

Los volcanes: un enfoque sistémico de un tema clásico

David Brusi

Si consideramos nuestro planeta como un conjunto de subsistemas interdependientes las relaciones que se establecen entre todos sus elementos definen un sistema complejo donde cualquiera de sus partes puede influir en la evolución del resto. En este escenario de interconexiones los volcanes asumen un papel muy importante.

Palabras clave: Ciencias experimentales, Geología, Volcanes, Vulcanología, Educación

Volcanoes: a systematic focus on a classic theme

If we consider our planet as a collection of interdependent subsystems the relationships that are established between all their elements define a complex system where any of its parts may influence in the evolution of the rest. On this stage of interconnections volcanoes assume a very important role.

En los programas de ciencias naturales, en los documentales televisivos o en las noticias de los distintos medios de comunicación, los volcanes constituyen el tema geológico por excelencia. El interés por las manifestaciones de actividad volcánica es indiscutible. Desde la más remota antigüedad hasta nuestros días los volcanes nos han fascinado. ¿Quién puede no sentirse atraído por su misterioso funcionamiento, por sus conexiones con el ignoto interior terrestre, por la espectacularidad de las erupciones o por la sensación de riesgo que les otorga tanta energía desbordada?

Desde un punto de vista científico el conocimiento de los volcanes ha evolucionado mucho a lo largo de las últimas décadas. El progreso de la vulcanología moderna se ha nutrido en buena parte de los datos obtenidos del estudio de las erupciones recientes y de su contextualización en una dinámica global a escala planetaria.

Hoy los volcanes se interpretan de un modo distinto. Los vulcanólogos utilizan nuevos conceptos, nuevas clasificaciones, nuevos modelos... Pero, por encima de todo, su estudio ha abandonado la simple descriptiva fenomenológica local para plantear un enfoque mucho más sistémico y relacional... ¿Ha recogido la escuela estos cambios? ¿Más allá de la tectónica de placas... tratamos con nuestros alumnos el vulcanismo de un modo distinto del que lo hacíamos hace algunos años?

La enseñanza de los volcanes en los distintos niveles educativos -y por ende, en los libros de texto- suele presentarse desde una aproximación perfectamente sistematizada. Pero, sabemos que sistemático no es lo mismo que sistémico. Los esquemas expositivos clásicos del vulcanismo nos garantizan una aproximación al tema perfectamente sistematizada y, por ello, clara, lógica y coherente. Todos hemos seguido pautas parecidas en nuestro enfoque docente: ¿Qué es un volcán?, ¿por qué se produce una erupción volcánica?, ¿dónde se encuentran los volcanes?, ¿qué productos expulsan?, ¿cuáles son los tipos de actividad eruptiva?, ¿qué riesgo representan para nosotros?... Sin negar la eficiencia de este tipo de tratamiento, debemos reconocer que suele considerar los volcanes como un fenómeno aislado.

Los nuevos enfoques recomiendan abordar el vulcanismo desde la idea de sistema volcánico (Pujadas y otros, 1999) englobando diferentes procesos que van desde el origen del magma hasta su salida a la superficie terrestre. Desde esta perspectiva, un volcán deja de ser una montaña, un conducto o una fisura para convertirse en una parte de este sistema que, a su vez, puede estar formado por varios edificios volcánicos. Las vinculaciones espaciales definen asociaciones de volcanes que, bajo cierta estructura jerárquica, suelen compartir un marco genético y una evolución temporal. También es necesario abandonar la idea de las erupciones como unidades simples de actividad volcánica, entendiendo que la actividad eruptiva -regulada por diversos factores- suele desarrollarse a través de distintas fases y que cada una de ellas puede dividirse en diversas pulsaciones.

Aunque nuestra aproximación a los volcanes se realice desde el concepto de sistema volcánico y su tratamiento permita a los alumnos valorar la multiplicidad de factores que influyen en su dinámica, nuestro esfuerzo no se vería totalmente recompensado si no conseguimos transmitir una idea que les otorga un valor añadido. La actividad volcánica no es un fenómeno geológico más. Debemos redescubrir los volcanes desde una lectura sistémica que les conceda su merecido protagonismo.

