosión, se preserva conformando cerros o morros que sobresalen por sobre el paisaje circundante (Fig. 3d).



4. Ejemplos de volcanos monogenéticos irrumpiendo en zonas pobladas. **a.** El cono de escoria y las coladas de la erupción de 2021 de Cumbre Vieja. Fotografía cortesía de Eduardo Robaina. **b.** Mapa de la zona afectada por las lavas de la erupción de 2021 de la Isla de La Palma (en sombreado), los puntos más oscuros representan las construcciones destruidas por el avance de la colada y las flechas marcan la dirección de avance. Fuente: Wikipedia. **c.** Lavas sepultan una ruta durante la erupción de Leilani Estates en la Isla Grande de Hawaii. Foto cortesía del USGS. **d.** Mapa de la zona afectada por los flujos de lava (en sombreado) de la erupción de 2018 de la Isla Grande de Hawaii. Fuente: Meredith et al. 2022.

Cuando los volcanos irrumpen en la sociedad: implicancias de las erupciones monogenéticas

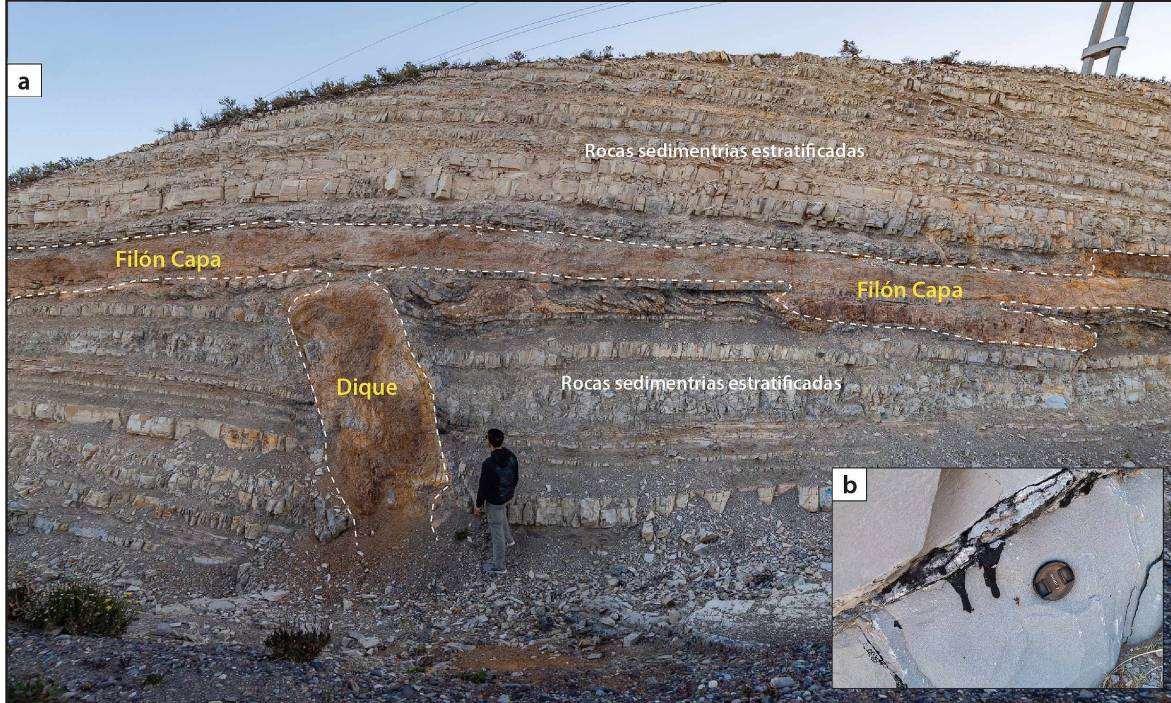
El hecho de que los campos volcánicos y los volcanos monogenéticos no se formen a partir de un único conducto “central” hace que predecir la ubicación de erupciones futuras sea muy difícil. Esto puede traer consecuencias inesperadas y de alto riesgo, especialmente en campos volcánicos ubicados en las cercanías de centros poblados, donde este tipo de volcanos pueden aparecer con poco preaviso.

Uno de los ejemplos más recientes de este tipo de eventos lo constituye la erupción en 2021 del campo volcánico de Cumbre Vieja, en la isla de La Palma (Islas Canarias, España). Luego de casi 50 años de inactividad, inició una intensa erupción volcánica que duraría por casi tres meses y terminaría por construir un cono de escoria de más de 200 m de altura en un paraje donde antes no había ningún cuerpo volcánico. Durante esta erupción se emitieron grandes volúmenes de lava, piroclastos y gases que afectaron de gran manera la vida de la gente que habitaba la zona, y que resultó en más de 7.000 personas evacuadas, en la destrucción de 2.800

construcciones y más de 350 hectáreas de cultivos (Figs. 4a y b).

