Instituto de Estudios Hispánicos de Canarias

Manu Monge-Ganuzas · Jaime Coello Bravo
Alejandro Jesús Rodríguez Rubio · José Madeira · Asier Hilario

Patrimonio geológico
La memoria de la Tierra



XXI Semana Científica Telesforo Bravo

Patrimonio geológico
La memoria de la Tierra

Editado
por
Julio Afonso-Carrillo

XXI Semana Científica Telesforo Bravo
INSTITUTO DE ESTUDIOS HISPÁNICOS DE CANARIAS
2026

© Los autores
© De esta edición: 2026, Instituto de Estudios Hispánicos de Canarias,
C/. Quintana, 18. Puerto de la Cruz, Tenerife,
Islas Canarias, E-38400.
www.iehcan.com

Maquetación de portada y Preimpresión:
Javier Figueroa

Primera edición: octubre 2026

Gestión editorial:
LeCanarien ediciones

Depósito Legal: TF 652-2026

ISBN: 978-84-09-92546-9

https://doi.org/10.56029/SCTB21PatrimGeol

El selfi

Quienes estuvieron presentes en la XXI Semana Científica Telesforo Bravo, celebradas en 2025 sobre «Patrimonio Geológico: La Memoria de la Tierra», y quien se disponga a leer este libro verán con otra mentalidad cualquiera de los selfis que llegan a nuestros móviles sobre montañas, lagos, paisajes maravillosos y todo tipo de «descubrimientos» de lugares emblemáticos.

La XXI Semana, gracias al magisterio de Manu Monge-Ganuzas, Jaime Coello Bravo, Alejandro Jesús Rodríguez Rubio, José Madeira y Asier Hilario no solo nos ha hecho reflexionar sobre el valor paisajístico de la foto. Tras ese paisaje hay un tiempo geológico durante el cual hemos de agradecer a las discordancias estratigráficas, a los deslizamientos gravitacionales, o procesos erosivos que nos permiten disfrutar de calderas como la de Taburiente, a la impronta paleontológica de animales extintos, a las intrusiones magmáticas que explican las Torres del Paine, a la tectónica de placas, al efecto de los glaciares tanto de hielo como de rocas, a las rocas extraterrestres el que hayan creado escenarios en los que el Síndrome de Stendhal aflora en nuestra piel.

En el horizonte del fotografiado no solo hay unas vistas impresionantes. Hay un suelo y un escenario geológico que soporta la biodiversidad y que regula los procesos ecológicos. Un suelo que provee de beneficios materiales, culturales y de conocimiento para las sociedades.

Bueno es tener presente que ese selfi tiene unas implicaciones prácticas para la planificación territorial, la conservación, la gestión del riesgo y las políticas públicas en un escenario de cambio global. Que el selfi no ha de servir para decir: «yo estuve allí». Debe de ser el punto de partida para concientizarnos de que quienes lo hagan en siglos venideros disfrutarán de los mismos paisajes que la geología terrestre nos ha proporcionado de forma gratuita.

Antonio Javier González Pérez
Presidente del Instituto de Estudios Hispánicos de Canarias

Patrimonio geológico
La memoria de la Tierra

SUMARIO

Págs.

Patrimonio geológico. La memoria de la Tierra. Presentación,
por JULIO AFONSO ..... 7 – 14

1. **¿Por qué es importante la geodiversidad para la biodiversidad y para las personas?,**
por MANU MONGE-GANUZAS 15–52

2. **La protección del patrimonio geológico en Canarias,**
por JAIME COELLO BRAVO 53–88

3. **Litófonos de la provincia de Las Palmas: patrimonio natural y cultural,**
por ALEJANDRO JESÚS RODRÍGUEZ RUBIO 89–124

4. **Archipiélago de Cabo Verde: ciento cuarenta millones de años de diversidad geológica,**
por JOSÉ MADEIRA 125–166

5. **Cien estrellas para la memoria de la Tierra,**
por ASIER HILARIO 167–191

Patrimonio geológico. La memoria de la Tierra. Presentación

Julio Afonso
Vicepresidente de Asuntos Científicos del IEHC

El pasado noviembre de 2025 el Instituto de Estudios Hispánicos de Canarias (IEHC) llevó a cabo la vigésima primera edición de la Semana Científica Telesforo Bravo. El lema elegido para el ciclo fue «Patrimonio geológico. La Memoria de la Tierra»*, y tenía como propósito divulgar, poner en valor y actualizar la información relativa a este ámbito de la Geología que en los últimos años ha conseguido asentarse como una de las áreas de investigación relacionadas con la conservación de la Naturaleza. En este volumen de la colección «Semanas Científicas Telesforo Bravo» cada capítulo recopila los contenidos de las diferentes ponencias presentadas en el ciclo.*

La variedad natural de elementos geológicos de un territorio, soporte material sobre el que se desarrollan los ecosistemas, y condiciona la distribución de hábitats, recursos y gradientes ambientales que estructuran las comunidades biológicas, es lo que se conoce como «geodiversidad» (Carcavilla *et al*., 2008; Gray *et al*., 2023). Aunque estos componentes abióticos fueron considerados como un escenario estático frente al protagonismo concedido a los organismos vivos («biodiversidad»), hoy se admite sin discusión la importancia de la base abiótica como un partícipe activo en la estructura y funcionamiento de los ecosistemas (Odum, 1953; Gordon & Barron, 2013; Beier *et al*., 2015; Tukiainen *et al*., 2023).

Para la selección de elementos geológicos y paisajes que representan la diversidad de una región se ha acuñado el novedoso término de «geopatrimonio» o «patrimonio geológico». En la actualidad, el patrimonio geológico ha conseguido asentarse como campo de investigación de la Geología y la conservación de la Naturaleza. Pero es oportuno señalar que se trata de una incorporación relativamente reciente. Es resultado de una visión crítica del papel del hombre con respecto a su planeta, que ha conseguido inculcar en la sociedad la necesidad y el deber de asumir la protección del medio ambiente. Persigue conservar e impulsar el desarrollo sostenible con el objetivo de que las próximas generaciones puedan heredar un entorno bien

conservado. Para ello es necesario reivindicar que los elementos geológicos, muchos de excepcional interés, son parte fundamental del Patrimonio Natural (Carcavilla *et al*., 2007; Gray *et al*., 2013, 2023).

La ley 42/2007 del «Patrimonio Natural y de la Biodiversidad», define el patrimonio geológico: «conjunto de recursos naturales geológicos de valor científico, cultural y/o educativo, ya sean formaciones y estructuras geológicas, formas del terreno, minerales, rocas, meteoritos, fósiles, suelos y otras manifestaciones geológicas que permiten conocer, estudiar e interpretar: a) el origen y evolución de la Tierra, b) los procesos que la han modelado, c) los climas y paisajes del pasado y presente, y d) el origen y evolución de la vida». Por lo tanto, en el patrimonio geológico convergen aspectos científicos, técnicos, culturales, económicos, estratégicos, recreativos y sociales, que tienen como denominador común procesos o elementos naturales de origen geológico (Carcavilla *et al*., 2008; Reynard & Brilha, 2025).

En España son varias las instituciones que están prestando particular atención al patrimonio geológico, entre las que es posible destacar al Instituto Geológico y Minero, la Comisión de Patrimonio Geológico de la Sociedad Geológica de España y la Sociedad Española para la Defensa del Patrimonio Geológico y Minero de España (SEDPGYM). A nivel europeo, la Asociación Europea para la Conservación del Patrimonio Geológico (ProGEO), es el foro de discusión y la referencia mundial para el desarrollo de aspectos relacionados con el estudio y conservación del patrimonio geológico (Carcavilla *et al*., 2009; Wibledon & Smith-Meyer, 2012).

Un objetivo primordial que se han marcado las instituciones que lideran los estudios en patrimonio geológico ha sido aunar conservación con uso y disfrute. Se pretende así, fortalecer el vínculo de la ciudadanía con el territorio, asegurando una utilización sostenible como motor educativo y cultural. Para conseguirlo se trabaja en identificar, valorar, conservar y divulgar todos aquellos lugares (geositios) que representan ejemplos singulares o exclusivos del registro geológico. Entendiendo que es una herencia recibida con la obligación de gestionarla y transmitirla a las generaciones futuras (Carcavilla *et al*., 2009; Erikstad, 2013; Abad *et al*., 2022).

La «XXI Semana Científica Telesforo Bravo» fue diseñada desde el IEHC para dedicarla, de manera monográfica, a profundizar en la geodiversidad bajo la perspectiva del patrimonio geológico. Para tal fin se invitó como ponentes a un selecto grupo de científicos que han abordado esta temática desde sus diferentes ámbitos, y que además cuentan con una dilatada experiencia como divulgadores de las ciencias geológicas (Figs. 1 y 2).

El ciclo se inició con la salutación de bienvenida por parte de Jaime Coello Bravo (director de la Fundación Canaria Telesforo Bravo – Juan Coello) y Julio Afonso Carrillo (vicepresidente de Asuntos Científicos del

IEHC), seguida de la presentación de la programación que se iba a desarrollar a lo largo de la semana. Hubo palabras de agradecimiento para los ponentes por aceptar la invitación para participar en el ciclo, y para el público por la fidelidad con la que cada año sigue estas jornadas. Después, se procedió a la presentación del libro «*Fuerteventura. Sorprendente naturaleza majorera*», agradeciendo a personas y entidades que lo hacen posible. El contenido del libro fue esbozado mediante breves comentarios relativos a cada uno de los capítulos, elaborados por los ponentes que participaron en aquellas jornadas (Afonso-Carrillo, 2025).



Fig. 1. Cartel de presentación de la «XXI Semana Científica Telesforo Bravo».