Los volcanes como sistema

Vivimos en un planeta de dinámica compleja formado por *subsistemas* interrelacionados. La Geosfera, la Atmósfera, la Hidrosfera y la Biosfera constituyen unidades naturales en continua interacción ¹. La idea de *la Tierra como Sistema* nos permite interpretarla como un conjunto de elementos naturales interrelacionados, interactuantes e interdependientes entre los que se

mueve materia y energía más o menos continuamente, en un flujo que sigue trayectorias interconectadas (Bach y otros, 1988). Los elementos o subsistemas del sistema Tierra están relacionados de tal forma que un cambio en uno de ellos tiene la capacidad de producir cambios en todos los demás. Desde esta concepción, a menudo asumimos que nuestro planeta es un sistema cerrado ² y la voluntad científica de establecer modelos nos conduce a la idea de ciclo.

Llamamos *ciclos* de la materia a la serie de fases y cambios efectuados según una sucesión ordenada, mediante la cual, una sustancia o un sistema evolucionan a lo largo del tiempo, regresando en algún momento a unas condiciones iniciales por las que ha pasado en una etapa anterior. El ciclo del agua, el ciclo de las rocas, el ciclo del carbono, son algunos ejemplos de modelos cíclicos -reduccionistas de una realidad mucho más compleja y a veces inconexa- que la ciencia utiliza para visualizar determinados flujos.

Los volcanes, sin duda, ponen de manifiesto la transferencia de materia y energía desde el interior de los planetas hacia su superficie, pero su papel en numerosos ciclos los convierte en un agente dinamizador de primera magnitud. Los *agentes geológicos* pueden definirse como los elementos materiales que, respondiendo a una entrada de energía, se convierten en causa activa de un cambio y, por ello tienen la capacidad de causar efectos. El agua, el aire, las rocas, los seres vivos, asumen la función de agentes en numerosos procesos, pero... ¿Son los volcanes un agente geológico?

Es posible que, en realidad, sea el material magmático el que deba considerarse el verdadero agente geológico. Los magmas, movilizados como respuesta a determinadas condiciones térmicas, aportan a la superficie de los planetas materiales de distintas composiciones. Las especiales condiciones termodinámicas de la superficie terrestre permiten que los productos volcánicos se integren en los ciclos bajo tres fases distintas: sólida, líquida y gaseosa. Desde esta versatilidad su influencia en muchos procesos es indiscutible. La actividad volcánica no es un proceso continuo pero su papel en la evolución de nuestro planeta y en los ciclos de transformación no puede plantearse desde un catastrofismo ingenuo.

A continuación se apuntan algunos ejemplos relacionados con un enfoque sistémico de los volcanes. Al abordar cada uno de esos aspectos no pretendemos clarificar conceptos, ni tan solo dirimir entre lo que constituyen hechos demostrados y lo que son simples hipótesis o preguntas sin respuesta conocida. Nuestro objetivo es modesto y no aspira a otra cosa que a reconducir nuestra percepción del vulcanismo a un dominio mucho más intrincado pero, a la vez, extraordinariamente sugerente.

Tal y como indican Sequeiros y Pedrinaci (1999) la clave de las revoluciones científicas no es tanto que se "vean más cosas" si no que se vean las cosas con "ojos nuevos". Esperamos que las pinceladas dispersas que seguirán presenten a los volcanes desde una perspectiva transversal que permita que su tratamiento en el aula rebose de las páginas de los "procesos internos" de los libros de Ciencias Naturales para impregnar otros capítulos, otras disciplinas. En definitiva, que reconozca su relevante papel en la dinámica del Sistema Tierra.

Los orígenes del vulcanismo

Si los volcanes pueden influir en la evolución de los planetas ¿debemos entender el vulcanismo terrestre como un proceso extrapolable a otros cuerpos planetarios y sus satélites?

Los avances de la Geología Planetaria han motivado que los modernos manuales de vulcanología deban revisar la definición del proceso para abarcar todos los tipos de volcanes. De este modo el término vulcanismo adquiere una acepción más amplia: "es la manifestación en la superficie de un planeta o satélite de procesos termales internos a través de la emisión hacia su superficie de productos sólidos, líquidos o gaseosos" (Francis, 1993). Esta nueva visión de los volcanes sigue incluyendo las erupciones de magmas silicatados que caracterizan a la Tierra, aunque también admite como actividad volcánica los penachos de dióxido de azufre de Ío, los géisers de nitrógeno de Tritón, o los flujos ocasionales de lava de agua líquida en la superficie de planetas helados.