Otro ejemplo que ilustra la complejidad de predecir la ubicación de futuras erupciones de este tipo, lo constituye la erupción ocurrida en 2018 en un barrio residencial de la Isla Grande de Hawaii. Si bien las islas hawaianas son conocidas por sus grandes volcanos en escudo, como el Kilauea y Mauna Loa, gran parte de la superficie de estas islas están cubiertas por extensos campos volcánicos repletos de conos de escoria y *maares*. La erupción, que se inició en mayo de 2018 a partir de un conjunto de fisuras (grietas), evolucionó a lo largo de casi tres meses emitiendo extensos flujos de lava junto a grandes volúmenes de piroclastos y gases. La erupción construyó un cono volcánico de casi 60 m de altura en medio de un barrio residencial. Este evento resultó en la evacuación de más de 3.000 residentes y en la destrucción de numerosas construcciones y obras de infraestructura (Fig. 4c y d).

Si bien la aparición de estos conos parece ser repentina a primera vista, durante las semanas o meses previos al inicio de la actividad eruptiva suele ocurrir un incremento progresivo en la frecuencia e intensidad de la actividad sísmica. El estudio y la correcta



5. a. Ejemplo de dique y filón capa interconectados en el sur de la Provincia de Mendoza. b. Surgencia de petróleo en el sur de Mendoza.

identificación de este tipo de señales por parte de los geólogos, combinado con la implementación de planes de emergencia y/o evacuación por parte de las autoridades, hace que estas erupciones tengan en general bajos índices de mortalidad. En los dos ejemplos mencionados, no hubo que lamentar personas fallecidas, y en el caso de la Isla de La Palma hasta se llegó a evacuar a la mayor parte del ganado presente en la zona de la erupción.

El petróleo y los volcanes, dos socios “no-convencionales”

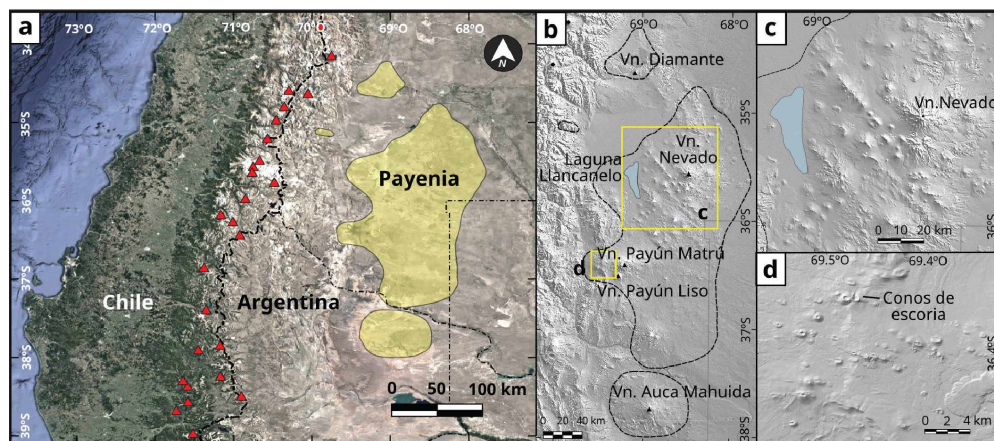
Si bien el cine y la televisión suelen presentar a los volcanes como fuentes de destrucción, la actividad volcánica en general y la vinculada a los volcanes monogenéticos en particular, pueden tener también consecuencias positivas para el ambiente y la sociedad, incluso en algunos casos pueden tener impactos positivos en la economía. Este es el caso de ciertos yacimientos “no convencionales” de petróleo y gas, donde las condiciones de presión y temperatura de las

rocas “madre” de los hidrocarburos, ricas en materia orgánica, no fueron suficientes para generar este recurso mineral. Sin embargo, la circulación y emplazamiento del magma en las cuencas sedimentarias pueden servir para elevar localmente la temperatura y lograr la generación de hidrocarburos.

Estas “cañerías”, por donde el magma asciende y circula en el interior de la corteza, están formadas en general por una compleja red de conductos interconectados que le permiten al magma viajar desde las zonas donde éste se genera (muchas veces en el manto terrestre) hasta la superficie, donde alimentan a los volcanes. Cuando el magma se enfría en el interior de la corteza, esos conductos reciben el nombre de “diques” (si estos cuerpos cortan la estratificación de las rocas circundantes, o “filones capas” si son paralelos o concordantes con las mismas (Fig 5a).