A Manu Monge-Ganuzas (Fig. 3a), doctor en Geología, vinculado a la Red Mundial de Reservas de la Biosfera, varios Geoparques Mundiales de la UNESCO, y ProGEO (la ONG internacional para la conservación del patrimonio geológico), y que cuenta con una dilatada experiencia en la gestión de Áreas Protegidas, la geoconservación, y la morfodinámica y los procesos costeros, le correspondió iniciar el ciclo. En su documentada contribución, Monge-Ganuzas realizó una ilustrada defensa de la geodiversidad como la base física que sostiene la biodiversidad y una amplia gama de bienes y servicios para las personas. Nos describió la geodiversidad como soporte de la biodiversidad, reguladora de procesos ecológicos y

proveedora de beneficios, tanto materiales, como culturales y de conocimiento para la sociedad. Junto a ejemplos globales, empleó otros muchos extraídos del contexto volcánico de Canarias, que le permitieron analizar los mecanismos que vinculan geodiversidad, biodiversidad y bienestar humano. Estas relaciones resultan muy relevantes y representan una valiosa información de gran utilidad para la planificación territorial, la conservación, la gestión del riesgo y las políticas públicas en un escenario de cambio global (Monge-Ganuzas, 2026).



Fig. 2. Programa de la «XXI Semana Científica Telesforo Bravo».

Jaime Coello Bravo, titulado en Derecho y máster en Política y Gestión Medioambiental, director de la Fundación Canaria Telesforo Bravo – Juan Coello (Fig. 3b), participó en la segunda jornada. En su ponencia sobre el patrimonio geológico en Canarias expuso la enorme problemática que afecta a esta materia por la ausencia de regulación. La rica geodiversidad que exhibe cada una de las islas Canarias se traduce en un patrimonio geológico muy notable necesitado de leyes de conservación. Mientras que a la biodiversidad se ha dotado de leyes de protección, con los listados de las especies silvestres, tanto de flora como de fauna, sometidas a algún grado de amenaza; la geodiversidad, por el contrario, está desprovista, por ahora, de una relación

de lugares de interés geológico con protección legal. La ley estatal de Patrimonio Natural y Biodiversidad, parece dejar un espacio, aún por desarrollar, para la protección de los Lugares de Interés Geológico (LIGs). En Canarias, diversas entidades científicas han asumido la realización de los inventarios de aquellos lugares con interés geológico, que además cuentan con un elevado valor didáctico, divulgativo y turístico, y que están a la espera, sin embargo, de algún tipo de régimen normativo específico que los proteja. Según Coello es más complicada la situación de los yacimientos paleontológicos canarios que en la actualidad se encuentran en una especie de limbo legal (Coello Bravo, 2026).



Fig. 3. Los conferenciantes de la «XXI Semana Científica Telesforo Bravo» celebrada en el salón de actos del Instituto de Estudios Hispánicos de Canarias. a) Manu Monge-Ganuzas; b) Jaime Coello Bravo; c) Alejandro Jesús Rodríguez Rubio; d) José Madeira; e) Asier Hilario.

Alejandro Jesús Rodríguez Rubio, graduado en Ciencias del Mar (con investigación principalmente en geología litoral), docente por el Conservatorio Superior de Música de Canarias y Máster Universitario en Patrimonio Histórico, Cultural y Natural, intervino en la tercera sesión (Fig. 3c), en la que expuso una documentada aproximación a la situación actual en la que se encuentran los litófonos de la provincia de Las Palmas (Rodríguez Rubio, 2026). En su capítulo explica que los litófonos son de los pocos instrumentos que tienen origen aborigen y que aún se conservan. Se trata de rocas naturales de diferente tamaño, reconocibles por las hendiduras provocadas por el percutido constante de otras rocas sobre ellas. Esta acción da como resultado un sonido similar al de una campana, que varía en función de la composición, basáltica o fonolítica, de la roca volcánica. Al profesor Tejera Gaspar se debe, durante la segunda mitad del pasado siglo, el inicio de la catalogación de litófonos canarios y desde entonces se han reconocido numerosas variantes repartidas por las diferentes islas, lo que demuestra su arraigo entre los aborígenes.

En la cuarta jornada intervino el doctor José Madeira, profesor Asociado, actualmente jubilado, del Departamento de Ciencias de la Tierra y Energía del prestigioso Instituto Dom Luiz de la Universidad de Lisboa (Fig. 3d). Un geólogo con una dilatada experiencia en la cartografía neotectónica y vulcanológica, el control estructural de las erupciones volcánicas, la evaluación de riesgos geológicos y la caracterización de depósitos de tsunamis. Buen conocedor de la geología de las islas del Atlántico sobre las que ha realizado la mayor parte de sus investigaciones, su contribución nos muestra una visión general de la diversidad geológica del archipiélago de Cabo Verde (Madeira, 2026). Además de desarrollar la actividad volcánica histórica y la geomorfología de las diferentes islas, el profesor Madeira nos expone brevemente aspectos relacionados con afloramientos del fondo oceánico de edad Cretácica, antiguos complejos volcánicos y plutónicos, algunas discordancias en las secuencias volcánicas que revelan diferentes fases de construcción volcánica, junto con los principales tipos de edificios volcánicos y sus productos eruptivos. Finaliza resaltando que los archipiélagos oceánicos son fantásticos repositorios de geodiversidad, y el de Cabo Verde no es una excepción.

Por último, en la quinta sesión intervino el doctor Asier Hilario, doctor en Geología y coordinador científico del Geoparque Mundial de la UNESCO de la Costa Vasca, Monumento Natural Flysch de Zumaia (Fig. 3e), un experto geólogo vinculado a la Comisión Internacional de Patrimonio Geológico de la Unión Internacional de Ciencias Geológicas (IUGS), y con dilatada experiencia en la divulgación de las ciencias de la Tierra, la conservación del patrimonio geológico, y el desarrollo del programa Geoparques a nivel global. En su ponencia analizó la percepción dominante entre el colectivo de los geólogos de que la Geología es un pilar que se había tenido poco en cuenta a la hora de planificar la conservación de la naturaleza, hasta tiempos recientes. Sin embargo, conocer la Geología es fundamental para entender cómo funciona el sistema Tierra, la historia de la vida, el impacto que provocamos en el planeta o para afrontar el enorme reto que supone el cambio climático. Por eso, reconocer y proteger el Patrimonio Geológico es importante, y se está haciendo a través de diferentes iniciativas internacionales: Patrimonio Mundial de la UNESCO, Geoparques Mundiales de la UNESCO y Lugares del Patrimonio Geológico Mundial; este último, dedicado a sitios notables seleccionados exclusivamente por expertos en las diferentes disciplinas de la Geología (Hilario, 2026).

AGRADECIMIENTOS: Esta publicación nace de la desinteresada colaboración de los conferenciantes, que además de aceptar la invitación para participar en la Semana Científica, accedieron a la posterior preparación de cada uno de los capítulos. La financiación, tanto del ciclo como del libro fue aportada por GOBIERNO DE CANARIAS, CABILDO DE TENERIFE, AYUNTAMIENTO DE PUERTO DE LA CRUZ, CAJASIETE y FUNDACIÓN CAJACANARIAS.

Además, el IEHC quiere agradecer la altruista colaboración de JAVIER FIGUEROA en el diseño de la portada y el documento de preimpresión. A IRIS BARBUZANO DELGADO su buen hacer en la organización del ciclo, el diseño gráfico de la programación, la gestión administrativa del ciclo y la publicación. Por último, al público por el interés con que cada año acogen este ciclo, ya clásico en la programación de noviembre.

Con la presente publicación (Afonso-Carrillo, 2026), el INSTITUTO DE ESTUDIOS HISPÁNICOS DE CANARIAS con la colaboración de la FUNDACIÓN TELESFORO BRAVO – JUAN COELLO, mantiene el compromiso de dedicar su Semana Científica a la divulgación de la ciencia. Es también la manera en la que el IEHC decidió homenajear anualmente al profesor Telesforo Bravo, un espléndido divulgador científico, que en incontables ocasiones utilizó como tribuna el salón de actos de esta institución.

Referencias

ABAD, M., P. MOISAN & T. IZQUIERDO (2022). *Sitios de interés geológico del Valle del Copiapó. Geodiversidad, Geopatrimonio y Geoturismo*. Santiago de Chile: Letra Capital Ediciones. 84 pp.

AFONSO-CARRILLO, J. (Ed.) (2025). *Fuerteventura. Sorprendente naturaleza majorera*. XX Semana Científica Telesforo Bravo, Instituto de Estudios Hispánicos de Canarias, Puerto de la Cruz.

AFONSO-CARRILLO, J. (Ed.) (2026). *Patrimonio Geológico. La memoria de la Tierra*. XXI Semana Científica Telesforo Bravo, Instituto de Estudios Hispánicos de Canarias, Puerto de la Cruz.

BEIER, P., M.L. HUNTER & M. ANDERSON (2015). Conserving nature's stage. *Conservation Biology* 29(3): 613-617.

CARCAVILLA, L., J. LÓPEZ-MARTÍNEZ & J.J. DURÁN (2007). Patrimonio geológico y geodiversidad: investigación, conservación, gestión y relación con los espacios naturales protegidos. Instituto Geológico y Minero de España. Serie Cuadernos del Museo Geominero, nº 7. Madrid. 360 pp.

CARCAVILLA, L., J.J. DURÁN & J. LÓPEZ-MARTÍNEZ (2008). Geodiversidad: concepto y relación con el patrimonio geológico. *Geo-Temas* 10: 1299-1303.