Un sistema volcánico se basa en dos prerequisites muy simples para existir: un foco de calor y alguna materia para fundir. El gradiente de temperatura decreciente desde el interior del cuerpo planetario hacia su superficie más fría en contacto con el espacio exterior hará el resto (figura 1).

[Figura 1. Diagrama esquemático de los subsistemas del sistema Tierra](#)

La energía térmica puede proceder de fuentes muy distintas: la desintegración de elementos radioactivos, la energía cinética transformada en calor en los impactos meteoríticos o, incluso el sorprendente efecto de la atracción mareal ejercida sobre el material geológico interior de pequeños satélites próximos a planetas gigantes.

¿El material fundible puede tener cualquier composición? ¿Resulta imprescindible que un planeta o satélite presente una superficie sólida para poder hablar de vulcanismo?

Los materiales magmáticos en la Tierra primitiva

Si imaginásemos una Tierra "recién estrenada", en una etapa en la que la temperatura de sus capas más superficiales hubiese alcanzado valores razonablemente fríos... ¿cuál sería el paisaje que podríamos contemplar?

Los procesos erosivos no habrían tenido tiempo de producir sedimentos y los procesos de transformación metamórfica más comunes no habrían comenzado todavía. Nuestra mirada disfrutaría de un "Parque Volcánico" global. El nuestro sería un planeta en el que se sucederían

volcanes activos entre materiales, también magmáticos, solidificados con anterioridad. Anguita (1999) nos describe este paisaje como el más habitual en la geología de buena parte de los cuerpos del Sistema Solar: "Un conjunto de mundos cuya principal actividad geológica, en el pasado y en el presente, ha sido y es el vulcanismo".

Desde la perspectiva sistémica... ¿Debemos considerar que las rocas volcánicas son la materia prima de todos los procesos petrogenéticos posteriores? ¿La omnipresente actividad volcánica en el Arcaico producía el mismo tipo de edificios que los volcanes actuales? Puede haber variado el ritmo e intensidad del vulcanismo terrestre a medida que nuestro planeta se ha ido enfriando? ¿Que tiene de distinto nuestro planeta de otros cuerpos del Sistema Solar en los que el vulcanismo ha sido la principal actividad geológica? ¿Cuál ha sido el origen de los periodos de intensa actividad volcánica constatados por el registro geológico?

Los volcanes son "máquinas de reciclaje"

En la dinámica impuesta por la tectónica de placas, la fragmentación continental y la formación de corteza oceánica regulan la evolución de la litosfera. En este escenario el flujo de sedimentos y productos químicos procedentes de la erosión continental son aportados al océano donde entran a formar parte de los procesos de sedimentación marina. Al margen de los magmas basálticos de las dorsales, procedentes directamente del manto, el vulcanismo contribuye activamente al reciclaje de esta materia movilizada.

Ocasionalmente, los volcanes permiten la precipitación mineral en los denominados *black smokers*. En estas fuentes hidrotermales submarinas, el agua calentada por contacto con el foco de calor volcánico, reacciona con el basalto formando sulfuros metalíferos masivos. De un modo mucho más generalizado los procesos de subducción de la corteza oceánica arrastran hacia posiciones más profundas las rocas y sedimentos de los fondos oceánicos. El progresivo incremento de temperatura en estos límites de placa provoca la fusión de una parte de los materiales subducidos y un consecuente ascenso de nuevos magmas que darán lugar a rocas ígneas. Aunque sometido al ritmo lento y discontinuo de los movimientos tectónicos, la eficiencia de este ciclo permite la reincorporación de importantes volúmenes rocosos a las estructuras continentales.

Los volcanes son "maquinas de reciclaje" de rocas, de agua, de dióxido de carbono, ya sea por el ascenso de magmas en los márgenes activos, como por su papel motor en la expansión del fondo oceánico.

¿En qué momento de la historia de la Tierra empezaron los volcanes su "campaña de reciclaje"? En la actualidad... ¿es más importante la generación de rocas basálticas por ascenso primario de magmas o, por el contrario, dominan los volcanes que proceden de la fusión de rocas superficiales recicladas?

Los gases volcánicos, la atmósfera y la hidrosfera

Aunque la fracción gaseosa de la mayor parte de los magmas constituye tan solo del 1% al 6% de su peso total, la cantidad total de gases emitidos en una erupción puede llegar a superar varios miles de toneladas al día. La proporción de los gases volcánicos puede variar substancialmente en los distintos tipos de vulcanismo, pero los valores medios de los análisis de las emisiones suelen indicar la presencia de un 70% de vapor de agua, un 15% de dióxido de carbono, un 5% de nitrógeno, un 5% de dióxido de azufre, y cantidades menores de cloro, hidrógeno, argón, monóxido de carbono, metano, etc.