Un ejemplo concreto de esta relación económicamente beneficiosa lo constituyen varios de los yacimientos de petróleo y gas ubicados en el sur de la localidad mendocina de Malargüe. Los filones capas y diques que alimentaron parte del volcanismo basáltico de esta región, posibilitaron la generación de petróleo y gas en sectores de la Formación Vaca Muerta, que de otra manera no habrían alcanzado las temperaturas necesarias para este proceso. Actualmente constituyen un recurso económico relevante para el extremo sur de la región de Cuyo (Figs. 5a y b).





6. **a.** Ubicación de Payenia, en las provincias de Mendoza y norte de Neuquén. Los triángulos rojos indican la ubicación de los volcanes del arco andino. **b.** Modelo de elevación digital del terreno (Jaxa®), con los volcanes poligenéticos mayores de Payenia. **c.** Detalle del campo volcánico del Nevado. **d.** Detalle del campo volcánico del Payún Matrú.

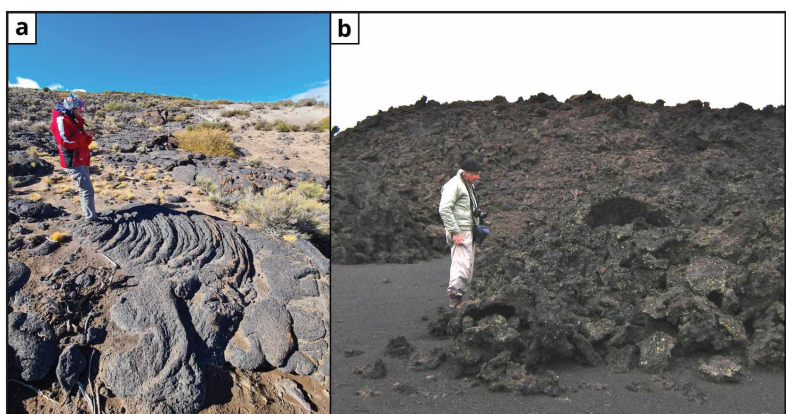
Payenia: los campos basálticos más grandes de Sudamérica

En Argentina hay numerosos ejemplos de campos volcánicos basálticos, algunos están inactivos desde hace millones de años, y otros están actualmente activos. Por ejemplo, el típico paisaje mesetiforme desarrollado en la Provincia de Santa Cruz, que se desarrolla al pie de la Cordillera de los Andes, forma parte de un gran campo volcánico de edad Pliocena-Pleistocena (los últimos 5 millones de años). Otro ejemplo, es el conjunto de campos volcánicos del centro-sur de la provincia de Mendoza y norte de Neuquén, y que recibe el nombre de Provincia Basáltica de Payenia, o simplemente Payenia (Fig. 6).

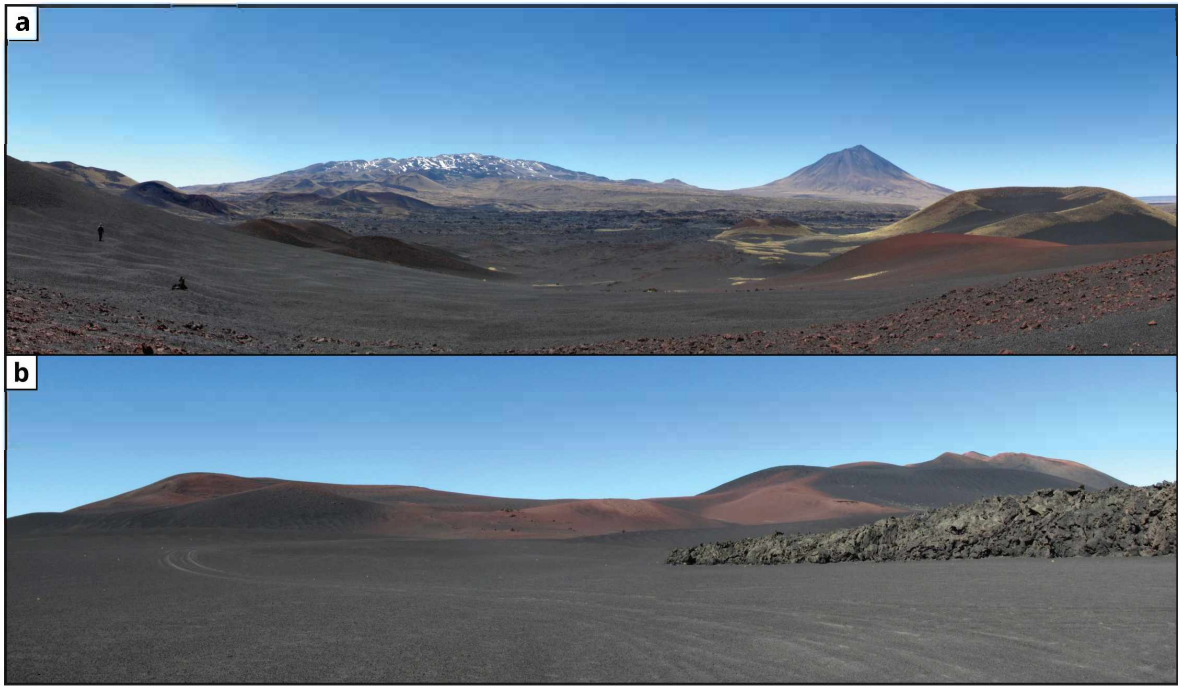
La Payenia está ubicada al pie de los Andes, en un ambiente desértico donde predomina un relieve relativamente llano. La ubicación geológica que tiene esta región se denomina “retroarco”, ya que se desarrolla hacia el este de los volcanes activos de los Andes (el “arco volcánico”; Fig. 6a). Por su extensión, Payenia es la provincia volcánica de retroarco más grande de toda Sudamérica. Además del volcanismo, esta región también se destaca por la presencia de la laguna Llacanelo, una laguna salina y endorreica, que favorece la alta biodiversidad de la zona. Es así que esta zona fue decretada en el año