CARCAVILLA, L., J.J. DURÁN, Á. GARCÍA-CORTÉS & J. LÓPEZ-MARTÍNEZ (2009). Geological heritage and geoconservation in Spain: past, present, and future. *Geoheritage* 1(2), 75-91.

COELLO BRAVO, J. (2026). La protección del patrimonio geológico en Canarias, pp. 53-88. En Afonso-Carrillo, J. (Ed.), *Patrimonio Geológico. La memoria de la Tierra*. XXI Semana Científica Telesforo Bravo, Instituto de Estudios Hispánicos de Canarias, Puerto de la Cruz.

ERIKSTAD, L. (2013). Geoheritage and geodiversity management–the questions for tomorrow. *Proceedings of the Geologists' Association* 124(4): 713-719.

GORDON, J.E. & H.F. BARRON (2013). Valuing geodiversity and geoconservation: Developing a more strategic ecosystem approach. *Scottish Journal of Geology* 49(1): 1-15.

GRAY, M., J.E. GORDON & E.J. BROWN (2013). Geodiversity and the ecosystem approach: The contribution of geoscience in delivering integrated environmental management. *Proceedings of the Geologists' Association* 124(4): 659-673.

GRAY, M., J.E. GORDON & E.J. BROWN (2023). Geodiversity, geoheritage and geoconservation: Implications for sustainable development. *Geoheritage* 15: 1-15.

HILARIO, A. (2026). Cien estrellas para la memoria de la Tierra, pp. 167-191. En Afonso-Carrillo, J. (Ed.), *Patrimonio Geológico. La memoria de la Tierra*. XXI Semana Científica Telesforo Bravo, Instituto de Estudios Hispánicos de Canarias, Puerto de la Cruz.

MADEIRA, J. (2026). Archipiélago de Cabo Verde: ciento cuarenta millones de años de diversidad geológica, pp. 125-166. En Afonso-Carrillo, J. (Ed.), *Patrimonio Geológico. La memoria de la Tierra*. XXI Semana Científica Telesforo Bravo, Instituto de Estudios Hispánicos de Canarias, Puerto de la Cruz.

MONGE-GANUZAS, M. (2026). ¿Por qué es importante la geodiversidad para la biodiversidad y para las personas?, pp. 15-52. En Afonso-Carrillo, J. (Ed.), *Patrimonio Geológico. La memoria de la Tierra*. XXI Semana Científica Telesforo Bravo, Instituto de Estudios Hispánicos de Canarias, Puerto de la Cruz.

ODUM, E.P. (1953). *Fundamentals of ecology*. Philadelphia, PA, Estados Unidos: W.B. Saunders. 384 pp.

REYNARD, E. & J. BRILHA (Eds.). (2025). *Geoheritage: assessment, protection, and management*. Amsterdam: Elsevier. 752 pp.

RODRÍGUEZ RUBIO, A.J. (2026). Litófonos de la provincia de Las Palmas: patrimonio natural y cultural, pp. 89-124. En Afonso-Carrillo, J. (Ed.), *Patrimonio Geológico. La memoria de la Tierra*. XXI Semana Científica Telesforo Bravo, Instituto de Estudios Hispánicos de Canarias, Puerto de la Cruz.

TUKIAINEN, H., M. TOIVANEN, & T. MALINIEMI (2023). Geodiversity as a driver of biodiversity under climate change. *Global Change Biology* 29(1): 1-14.

WIBLEDON, W.A.P. & S. SMITH-MEYER (Eds.). 2012. *Geoheritage in Europe and its conservation*. ProGEO. 405 pp.

1. ¿Por qué es importante la geodiversidad para la biodiversidad y para las personas?

Manu Monge-Ganuzas

Asociación Internacional para la Conservación del Patrimonio Geológico ProGEO
progeo.europe@gmail.com

La geodiversidad –entendida como la variedad natural de materiales, formas, procesos geológicos y suelos, así como sus relaciones espaciales y temporales– constituye la base física que sostiene la biodiversidad y una amplia gama de bienes y servicios para las personas. En las últimas décadas se han acumulado evidencias que muestran que el uso de índices de geodiversidad mejora la explicación y la predicción de la abundancia y distribución de las especies, porque incorpora aspectos de la heterogeneidad ambiental que no quedan reflejados únicamente por el clima. Paralelamente, el desarrollo conceptual de la teoría de los servicios de los ecosistemas y de las contribuciones de la naturaleza a las personas ha permitido hacer explícitas las aportaciones abióticas tradicionalmente invisibilizadas en los marcos convencionales de los servicios de los ecosistemas.

Este trabajo ofrece una revisión deliberadamente divulgativa del papel de la geodiversidad como soporte de la biodiversidad, reguladora de procesos ecológicos y proveedora de beneficios materiales, culturales y de conocimiento para las sociedades. A partir de ejemplos internacionales y, de forma destacada, del contexto volcánico de Canarias, se analizan los mecanismos que vinculan geodiversidad, biodiversidad y bienestar humano, y se discuten implicaciones prácticas para la planificación territorial, la conservación, la gestión del riesgo y las políticas públicas en un escenario de cambio global.

Introducción
La base física de los ecosistemas

La geodiversidad de un territorio se define como la variedad natural de elementos geológicos –incluyendo rocas, minerales, fósiles, formas del relieve, procesos y suelos– junto con las relaciones, estructuras y sistemas que emergen de su interacción y que se expresan en el paisaje (Gray, 2013). Esta diversidad física constituye el soporte material sobre el que se desarrollan los ecosistemas y condiciona de manera decisiva la distribución de hábitats, la disponibilidad de recursos y los gradientes ambientales que estructuran las comunidades biológicas (Fig. 1).



Fig. 1. Complejo volcánico Teide-Pico Viejo y Las Cañadas (Tenerife). Vista panorámica de la Caldera de Las Cañadas del Teide, donde se observa la coexistencia de coladas volcánicas, domos y conos de distinta edad y composición. El alto índice de geodiversidad del sistema volcánico genera marcados gradientes altitudinales y microclimáticos que controlan la formación de suelos, la distribución de hábitats y la organización de las comunidades biológicas, actuando además como un archivo geológico fundamental para reconstruir la evolución volcánica y climática del archipiélago canario. Fuente: ISS 24-10-2002, NASA.

Durante buena parte del desarrollo de las ciencias ecológicas, estos componentes abióticos fueron considerados un mero telón de fondo estático frente al protagonismo otorgado a los organismos vivos. Sin embargo, la investigación contemporánea ha demostrado que la base abiótica no solo sustenta, sino que participa activamente en la estructura, el funcionamiento y

la resiliencia de los ecosistemas. La litología, la topografía, la dinámica geomorfológica o las propiedades de los suelos influyen directamente en los ciclos biogeoquímicos, en la regulación hidrológica, en los flujos de energía o en la respuesta de los sistemas naturales frente a perturbaciones naturales o antrópicas (Millennium Ecosystem Assessment, 2005).

Desde sus orígenes, el propio concepto de ecosistema reconoce esta coproducción de funciones por parte de la naturaleza viva y no viva. Tansley (1935) definió el ecosistema como un sistema físico integrado, en el que los componentes bióticos y abióticos interactúan mediante flujos de energía y materia. Esta idea fue desarrollada posteriormente por Odum (1953), quien subrayó que los procesos ecológicos solo pueden comprenderse a partir del estudio conjunto de los organismos y de su entorno fisicoquímico. Esta concepción sistémica sigue plenamente vigente y se refleja en la definición adoptada por el Convenio sobre la Diversidad Biológica, que entiende el ecosistema como un complejo dinámico de comunidades de organismos vivos y su medio abiótico que interactúan como una unidad funcional (Convention on Biological Diversity, 1992).

En este marco, la geodiversidad emerge como un factor clave para explicar la heterogeneidad ambiental y la diversidad biológica asociada. La variabilidad del sustrato geológico y del relieve genera mosaicos de condiciones microclimáticas, edáficas e hidrológicas que amplían el espectro de nichos disponibles y favorecen la coexistencia de especies, incrementando la biodiversidad y la estabilidad de los ecosistemas a distintas escalas espaciales y temporales (Beier *et al*., 2015; Lawler *et al*., 2015). Asimismo, la base física condiciona la velocidad y dirección de los procesos de cambio, influyendo en la capacidad de adaptación de los sistemas socioecológicos frente al cambio climático y otras presiones globales. En consecuencia, ningún ecosistema puede ser comprendido ni gestionado adecuadamente sin considerar explícitamente el papel del medio físico. Integrar la geodiversidad en los marcos conceptuales y operativos de la ecología, la conservación, la restauración y la planificación territorial no solo mejora la comprensión de los procesos naturales, sino que también permite diseñar estrategias de gestión más robustas, preventivas y resilientes, alineadas con una visión verdaderamente integral de la naturaleza.

De los servicios ecosistémicos a las contribuciones de la naturaleza

Con el objetivo de sistematizar las múltiples formas en que la naturaleza contribuye al bienestar humano, a comienzos del siglo XXI se consolidó el marco de los servicios ecosistémicos, especialmente a partir de la publicación de la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio. Este enfoque supuso un punto de inflexión al vincular explícitamente el funcionamiento de los

ecosistemas con dimensiones clave del bienestar humano –salud, seguridad, medios de vida y calidad de vida– y al proporcionar un lenguaje común para integrar consideraciones ecológicas en la toma de decisiones públicas.

La clasificación propuesta por la Evaluación distinguió grandes categorías de servicios de provisión, regulación, culturales y, en un plano más basal, servicios de soporte, entendidos estos últimos como los procesos ecológicos que sostienen la producción del resto de servicios (Fig. 2). Aunque esta tipología no estuvo exenta de críticas conceptuales, resultó altamente influyente al facilitar la comunicación entre científicos, gestores y responsables políticos, y al promover la incorporación de los servicios ecosistémicos en la planificación territorial, la evaluación de impactos y las estrategias de conservación.