A partir de estos datos resulta fácil imaginar que los gases aportados por las erupciones contribuyen significativamente a configurar las características químicas del aire de nuestra atmósfera. Pero... ¿la atmósfera terrestre es el resultado de la simple acumulación de los gases volcánicos?

La composición y proporciones de los gases del aire en nuestra atmósfera actual ya nos ponen de manifiesto la escasa coincidencia con los gases volcánicos. El gas mayoritario del aire (seco y sin impurezas) es el nitrógeno (78% en volumen), le sigue el oxígeno molecular (21%) y, ya con porcentajes menores el argón (0,9%), y el dióxido de carbono (0,03%), entre otros que, aunque con concentraciones muy bajas, resultan enormemente influyentes en determinados procesos (hidrógeno molecular, metano, dióxido de nitrógeno, monóxido de carbono, ozono, etc.).

Aunque hasta hace algunos años se atribuía el origen de nuestra atmósfera a la desgasificación magmática, las investigaciones actuales apuestan decididamente por una génesis ligada al mismo proceso de acreción de materia por el cual se formó la Tierra. Según este modelo los choques tardíos de planetesimales o asteroides ricos en volátiles habrían aportado los ingredientes gaseosos de la atmósfera primitiva. La radiación solar, la temperatura exterior del planeta y los intercambios con los fundidos rocosos primigenios regularían su evolución inicial. Según esta hipótesis, el vapor de agua se habría condensado para formar la hidrosfera una vez la temperatura descendió suficientemente; los gases más livianos habrían escapado hacia el espacio exterior, y la escasa reactividad del nitrógeno habría favorecido su acumulación.

La Tierra ocupa y ocupó en las etapas finales de formación del Sistema Solar un lugar privilegiado. Una posición demasiado próxima al Sol le hubiese hecho sufrir las consecuencias de la intensa radiación ultravioleta que disocia las moléculas de vapor de agua para producir hidrógeno y oxígeno. El hidrógeno, muy ligero, se pierde progresivamente hacia el espacio. El oxígeno, muy reactivo, se incorpora a otros ciclos. Aunque estas pérdidas netas de agua debieron tener lugar durante cierto tiempo, posiblemente fueron compensadas por la evaporación de agua procedente de los reservorios rocosos superficiales del planeta. Así, parece ser que el agua, el nitrógeno y el carbono debieron existir ya desde la culminación del proceso

de acreción con una masa total comparable a la presente situada entre la atmósfera y la hidrosfera. Así pues... ¿qué papel tuvieron los volcanes en este asunto? ¿De dónde surgió el oxígeno?

En el esquema A de la figura 2 se ilustra la influencia de los impactos de planetesimales y asteroides en la formación de las capas fluidas de la Tierra. En el esquema B se observa la contribución de los gases volcánicos en diversos procesos de transformación del aire y el agua del planeta.

[Figura 2. Procesos de formación y evolución en la atmósfera e hidrosfera terrestres](#)

La composición del aire de la atmósfera primitiva debió ser modificada por la exhalación de gases eruptivos. Su evolución posterior debe interpretarse en el marco de un complejo sistema de interrelaciones en las que la temperatura del planeta, la presencia de agua, la desgasificación volcánica y el ciclo del dióxido de carbono son tan solo algunos de los factores influyentes. En este proceso, la aparición de la vida (y la fotosíntesis), la presencia de agua y el sostenimiento de la actividad volcánica han sido fundamentales.

Los volcanes y el clima

"El efecto mariposa" argumenta que el simple aleteo de una mariposa puede producir una perturbación del aire que se propague a través de la atmósfera dando origen a un ciclón tropical en el Caribe.

Los aerosoles que destruyen el ozono estratosférico y la combustión de combustibles fósiles y su efecto en el calentamiento global son un ejemplo de las enormes repercusiones climáticas de los desequilibrios atmosféricos inducidos por la actividad humana. Sin embargo... ¿Pueden afectar los procesos naturales de igual modo al equilibrio atmosférico y al cambio climático? ¿Pueden ser los volcanes causantes de cambios climáticos a nivel global?