1980 como una importante reserva natural.

La actividad volcánica que le otorga a Payenia su paisaje característico comenzó hace aproximadamente 2 millones de años. Al igual que en otros campos basálticos, abundan ampliamente los conos de escoria, teniendo en total alrededor de 800 conos (Fig. 6). Estos conos basálticos están generalmente asociados a coladas de lava formadas durante el mismo evento eruptivo. Estas coladas presentan las morfologías típicas de las lavas basálticas, como son las lavas *pahoehoe* (lavas con superficies lisas o aspecto cordado, que muchas veces forman túneles de lava; Fig. 7a), o las lavas *aa* (lavas con un canal central y aspecto escoriáceo; Fig. 7b). Además, Payenia tiene volcanes poligenéticos que se destacan del entorno por su altura (Fig. 6), como son los volcanes Diamante (2.300 m), Nevado (3.833 m), Payún Matrú (3.680 m), Payún Liso (3.715 m), y Auca Mahuida (2.258 m). Alrededor



7. **a.** Lava basáltica de tipo *pahoehoe*, con una superficie de aspecto liso y cordado. **b.** Lava basáltica tipo *aa*, con una superficie escoriácea con bloques irregulares.



8. Campo volcánico del Payún Matrú. **a.** Vista general desde el oeste, en primer plano se ve el campo de conos basálticos monogenéticos, y al fondo los volcanes poligenéticos Payún Matrú (centro) y Payún Liso (derecha). **b.** Paisaje típico de Pampas Negras, con una cubierta de escorias negras y un gran cono basáltico de forma elongada, junto a su colada de lava (de tipo aa).

de estos grandes edificios volcánicos, se agrupan numerosos conos basálticos, formando por ejemplo los campos volcánicos del Nevado y del Payún Matrú.

En el campo volcánico del Payún Matrú (Fig. 8a) se concentra la actividad volcánica más reciente en Payenia, con algunos conos de 2000 años de antigüedad, o inclusive menos. En este campo se encuentra la zona llamada “Pampas Negras”, en donde el suelo es cubierto por un manto de escorias negras y la vegetación está prácticamente ausente (Fig. 8b). El mayor volcán en este campo es el Payún Matrú, el cual tiene aproximadamente 700 mil años de antigüedad, y es un ejemplo típico de caldera, de 8 km de diámetro, cuya mayor erupción ocurrió hace alrededor de 100 mil años.

En los alrededores del volcán Nevado y de la laguna Llanquanelo, también hay una alta concentración de conos monogenéticos basálticos. En las cercanías de la laguna Llanquanelo, también hay *maares*, como el Malacara, construidos durante erupciones altamente explosivas. La alta explosividad de las erupciones proviene en estos casos, de la interacción del magma con el agua alojada en la laguna Llanquanelo o en acuíferos del

subsuelo. Por lo tanto, Payenia presenta las características típicas de los campos volcánicos monogenéticos, como son la abundancia de conos de escoria y *maares*, asociados a extensas lavas basálticas, en conjunto con menor cantidad de volcanes mayores poligenéticos.

Como hemos visto, en Argentina y en el planeta en general, los campos monogenéticos basálticos representan uno de los estilos de volcanismo más comunes, y cuyas características se alejan del clásico estereotipo del volcán cónico. Al igual que los grandes edificios volcánicos poligenéticos, el efecto en la sociedad de este tipo de volcanes puede ser tanto negativo en el corto plazo (ej: destrucción de viviendas y cancelación de vuelos), como así también positivo, generalmente en el largo plazo. ◆

Irene R. Hernando
 Centro de Investigaciones Geológicas
 (CONICET-UNLP)
 Gerardo N. Páez
 Instituto de Recursos Minerales (UNLP-
 CICBA)