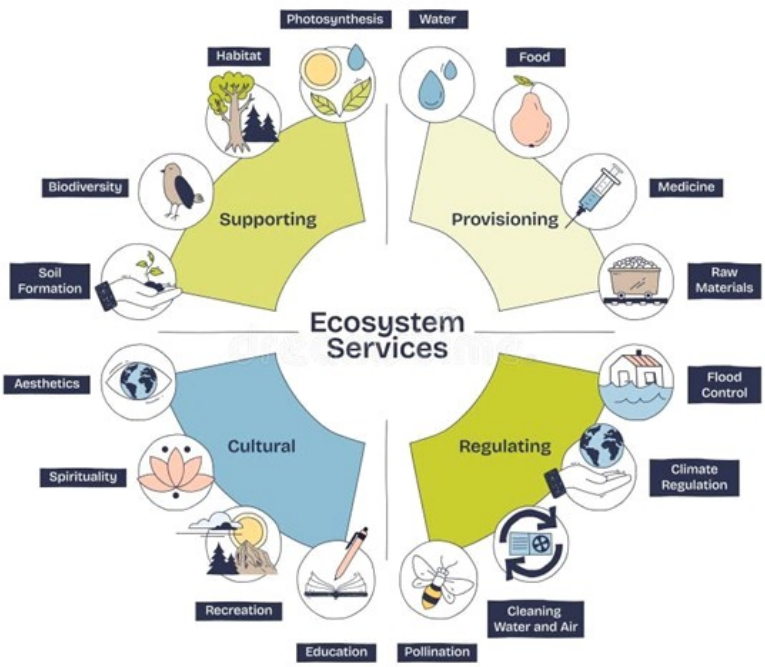


Fig. 2. Marco conceptual clásico de los servicios ecosistémicos y sus limitaciones. Esquema sintético de los servicios ecosistémicos organizado en cuatro grandes categorías –servicios de soporte, provisión, regulación y culturales– ampliamente utilizado para representar las contribuciones de los ecosistemas al bienestar humano. Aunque este enfoque ha sido instrumental para integrar la naturaleza en la toma de decisiones, la figura refleja también su tendencia a centrarse en componentes y procesos bióticos, relegando a un segundo plano el papel estructural y funcional de la geodiversidad. Este esquema sirve, así como punto de partida para transitar hacia marcos más integradores, como el de las contribuciones de la naturaleza a las personas (NCP), en los que la base física del territorio y sus valores instrumentales, relacionales e intrínsecos se incorporan de forma explícita.

A partir de este marco inicial, la economía ecológica y la ciencia de la valoración ambiental desarrollaron enfoques más refinados orientados a clarificar la relación entre funciones ecosistémicas, servicios y beneficios finales para las personas, así como, a resolver problemas metodológicos como la doble contabilización. En este contexto, se propuso centrar la atención en los servicios finales efectivamente utilizados por la sociedad, diferenciándolos de los procesos ecológicos subyacentes, lo que permitió avanzar hacia evaluaciones más consistentes y operativas (de Groot *et al*., 2010).

La adopción de clasificaciones estandarizadas, como la *Common International Classification of Ecosystem Services* (CICES), supuso un paso decisivo en esta dirección. CICES proporcionó una estructura jerárquica orientada explícitamente al uso en cartografía, evaluación y contabilidad ambiental, facilitando la comparabilidad entre estudios y su integración en marcos internacionales de estadística ambiental y económica, como el *System of Environmental-Economic Accounting – Ecosystem Accounting* (Haines-Young & Potschin-Young, 2018; United Nations, 2021).

No obstante, a medida que el enfoque de los servicios ecosistémicos se generalizó, también se hicieron evidentes sus limitaciones. En particular, se señaló su tendencia a privilegiar valores instrumentales y utilitaristas de la naturaleza, así como su dificultad para capturar adecuadamente dimensiones culturales, identitarias y relacionales, o valores que no se manifiestan directamente a través de beneficios materiales o funcionales. Estas críticas impulsaron el desarrollo de marcos conceptuales más inclusivos.

En este contexto, la Plataforma Intergubernamental sobre Biodiversidad y Servicios de los Ecosistemas (IPBES) introdujo el concepto de contribuciones de la naturaleza a las personas (Nature's Contributions to People, NCP). Este enfoque amplía la perspectiva estrictamente ecosistémica al reconocer explícitamente la pluralidad de valores asociados a la naturaleza –instrumentales, relacionales e intrínsecos– y al subrayar el papel mediador de la cultura, las instituciones, los sistemas de conocimiento y las cosmovisiones en la forma en que las sociedades perciben, usan y valoran la naturaleza (Díaz *et al*., 2018).

El marco NCP no sustituye el concepto de servicios ecosistémicos, sino que lo reinterpreta y contextualiza, integrándolo en una visión más amplia de los sistemas socioecológicos. Desde esta perspectiva, las contribuciones de la naturaleza no se entienden únicamente como flujos biofísicos, sino como resultados emergentes de la interacción entre procesos ecológicos, estructuras biofísicas y dinámicas sociales.

En este giro conceptual, la geodiversidad y los procesos abióticos adquieren un protagonismo renovado. Al ser componentes estructurales del patrimonio natural, la diversidad geológica, geomorfológica y edáfica sustenta tanto contribuciones materiales –como la provisión de agua,

materias primas, suelos fértiles o regulación de peligros naturales– como contribuciones no materiales vinculadas al sentido del lugar, la identidad cultural, el patrimonio, el conocimiento y las experiencias recreativas y espirituales. Reconocer explícitamente esta base física permite visibilizar aportaciones históricamente infrarrepresentadas y avanzar hacia marcos de evaluación y gestión más integrales y coherentes con la complejidad de la relación sociedad–naturaleza.

Servicios de los geosistemas y geodiversidad

El concepto de servicios de los ecosistemas de la geodiversidad, también denominados «servicios de los geosistemas», surge con el propósito de hacer visibles aquellas contribuciones al bienestar humano y al funcionamiento de los sistemas ecológicos que se originan directa o predominantemente en la geodiversidad, o bien en su interacción con la biota. Esta perspectiva pone el foco en los beneficios derivados de procesos y componentes de las rocas y sedimentos y de procesos geomorfológicos, hidrológicos y edáficos –como la regulación natural de riesgos geológicos e hidrológicos, la formación y mantenimiento de suelos, el soporte físico de los ecosistemas, el almacenamiento y circulación de agua subterránea o la provisión de materiales– que con frecuencia quedan implícitos, diluidos o infrarrepresentados en marcos analíticos centrados principalmente en la biodiversidad (Gordon & Barron, 2013).

A diferencia de aproximaciones que consideran lo abiótico únicamente como soporte pasivo de los ecosistemas, los servicios de los geosistemas subrayan el carácter procesual y dinámico de la base física, reconociendo que muchos beneficios clave dependen de la continuidad de procesos geológicos activos (Fig. 3). La dinámica fluvial y costera, la evolución del relieve, la meteorización de las rocas o la recarga de acuíferos no solo condicionan la distribución de los hábitats y las comunidades biológicas, sino que generan beneficios directos para las sociedades humanas, como la protección frente a inundaciones y erosión, la fertilidad edáfica o la disponibilidad de recursos hídricos.

Desde esta visión, la provisión de materiales geológicos –rocas, áridos, minerales, recursos energéticos– puede entenderse como un servicio de provisión de los geosistemas, pero también lo son funciones menos visibles pero fundamentales, como el almacenamiento de carbono en sedimentos, la regulación natural de riesgos gravitacionales y sísmicos, o la creación de gradientes topográficos y litológicos que sostienen la heterogeneidad ambiental. Estos servicios no son independientes de la biodiversidad, sino que se coproducen a través de la interacción entre procesos abióticos y biológicos, reforzando la necesidad de abordajes integrados.

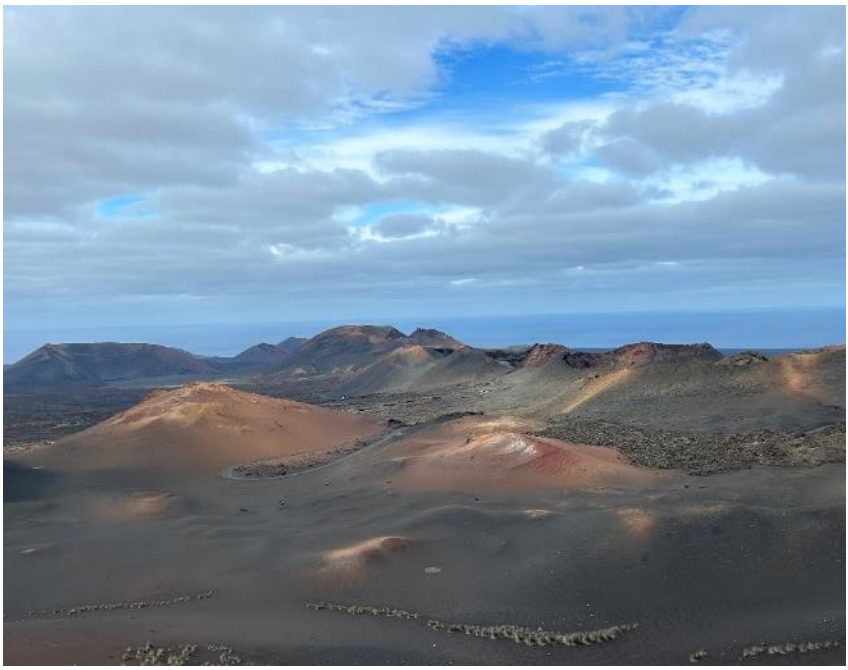


Fig. 3. Parque Nacional de Timanfaya – Montañas del Fuego (Lanzarote). Campos extensos de coladas basálticas históricas (erupciones de 1730–1736), en los que la rugosidad del sustrato volcánico, la elevada heterogeneidad superficial y los procesos de meteorización temprana controlan de forma activa la colonización biológica y la génesis inicial de suelos. Este paisaje volcánico ilustra de manera clara la geodiversidad como sistema dinámico y funcional –no como mero soporte pasivo–, integrando servicios de soporte ecológico, provisión edáfica y valores científicos, educativos y culturales asociados al patrimonio geológico canario.