Los gases volcánicos son una fuente natural de contaminación atmosférica. El dióxido de azufre que emiten los volcanes se combina fácilmente con el agua para formar ácido sulfúrico y este puede desencadenar "lluvias ácidas". El dióxido de carbono -abundantemente exhalado en las emisiones volcánicas- y, ocasionalmente, el metano son dos gases implicados en el efecto invernadero y su incremento contribuye al calentamiento atmosférico. Contrariamente, las grandes cantidades de cenizas y gases volcánicos inyectados a las capas altas de la atmósfera en determinadas erupciones han llegado a circular por toda la Tierra reduciendo sensiblemente la efectividad de la radiación solar. En algunas etapas de intensa actividad volcánica su efecto podría ser comparable al "invierno nuclear" desencadenado por la gran cantidad de polvo, vapor y humo producidos por una serie de explosiones atómicas. Llevando este ejemplo a situaciones límite... ¿podrían ser las fases de una especial intensidad eruptiva la causa de los periodos glaciales?

En otro orden de cosas, y ya rizando el rizo, algunas hipótesis barajaron la posibilidad de que la actividad volcánica en el Pacífico fuese la inductora de la corriente de "El Niño". Sus defensores se basaban en el evidente incremento de temperatura que se produce en las aguas profundas que están en contacto con los magmas emergentes en los fondos oceánicos de esa zona. La gran cantidad de calor desprendida por las erupciones submarinas podría ser la causa del aumento de las temperaturas superficiales del agua marina ecuatorial en la zona afectada por "El Niño". Los efectos colaterales de "El Niño" son devastadores: precipitaciones catastróficas, reducción de los recursos pesqueros, vientos huracanados, problemas ecológicos, etc.

Los volcanes y la vida

Los científicos no han llegado todavía a un acuerdo unánime sobre los procesos que condujeron al origen de la vida en la Tierra. Tampoco sabemos si la esfera biológica es un patrimonio exclusivo de nuestro planeta o si es un hecho común en todo el universo. Lo que podemos afirmar con toda seguridad es que apareció en un paisaje primigenio en el que la actividad volcánica regía la evolución de la geosfera, la hidrosfera y la atmósfera. Por ello, es muy probable que las primeras cadenas de ADN con capacidad para replicarse se nutrieran de un ambiente favorable influido por los elementos químicos aportados por los productos volcánicos: hidrógeno, oxígeno, carbono, azufre, nitrógeno, etc. La gran cantidad de ambientes en los que se manifiesta el vulcanismo debieron crear en muchos lugares las condiciones de aporte energético y diversidad química que las distintas teorías requieren para la "sopa de la vida". ¿Y si la vida hubiese aparecido arrullada por el burbujeo de una confortable y nutritiva surgencia termal submarina?

Puede que eso no sea cierto, pero de lo que no cabe ninguna duda es que los cambios genéticos que permiten adaptarse al medio son uno de los factores más decisivos en la evolución de la vida. Los cambios geológicos -en este caso- fueron determinantes en la creación de ambientes, de nichos ecológicos diferenciados en los que los individuos evolucionaron a nuevas formas y nuevas especies. En un mundo de escenarios en continua transformación la actividad volcánica debió tener un papel muy destacado.

Si asumimos que los volcanes ejercieron una influencia positiva sobre la vida del planeta también sería justo considerar sus posibles efectos negativos. Algunos cambios bruscos pueden haber desencadenado efectos catastróficos sobre algunas especies de organismos. También en este caso, la actividad volcánica se encuentra, junto con los impactos meteoríticos, en el banquillo de los acusados. A lo largo de la Historia de la Tierra se han producido grandes extinciones biológicas que algunos autores correlacionan con etapas conocidas de intensa actividad volcánica, por los efectos ya considerados en el cambio climático. ¿Los volcanes dieron la vida y causaron la muerte?

Los volcanes y la sociedad: recursos y riesgos

En el esquema de interdependencias del sistema terrestre no debemos olvidar la esfera de lo social y nuestra ineludible subordinación a los procesos y recursos naturales. Los volcanes proporcionan a la especie humana suelos de una fertilidad extraordinaria puesto que la meteorización de los productos volcánicos en determinadas condiciones climáticas facilita la formación de sedimentos muy ricos en nutrientes. Por otra parte, el calor interno aportado por el vulcanismo representa un enorme almacén de energía geotérmica aprovechable para su uso directo en forma de calor o para su transformación en otras formas de energía. Asimismo, algunas manifestaciones de aguas termales suelen coincidir con zonas volcánicas. Un buen número de yacimientos minerales se asocia también a la actividad volcánica y entre los retos más apasionantes de la investigación submarina se encuentra la localización y explotación de las asombrosas acumulaciones de sulfuros metálicos descubiertas en algunas zonas de dorsal medio-oceánica. Desde este enfoque, los volcanes nos ofrecen sus bienes más preciados.