Reconocer explícitamente los servicios de los geosistemas aporta un marco conceptual y operativo clave para la planificación territorial, la evaluación ambiental estratégica y la gestión sostenible de los recursos naturales. Al identificar de manera diferenciada las contribuciones de la base física, se mejora la capacidad de anticipar impactos, evitar externalidades negativas y diseñar medidas de gestión que respeten los límites y ritmos de los procesos naturales. Asimismo, este enfoque permite visibilizar conflictos y sinergias entre usos del suelo, conservación y aprovechamiento de recursos, especialmente en contextos de alta presión antrópica como zonas costeras, cuencas fluviales o áreas montañosas.

Desde una perspectiva de cambio global, los servicios de los geosistemas resultan especialmente relevantes para la resiliencia de los sistemas socioecológicos. La diversidad geológica incrementa la capacidad de los territorios para amortiguar perturbaciones, ofrecer refugios climáticos y

mantener funciones ecosistémicas bajo escenarios de cambio climático, degradación del suelo o eventos extremos. En este sentido, la geodiversidad actúa como una «infraestructura natural» de larga duración, proporcionando opciones de adaptación tanto para la biodiversidad como para las sociedades humanas (Fox *et al*., 2020).

En definitiva, la incorporación explícita de los servicios de los geosistemas contribuye a superar la infravaloración sistemática de los componentes abióticos y a integrar plenamente la geodiversidad como parte esencial de la naturaleza. Este reconocimiento no solo es coherente con los avances conceptuales hacia marcos más inclusivos, como las contribuciones de la naturaleza a las personas, sino que refuerza una visión más completa y realista de la base física sobre la que se sostienen los ecosistemas y el bienestar humano.

Evidencia empírica del vínculo entre geodiversidad y biodiversidad

A. Índices de geodiversidad y modelos de diversidad

En la última década se ha producido un avance significativo en la cuantificación de la geodiversidad, impulsado por el desarrollo de índices que integran de forma explícita la diversidad de materiales geológicos, las formas del relieve, los suelos y, en algunos casos, la intensidad o variedad de procesos geomorfológicos activos. Estos avances han sido posibles gracias a la creciente disponibilidad de datos espaciales de alta resolución –como modelos digitales del terreno, cartografía geológica armonizada y bases de datos edáficas– así como al uso generalizado de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y métodos de análisis espacial reproducibles (Hjort *et al*., 2012; Zakšek *et al*., 2011).

Diversos estudios han demostrado que la incorporación de métricas de geodiversidad mejora sustancialmente la capacidad explicativa y predictiva de los modelos de riqueza, abundancia y distribución de especies, en comparación con modelos basados exclusivamente en variables climáticas o de cobertura del suelo. Este patrón se ha constatado en una amplia variedad de contextos biogeográficos, incluyendo paisajes boreales y templados de Europa septentrional (Alahuhta *et al*., 2020), sistemas montañosos como los Alpes y los Cárpatos (Bailey *et al*., 2017), regiones árticas (Hjort *et al*., 2015), islas oceánicas volcánicas y áreas semiáridas, y para diferentes grupos taxonómicos, desde plantas vasculares y líquenes hasta invertebrados y vertebrados (Stein *et al*., 2014).

Los resultados convergen en señalar que la geodiversidad actúa como un determinante proximal de la heterogeneidad ambiental, al generar un mosaico de condiciones locales que no queda adecuadamente reflejado por

variables climáticas regionales promediadas. La variabilidad del relieve, la litología y los suelos da lugar a microclimas contrastados, a gradientes edáficos e hidrológicos abruptos y a una diversidad de sustratos físicos y geoquímicos que amplían el espectro de nichos disponibles. Estos efectos son especialmente evidentes a escalas locales y mesorregionales, donde pequeñas variaciones topográficas –como cambios de orientación, pendiente o rugosidad– o litológicas pueden traducirse en diferencias ecológicas marcadas (Parks *et al*., 2020).

En regiones volcánicas oceánicas como Canarias, la relevancia de la geodiversidad como predictor ecológico resulta particularmente clara. La coexistencia de materiales volcánicos de distinta composición y edad, la elevada rugosidad topográfica, la presencia de coladas recientes, conos volcánicos, dorsales, barrancos profundos y plataformas costeras, así como los fuertes gradientes altitudinales en distancias muy cortas, generan una extraordinaria heterogeneidad ambiental (Fig. 1). Esta combinación explica, en buena medida, la alta diversidad florística y los elevados niveles de endemicidad del archipiélago, así como la marcada zonación de ecosistemas, desde el litoral hasta los pinares y los bosques de laurisilva (Fernández-Palacios *et al*., 2016; Whittaker *et al*., 2008). Estudios recientes han mostrado que variables vinculadas al relieve y al sustrato volcánico mejoran la explicación de los patrones de distribución de plantas endémicas canarias, incluso cuando se controlan los efectos del clima (Irl *et al*., 2015).

Desde una perspectiva metodológica, la geodiversidad aporta información no redundante frente a los predictores climáticos clásicos. Mientras que las variables climáticas capturan forzamientos de gran escala, los índices de geodiversidad reflejan propiedades relativamente estables del territorio y la capacidad del medio físico para modular dichos forzamientos, actuando como amortiguadores frente a la variabilidad climática interanual o a los cambios de largo plazo. Esta complementariedad explica por qué los modelos que integran clima y geodiversidad suelen mostrar un mejor ajuste estadístico, una mayor estabilidad espacial y una mayor robustez transferencial (Albano *et al*., 2021).

Asimismo, el uso de índices de geodiversidad está adquiriendo una importancia creciente en escenarios de cambio climático, en los que se busca identificar áreas con mayor potencial para mantener la diversidad biológica a lo largo del tiempo. En este contexto, la geodiversidad se ha propuesto como un indicador o proxy de la «capacidad adaptativa del paisaje», al reflejar la disponibilidad de refugios topográficos, edáficos e hidrológicos que facilitan la persistencia de especies bajo condiciones ambientales cambiantes. Este enfoque ha sido aplicado con éxito tanto en grandes sistemas montañosos como en islas volcánicas y regiones áridas, aportando criterios operativos para la priorización espacial de la conservación (Dobrowski, 2011).

En conjunto, estos avances refuerzan la idea de que la geodiversidad desempeña un papel activo en la configuración y el mantenimiento de los patrones de biodiversidad. Incorporar índices de geodiversidad en modelos ecológicos y en herramientas de planificación territorial permite mejorar la comprensión de los procesos que generan diversidad biológica y diseñar estrategias de conservación más eficaces, resilientes y espacialmente explícitas, tanto en contextos continentales como insulares, incluyendo regiones de alta complejidad físico-ambiental como el archipiélago canario.

B. Heterogeneidad topográfica, suelos y dependencias taxonómicas

La heterogeneidad topográfica emerge de forma consistente como uno de los predictores más robustos de la diversidad biológica, si bien la magnitud y la dirección de su efecto varían en función del grupo taxonómico considerado, de los rasgos funcionales de los organismos y de la escala espacial de análisis. La variabilidad del relieve –expresada a través de gradientes de pendiente, orientación, altitud, curvatura o rugosidad– genera un amplio rango de condiciones microclimáticas y edáficas que incrementan la disponibilidad de nichos ecológicos y favorecen la coexistencia de especies, especialmente en grupos estrechamente vinculados al sustrato físico y a procesos de pequeña escala (Leempoel *et al*., 2015; Zarnetske *et al*., 2019).

En el caso de la diversidad arbórea y de plantas vasculares, numerosos estudios han documentado relaciones positivas y relativamente consistentes entre riqueza de especies, heterogeneidad topográfica y diversidad de suelos. Estas relaciones reflejan la dependencia directa de las plantas respecto a factores como la profundidad y textura del suelo, la disponibilidad y estacionalidad del agua, la química edáfica y la exposición solar, todos ellos fuertemente modulados por la topografía y la litología subyacente. En sistemas montañosos continentales, como los Alpes o las Montañas Rocosas, la combinación de gradientes altitudinales abruptos, orientaciones contrastadas y una elevada diversidad litológica se traduce en una alta diversidad florística y en la coexistencia de comunidades con requerimientos ecológicos muy distintos en espacios relativamente reducidos (Scherrer & Körner, 2011; Bailey *et al*., 2018). En islas volcánicas, estos efectos se ven reforzados por la elevada variabilidad de materiales y la rápida evolución de los suelos. En Canarias, la superposición de coladas basálticas de distinta edad, suelos poco evolucionados junto a andosoles desarrollados, y una topografía extremadamente accidentada genera una notable heterogeneidad edáfica y microclimática.

En otros grupos taxonómicos, como las aves y los mamíferos, la relación con la heterogeneidad topográfica resulta más contextual y mediada por procesos indirectos. En estos casos, la topografía influye menos como factor limitante directo y más como configuradora de la estructura del paisaje, al condicionar la diversidad de hábitats, la disponibilidad de recursos, la

conectividad funcional entre parches y los patrones de recambio de especies. Estudios realizados en paisajes templados y mediterráneos muestran que la diversidad ornitológica responde a la interacción entre heterogeneidad topográfica, cobertura del suelo y uso humano del territorio, con efectos que varían según la escala de análisis y la capacidad de dispersión de las especies (Read *et al*., 2020).

En el contexto canario, la influencia indirecta de la topografía sobre la fauna es también evidente. Los profundos barrancos, los escarpes volcánicos y las plataformas costeras generan una fuerte compartimentación del territorio que condiciona la distribución de aves terrestres y rapaces, así como de reptiles endémicos con baja capacidad de dispersión. En estos casos, la heterogeneidad topográfica contribuye a aumentar la diversidad regional, pero también puede favorecer procesos de aislamiento poblacional y diferenciación genética, especialmente en especies con requerimientos de hábitat muy específicos (Illera *et al*., 2012; Emerson & Gillespie, 2008).

Estos resultados ponen de manifiesto que la geodiversidad –y, en particular, la heterogeneidad topográfica y edáfica– no actúa como un factor universalmente positivo sobre la biodiversidad, sino como un modulador de la heterogeneidad ambiental cuyos efectos dependen de los rasgos funcionales de los organismos, de sus estrategias de dispersión y tolerancia ambiental, y de la escala espacial considerada. A escalas finas, la topografía genera refugios microclimáticos, gradientes edáficos abruptos y condiciones de alta variabilidad ambiental; a escalas más amplias, su influencia se manifiesta a través del control de la estructura del paisaje, de los gradientes regionales y de los procesos de conectividad ecológica.

Desde un punto de vista metodológico y aplicado, estos hallazgos subrayan la necesidad de enfoques multiescalares y taxonómicamente explícitos en el análisis de la relación entre geodiversidad y biodiversidad. Integrar métricas de heterogeneidad topográfica y diversidad de suelos ajustadas a la ecología de los distintos grupos biológicos resulta clave para mejorar la interpretación de los patrones de diversidad y para orientar estrategias de conservación y planificación territorial más eficaces, especialmente en territorios complejos y altamente heterogéneos como los sistemas montañosos e insulares volcánicos, entre ellos el archipiélago canario.

Geodiversidad, islas volcánicas y sistemas costeros: el caso de Canarias

Las islas volcánicas constituyen laboratorios naturales privilegiados para analizar las relaciones entre geodiversidad, biodiversidad y beneficios sociales, debido a la fuerte impronta del sustrato geológico en la

configuración del territorio y a la rápida generación de contrastes ambientales en espacios reducidos. En el archipiélago canario, esta condición se ve intensificada por la coexistencia de islas con edades geológicas muy diferentes, desde Fuerteventura y Lanzarote –con edificaciones volcánicas mayoritariamente miocenas y pliocenas– hasta El Hierro, cuya actividad volcánica histórica y reciente ilustra un sistema aún en evolución. A ello se suma una notable diversidad de estilos eruptivos, desde volcanismo fisural y estromboliano hasta fases freatomagmáticas y episodios explosivos más evolucionados (Carracedo & Troll, 2016; Martí *et al*., 2013).

La sucesión de edificios volcánicos, coladas basálticas de distinta composición y edad, conos estrombolianos, domos traquíticos, grandes deslizamientos gravitacionales, barrancos profundamente encajados y una amplia variedad de formas costeras –acantilados activos, plataformas de abrasión, playas de arena volcánica, deltas lávicos y tubos volcánicos litorales– genera gradientes abruptos de altitud, exposición, clima, suelos y disponibilidad hídrica en distancias muy cortas. Esta compleja base física da lugar a una marcada heterogeneidad ambiental que condiciona decisivamente la distribución de los hábitats, la estructura de los ecosistemas terrestres y marinos, y la aparición de elevados niveles de endemicidad y especialización ecológica (Whittaker & Fernández-Palacios, 2007).

Paisajes emblemáticos como las Cañadas del Teide, con su gran anfiteatro volcánico de alta montaña, sus coladas diferenciadas por edad y composición, y sus contrastes extremos de temperatura y radiación; la Caldera de Taburiente, resultado de una compleja interacción entre volcanismo constructivo, erosión fluvial y colapsos gravitacionales (Fig. 4); los grandes anfiteatros de deslizamiento de El Golfo y Las Playas, en El Hierro; o los extensos campos de lavas históricas del Parque Nacional de Timanfaya, en Lanzarote, ilustran de manera clara cómo la geodiversidad estructura los patrones de biodiversidad y la organización espacial de los ecosistemas. En estos contextos, la topografía, la litología, la edad del sustrato y la dinámica geomorfológica condicionan la génesis de los suelos, la retención de humedad, la exposición al viento y a la radiación solar, favoreciendo la coexistencia de comunidades contrastadas y la persistencia de especies altamente especializadas, como numerosas plantas endémicas adaptadas a sustratos jóvenes, escoriáceos o inestables (Fernández-Lugo *et al*., 2013).

La influencia de la geodiversidad resulta igualmente evidente en la diferenciación de los grandes sistemas ecológicos insulares. La presencia de barrancos profundos y orientaciones contrastadas en las islas occidentales favorece el desarrollo de laurisilva y bosques termófilos en condiciones de elevada humedad orográfica, mientras que, en las islas orientales, más antiguas, bajas y erosionadas, dominan ecosistemas xerófilos asociados a sustratos edáficos más someros y a una menor complejidad topográfica. Esta

relación directa entre relieve, edad geológica y diversidad biológica sitúa a Canarias como un ejemplo paradigmático del papel de la geodiversidad en sistemas insulares volcánicos.



Fig. 4. Caldera de Taburiente (La Palma). Gran depresión erosiva-volcánica resultante de la interacción entre volcanismo constructivo, colapsos gravitacionales y una intensa erosión fluvial. La topografía y la diversidad de materiales y formas del relieve generan una elevada heterogeneidad de hábitats y controlan la dinámica hidrológica insular. Constituye un paisaje emblemático con un fuerte valor identitario y cultural, donde la geodiversidad actúa como base integradora del soporte ecológico, la regulación de los procesos erosivos y los valores culturales asociados al territorio. Fuente: Google Maps.

Al mismo tiempo, estos paisajes volcánicos y costeros han adquirido un destacado valor cultural, identitario y simbólico, profundamente arraigado en la historia y la percepción social del territorio. Elementos geológicos singulares como los roques, malpaíses, tubos volcánicos, jameos o acantilados han sido tradicionalmente incorporados a usos agrícolas, ganaderos y pesqueros, así como a narrativas culturales y prácticas locales. La geodiversidad canaria no solo sustenta funciones ecológicas, sino que genera contribuciones no materiales vinculadas al sentido del lugar, el patrimonio cultural, la educación y la recreación. En la actualidad, el relieve volcánico y los paisajes costeros constituyen uno de los principales activos del modelo turístico insular, especialmente en ámbitos como el senderismo, la observación de la naturaleza y el geoturismo.

La declaración del Geoparque Mundial de la UNESCO de El Hierro (2014) y del Geoparque de Lanzarote y el Archipiélago Chinijo (2015) representa un reconocimiento explícito de la geodiversidad canaria como patrimonio natural de relevancia internacional y como recurso estratégico para el desarrollo sostenible. Estos geoparques promueven modelos de gestión que integran conservación, educación, divulgación científica y geoturismo, reforzando el vínculo entre la población local y su entorno geológico y contribuyendo a diversificar las economías insulares desde una perspectiva territorialmente arraigada y basada en el conocimiento (UNESCO, 2016).

En los sistemas costeros, la interacción entre procesos volcánicos, marinos y biológicos adquiere una relevancia particular. Los acantilados activos del norte de Tenerife y La Palma, las plataformas rocosas intermareales, los sebadales asociados a fondos volcánicos someros y las playas negras de origen basáltico constituyen sistemas de elevada productividad ecológica y alta dinámica geomorfológica. En estos entornos, la geodiversidad condiciona tanto la biodiversidad marina y litoral como la provisión de servicios de regulación, como la disipación de la energía del oleaje, la protección frente a la erosión y la configuración de hábitats clave para numerosas especies de invertebrados, peces y aves marinas (Masselink & Gehrels, 2014; Rangel-Buitrago *et al*., 2018) (Fig. 5).



Fig. 5. Acantilados de Los Gigantes (Tenerife). Acantilados volcánicos de gran altura que constituyen una de las principales estructuras geomorfológicas del litoral occidental de Tenerife. Estas paredes rocosas actúan como sistemas naturales de disipación de la energía del oleaje y condicionan la dinámica sedimentaria y erosiva costera, contribuyendo a la protección frente a la erosión marina. Al mismo tiempo, la morfología abrupta del acantilado proporciona hábitats clave para comunidades marinas y aves nidificantes, y configura un paisaje litoral de elevado valor escénico, donde la geodiversidad desempeña un papel determinante en la regulación costera y en la estructura física del territorio.

El caso canario pone de manifiesto que la geodiversidad es un componente esencial para comprender la singularidad ecológica y cultural de las islas volcánicas y de sus sistemas costeros. Reconocer explícitamente el papel de los procesos geológicos en el soporte de la biodiversidad y la generación de bienestar humano resulta clave para diseñar estrategias de conservación, ordenación territorial y desarrollo sostenible más integradas, resilientes y adaptadas a la complejidad de los sistemas socioecológicos insulares.