En el plato opuesto de la balanza, la actividad volcánica representa un riesgo natural nada despreciable. Dejando aparte su indudable influencia en la dinámica atmosférica y en los cambios climáticos globales, los volcanes son la causa de muchos sucesos catastróficos que han dejado su huella en muchos lugares del planeta. A lo largo del siglo XX, los volcanes se han cobrado casi 70.000 víctimas mortales y han sembrado de desolación muchas regiones. Estos datos estadísticos no tienen por qué considerarse indicativos puesto que es muy probable que antiguas erupciones hayan sido mucho más catastróficas. Las lluvias de cenizas, las caídas de piroclastos, los incendios, las emisiones de gases tóxicos, las nubes ardientes, las coladas de barro producidas por la fusión de la nieve de las cumbres, los desprendimientos rocosos, los tsunamis, las explosiones de una violencia extraordinaria, no son más que algunos ejemplos del poder destructor del vulcanismo.

Los volcanes son la cara y la cruz de una moneda. Pueden ofrecer durante siglos una productividad extrema a las explotaciones agrícolas de una isla de Indonesia para aniquilar todo rastro de vida -de un modo fulminante- tras una erupción especialmente devastadora. O, por ejemplo, en Islandia, son la evidencia del inquietante contraste entre la intensa explotación de los recursos geotérmicos, que proporciona un elevado bienestar y la espada de Damocles de un posible cataclismo. El poder de los volcanes es el yin y el yang: el paradójico equilibrio entre dos fuerzas antagónicas.

¿Qué elementos objetivos tenemos para dilucidar si los beneficios de vivir en una zona volcánica compensan a los riesgos a los que estamos sometidos por permanecer en ella?

Epílogo

Desde hace 4500 millones de años los volcanes no han cesado de poner de manifiesto la transferencia de materia y energía desde el interior de la Tierra hacia su superficie. En un complejo sistema de interdependencias, el vulcanismo ha influido permanentemente en los cambios acontecidos en la geosfera, la hidrosfera, la atmósfera y la biosfera. Los volcanes han tenido en el pasado de nuestro planeta un papel muy importante y asumen en el presente una función dinamizadora de múltiples procesos. ¿Qué sorpresas nos reservan para el futuro?

Si algo aporta el análisis de un sistema es la firme convicción de interdependencia entre todas sus partes. Aunque, desde nuestra visión antropocéntrica, nos erijamos a menudo en protagonistas -para lo bueno y para lo malo- del equilibrio planetario no estaría nada mal que reservásemos un lugar destacado para las "montañas de fuego" que llevan tantos años influyendo en los destinos de nuestra Tierra y que seguirán demostrándonos día a día su extraordinario poder. En esta relectura sistémica de "nuestros viejos amigos los volcanes" el papel de los docentes será fundamental.

Bibliografía

ANGUITA, F. (1999): "El vulcanismo en el sistema Solar" en Enseñanza de las Ciencias de la Tierra. 7.3., pp. 222-226.

BACH, J., BRUSI, D. y DOMINGO, M. (1988): "Reflexiones entorno a la didáctica de los procesos geológicos" en Henares, revista de Geología.

BOURDIER, J.L. (Ed.) (1994): Le volcanisme. Éditions BRGM. Orléans.

FRANCIS, P. (1993): Volcanoes. A planetary perspective. Oxford University Press, 1995.

PUJADAS, A., BRUSI, D. y PEDRINACI, E. (1999): "¡Los volcanes han cambiado! Nuevos enfoques de terminología volcánica" en Enseñanza de las Ciencias de la Tierra. 7.3., pp. 200-209.

SEQUEIROS, L. y PEDRINACI, E. (1999): "De los volcanes de Kircher a la gaia de Lovelock" en Enseñanza de las Ciencias de la Tierra. 7.3., pp. 187-193.

Dirección de contacto

David Brusi

Departamento de Ciencias Ambientales. Facultad de Ciencias. Universitat de Girona