Servicios de regulación y mantenimiento

La geodiversidad desempeña un papel esencial en los servicios de regulación y mantenimiento, al controlar procesos ecológicos fundamentales que sostienen tanto el funcionamiento de los ecosistemas como la seguridad y el bienestar de las sociedades humanas. Las formas del relieve, los materiales geológicos y los procesos geomorfológicos activos regulan flujos de agua, sedimentos, energía y nutrientes, actuando como infraestructuras naturales de larga duración que modulan forzamientos climáticos y reducen la exposición a riesgos naturales.

En archipiélagos volcánicos, la relación entre geodiversidad y los procesos atmosféricos y oceánicos resulta especialmente estrecha. En Canarias, los fuertes gradientes topográficos y la disposición del relieve volcánico condicionan la circulación atmosférica local y regional, influyendo de manera decisiva en la formación de la inversión térmica, en los regímenes de alisio y en los patrones de nubosidad orográfica. Las medianías septentrionales de Tenerife, La Palma o Gran Canaria actúan como barreras topográficas que favorecen la condensación de humedad y el desarrollo del «mar de nubes», regulando la disponibilidad hídrica y el microclima de ecosistemas como la laurisilva (Fig. 6).

Asimismo, la naturaleza volcánica de los suelos y rocas influye en la química atmosférica y en la calidad del aire a escala local, especialmente en contextos de actividad eruptiva o desgasificación difusa, como se ha observado históricamente en El Hierro y La Palma. A escala oceánica, las plataformas volcánicas someras, los cabos y los accidentes submarinos influyen en la dinámica de corrientes y afloramientos, modulando la productividad marina y los flujos de nutrientes en el entorno insular (Barton *et al*., 2000). Estos procesos contribuyen indirectamente a la regulación climática y al ciclo hidrológico insular, reforzando el acoplamiento entre sistemas terrestres y marinos.

Los procesos terrestres controlados por la geodiversidad –incluyendo el ciclo de las rocas, los ciclos biogeoquímicos y los procesos geomorfológicos– desempeñan un papel clave en la regulación del clima y de los riesgos naturales. En Canarias, el volcanismo reciente y la continua

meteorización de materiales basálticos favorecen la fijación y almacenamiento de carbono inorgánico en suelos jóvenes y en depósitos volcánicos alterados, contribuyendo al secuestro de carbono a largo plazo (Moulton *et al*., 2000; Dessert *et al*., 2003).



Fig. 6. Relieves volcánicos abruptos de Anaga (Tenerife). La topografía escarpada del macizo controla la elevación y persistencia de la nubosidad orográfica, regulando de forma activa el microclima local y la disponibilidad hídrica. Este proceso físico, directamente condicionado por la geodiversidad, sustenta la distribución de comunidades vegetales de elevada biodiversidad y endemicidad, evidenciando el vínculo funcional entre relieve volcánico, dinámica atmosférica y sistemas ecológicos insulares.

La dinámica geomorfológica asociada a laderas volcánicas, barrancos y acantilados regula además el balance sedimentario y el control natural de la erosión. La presencia de coladas antiguas estabilizadas, conos volcánicos erosionados y paleosuelos intercalados reduce la movilización masiva de sedimentos, mientras que los grandes deslizamientos gravitacionales –como los de La Orotava (Tenerife) o El Golfo (El Hierro)– configuran la topografía y condicionan la distribución espacial del riesgo geológico, actuando como elementos clave en la planificación territorial y la prevención de desastres (Masson *et al*., 2002).

En sistemas fluviales y torrenciales, elementos geomorfológicos como llanuras de inundación, terrazas fluviales y abanicos aluviales funcionan como dispositivos naturales de laminación de avenidas, atenuando los picos de caudal durante episodios extremos (Ward *et al*., 1999). Aunque en Canarias los cursos de agua son mayoritariamente efímeros, los barrancos

desempeñan funciones análogas. Ejemplos como los barrancos de Agaete (Gran Canaria), Badajoz (Tenerife) o Las Angustias (La Palma) actúan como corredores naturales de drenaje y transporte sedimentario, reduciendo el riesgo de inundaciones súbitas en episodios de lluvias intensas y contribuyendo a la recarga hídrica en los tramos altos y medios (Custodio, 2007; Romero-Díaz *et al*., 2018).

En el ámbito litoral, la regulación de inundaciones marinas se ve reforzada por playas volcánicas, campos dunares fósiles y plataformas rocosas costeras que disipan la energía del oleaje y amortiguan el impacto de temporales. Estos elementos naturales son considerados como Soluciones Basadas en la Naturaleza frente al ascenso del nivel del mar y los eventos extremos asociados al cambio climático (Fig. 7).



Fig. 7. Paisaje litoral del Parque Natural del Archipiélago Chinijo (La Graciosa), caracterizado por playas volcánicas, campos dunares fósiles y amplias plataformas rocosas costeras de baja cota. Estos elementos geomorfológicos disipan la energía del oleaje y amortiguan el impacto de temporales marinos, reforzando la regulación natural frente a inundaciones costeras. El conjunto ejemplifica el papel de la geodiversidad litoral como solución basada en la naturaleza para la protección del litoral ante el ascenso del nivel del mar y el incremento de eventos extremos asociados al cambio climático, integrando funciones de regulación costera con elevados valores paisajísticos y ecológicos.

La regulación de la calidad del agua constituye otro servicio fundamental vinculado a la geodiversidad. Suelos volcánicos, depósitos piroclásticos y formaciones geológicas porosas actúan como filtros naturales que retienen contaminantes, atenúan la carga de sedimentos y regulan la composición

química del agua infiltrada. En Canarias, la elevada permeabilidad de coladas basálticas fracturadas y la presencia de paleosuelos arcillosos favorecen procesos de filtración natural y almacenamiento subterráneo, contribuyendo a mantener la calidad de los acuíferos insulares (Cabrera *et al*., 2012). Estos procesos son especialmente relevantes en un contexto de fuerte presión sobre los recursos hídricos, donde la calidad del agua subterránea resulta crítica para el abastecimiento humano y agrícola. La conservación de zonas de recarga, barrancos y suelos volcánicos bien desarrollados se revela así, como un componente esencial de las estrategias de gestión sostenible del agua en el archipiélago (Fig. 8).



Fig. 8. Vista del sistema de barrancos profundamente encajados del macizo de Teno desde el mirador de la Cruz de Hilda (Tenerife). La red de barrancos, excavada en potentes materiales volcánicos, actúa como corredor geomorfológico activo para la escorrentía y el transporte de sedimentos durante episodios de lluvias intensas, contribuyendo a la regulación hidrológica natural y a la laminación de avenidas. La elevada permeabilidad de coladas basálticas fracturadas y la presencia de suelos volcánicos favorecen procesos de infiltración, filtración natural y almacenamiento subterráneo, fundamentales para la regulación de la calidad y disponibilidad del agua. El conjunto ilustra el papel de la geodiversidad como infraestructura natural clave para la seguridad hídrica y la resiliencia territorial en ambientes insulares.

Servicios de soporte: la base física sobre la que se desarrollan los ecosistemas y las actividades humanas

Los procesos del suelo, la provisión de hábitats, la función del territorio y del agua como plataformas para usos sociales y económicos, y la capacidad

de enterramiento y almacenamiento del subsuelo conforman un conjunto de servicios fundamentales para la sociedad y el territorio.

Los procesos de meteorización física y geoquímica, junto con la acumulación y transformación de materia orgánica, controlan el desarrollo de los perfiles de suelo y su fertilidad. En contextos volcánicos, la alteración de basaltos, lapillis y cenizas da lugar a suelos jóvenes, a menudo de elevada capacidad de retención hídrica y disponibilidad de nutrientes específicos. En Canarias, los andosoles desarrollados sobre piroclastos y coladas volcánicas –especialmente en islas como Tenerife, La Palma o El Hierro– han constituido la base edáfica de sistemas agrícolas tradicionales, favoreciendo cultivos como la vid, la papa o el plátano en condiciones climáticas limitantes (Arnalds *et al*., 2016).

Un ejemplo singular es el sistema de enarenado volcánico de Lanzarote, donde capas artificiales de lapilli (picón) se utilizan para mejorar la retención de humedad, reducir la evaporación y proteger el suelo frente a la erosión eólica (Fig. 9). Este sistema, directamente dependiente de las propiedades físicas del material volcánico, ha permitido el desarrollo de una agricultura viable en condiciones áridas extremas, ilustrando el papel del suelo como servicio de soporte clave para la producción de alimentos (AEMET, 2012; Fernández-Cabrera *et al*., 2019).



Fig. 9. Sistema de enarenado volcánico de La Geria (Lanzarote). Viñedos cultivados mediante el sistema de enarenado volcánico, en el que una capa de lapilli (picón) cubre el suelo agrícola y actúa como regulador hídrico y térmico, reduciendo la evaporación, favoreciendo la infiltración y protegiendo los horizontes edáficos subyacentes. Este paisaje agrario ejemplifica la interacción directa entre geodiversidad, procesos edáficos activos y conocimiento tradicional, mostrando cómo la base volcánica no solo sustenta, sino que condiciona y posibilita la producción de alimentos en condiciones climáticas áridas.

La geodiversidad sustenta una amplia variedad de hábitats físicos que actúan como soporte directo de la biodiversidad. En Canarias, cuevas y tubos volcánicos –como los del sistema Corona en Lanzarote o los tubos de San Marcos en Tenerife– albergan comunidades faunísticas altamente especializadas, incluyendo especies troglobias endémicas estrechamente ligadas a condiciones microclimáticas estables y a la dinámica hidrogeológica subterránea (Oromí *et al*., 2010) (Fig. 10).



Fig. 10. Cuevas y tubos volcánicos del sistema Corona – Jameos del Agua (Lanzarote). Interior de un tubo volcánico del sistema Corona, caracterizado por condiciones microclimáticas estables y una elevada heterogeneidad estructural que sustentan comunidades de fauna subterránea altamente especializada, incluyendo especies endémicas estrechamente ligadas a la dinámica hidrogeológica del subsuelo volcánico. Estos sistemas constituyen hábitats singulares generados por procesos volcánicos activos y funcionan, al mismo tiempo, como archivos naturales clave para el estudio de la evolución geológica y biológica de las islas, además de poseer un destacado valor educativo y cultural.

Los acantilados costeros y roques emergentes proporcionan hábitats críticos para aves marinas nidificantes, como el petrel de Bulwer o la pardela cenicienta, mientras que los malpaíses volcánicos recientes constituyen hábitats dinámicos donde la colonización biológica temprana y la sucesión ecológica están directamente condicionadas por la estructura, rugosidad y composición del sustrato volcánico. Estos hábitats físicos, generados y mantenidos por procesos geológicos activos, representan un componente esencial del soporte ecológico insular.

La base geológica y geomorfológica del territorio actúa como plataforma para actividades humanas fundamentales. En Canarias, la construcción de asentamientos, infraestructuras portuarias y aeroportuarias, redes viarias y

zonas agrícolas está directamente condicionada por la topografía volcánica, la estabilidad del sustrato y la disponibilidad de plataformas naturales o artificiales. Grandes obras de relleno y acondicionamiento del terreno han permitido el desarrollo de puertos clave para la conectividad insular y atlántica, como los de Las Palmas de Gran Canaria o Santa Cruz de Tenerife, sobre sustratos volcánicos costeros.

Asimismo, la interacción entre la base física volcánica y el medio marino ha favorecido actividades recreativas y deportivas específicas. La configuración del fondo marino, los arrecifes volcánicos y la morfología costera condicionan la generación de oleaje y rompientes que sustentan prácticas como el surf, especialmente en enclaves como La Santa (Lanzarote), El Confital (Gran Canaria) o Punta Blanca (Tenerife). En estos casos, la geodiversidad actúa como soporte material directo de actividades económicas ligadas al ocio y al turismo activo.

El subsuelo constituye un espacio clave para el enterramiento y almacenamiento de materiales, funciones estrechamente ligadas a la geodiversidad. A escala global, formaciones geológicas adecuadas permiten el almacenamiento de agua, hidrocarburos, residuos y carbono. En Canarias, aunque no existen yacimientos de petróleo o gas explotados, el almacenamiento de agua en acuíferos volcánicos representa un servicio crítico. Las coladas basálticas fracturadas, paleosuelos impermeables y estructuras volcánicas superpuestas permiten el almacenamiento subterráneo de grandes volúmenes de agua dulce, fundamentales para el abastecimiento humano y agrícola (Cabrera & Custodio, 2018). El enterramiento de residuos sólidos urbanos y la ubicación de infraestructuras de gestión de desechos también dependen de la naturaleza del sustrato geológico y de su capacidad de aislamiento. Además, los procesos de meteorización acelerada de rocas basálticas han sido propuestos como una vía potencial para la captura y almacenamiento de carbono a largo plazo, un enfoque que despierta creciente interés en regiones volcánicas en el contexto de la mitigación del cambio climático (Matter *et al*., 2016; Kelemen *et al*., 2020).

Servicios de provisión: recursos materiales y energéticos de la geodiversidad

La geodiversidad constituye la base de una amplia gama de servicios de provisión, al suministrar recursos materiales, energéticos y geológicos que sostienen los sistemas productivos, el bienestar humano y el desarrollo económico. Estos servicios incluyen el suministro de agua y alimentos, nutrientes y minerales esenciales, fuentes de energía, materiales de construcción, minerales industriales y productos ornamentales, así como recursos paleontológicos con valor científico y económico. En territorios insulares volcánicos como Canarias, estos servicios adquieren una relevancia

estratégica debido a la limitación espacial, la dependencia exterior y la estrecha relación entre recursos naturales y modelo socioeconómico.

El suministro de agua dulce constituye uno de los servicios de provisión más críticos vinculados a la geodiversidad. En Canarias, los acuíferos volcánicos almacenados en coladas basálticas fracturadas, piroclastos y paleosuelos han sido históricamente la principal fuente de agua para consumo humano, riego y usos agroindustriales. Este recurso ha permitido el desarrollo de cultivos de alta relevancia socioeconómica –plátano, tomate, vid– y de industrias asociadas a la transformación alimentaria.

Asimismo, la composición mineral del agua subterránea y de manantiales volcánicos condiciona su uso como agua mineral con propiedades específicas, aprovechada en embotelladoras locales. La sal marina, obtenida tradicionalmente en salinas costeras asociadas a plataformas volcánicas bajas (como Janubio en Lanzarote, Fuencaliente en La Palma o el Malpaís de Güímar en Tenerife), representa otro ejemplo de recurso alimentario directamente dependiente de la geología y la geomorfología litoral (Fig. 11). Estos espacios combinan funciones productivas, patrimoniales y ecológicas, ligando la provisión de alimentos con valores culturales y paisajísticos.



Fig. 11. Restos de salinas tradicionales sobre coladas basálticas del Malpaís de Güímar (Tenerife), desarrolladas mediante la adaptación directa de la superficie volcánica costera para la captación y evaporación del agua marina. La irregularidad y baja cota de la plataforma lávica condicionan la disposición de los cocederos y tajos, evidenciando el control geomorfológico del litoral volcánico sobre este sistema productivo histórico. El enclave ilustra la integración de la geodiversidad litoral en prácticas tradicionales de provisión de sal, así como su valor cultural, paisajístico y patrimonial, hoy puesto en relación con la interpretación ambiental y el uso público del espacio protegido.

La geodiversidad suministra nutrientes minerales esenciales para el crecimiento humano y vegetal. Los suelos volcánicos canarios, desarrollados a partir de la meteorización de basaltos y piroclastos, son ricos en elementos como potasio, hierro, magnesio y calcio, fundamentales para la fertilidad del suelo y la producción agrícola. Esta base geoquímica explica, en parte, la productividad de determinados sistemas agrarios tradicionales y la calidad nutricional de cultivos locales.

A escala más amplia, minerales extraídos de rocas volcánicas y sedimentarias se emplean como enmiendas agrícolas, fertilizantes y materias primas para la industria química y farmacéutica, subrayando el vínculo entre geodiversidad, salud humana y seguridad alimentaria (UNEP, 2019).

La geodiversidad sustenta una diversidad de recursos energéticos, tanto fósiles como renovables. El archipiélago canario presenta un destacado potencial para energías renovables estrechamente vinculadas a su base física. El volcanismo reciente confiere un interés estratégico a la energía geotérmica, especialmente en islas como Tenerife, La Palma y El Hierro, donde se investigan recursos de media y alta entalpía como complemento a otras fuentes renovables (Pérez *et al*., 2020).

Asimismo, la topografía, la exposición al viento y la configuración costera favorecen el aprovechamiento de la energía eólica y de energías marinas como la undimotriz, directamente condicionadas por la morfología volcánica insular y la dinámica oceánica. Estos recursos refuerzan el papel de la geodiversidad como soporte de la transición energética en contextos insulares dependientes del exterior.

Las rocas y sedimentos proporcionados por la geodiversidad constituyen la base de los materiales de construcción. En Canarias, los basaltos, traquibasaltos, lapillis, arenas volcánicas y áridos han sido y siguen siendo empleados en edificación, infraestructuras viarias, puertos y obras hidráulicas.

El cemento, el hormigón y los aglomerados utilizados en el archipiélago dependen en última instancia de materias primas minerales, lo que refuerza la necesidad de una gestión sostenible de los recursos locales y de la planificación de canteras y zonas de extracción compatible con la conservación del paisaje y la biodiversidad.

La geodiversidad suministra minerales industriales fundamentales para la economía moderna, utilizados en la fabricación de aleaciones metálicas, productos químicos, cosméticos, farmacéuticos y fertilizantes. En el contexto canario, aunque la minería metálica es limitada, los recursos volcánicos han sido empleados para la obtención de abrasivos, materiales aislantes, puzolanas y otros productos industriales, destacando su papel como materias primas estratégicas de menor impacto que la minería metálica convencional (European Commission, 2020).

Determinadas rocas volcánicas, minerales y formaciones geológicas se emplean como productos ornamentales, tanto en construcción como en diseño urbano y artesanía. En Canarias, ignimbritas, basaltos pulidos y piedras volcánicas de distinta textura y color se utilizan en pavimentación, arquitectura tradicional y contemporánea, y elementos patrimoniales, reforzando el vínculo entre geodiversidad, identidad cultural y economía local.

Aunque limitados en extensión, los fósiles y registros paleontológicos presentes en Canarias poseen un alto valor científico, educativo y patrimonial. La comercialización de fósiles, cuando existe, plantea importantes retos éticos y de conservación, ya que estos recursos son irreemplazables y esenciales para la reconstrucción de la historia ambiental y climática del archipiélago. Su gestión responsable se enmarca hoy en políticas de protección del patrimonio paleontológico.

Servicios culturales y de conocimiento

La geodiversidad genera una amplia gama de servicios culturales y de conocimiento que abarcan el ocio, la recreación, la contemplación estética, la inspiración artística, la educación, la identidad territorial y el sentido del lugar. Los paisajes geológicos, lejos de ser meros escenarios, actúan como «infraestructuras culturales» que moldean prácticas sociales, relatos colectivos y economías locales, influyendo en cómo las comunidades perciben y valoran su territorio.

En el archipiélago de Canarias, estos servicios adquieren una relevancia singular debido al carácter volcánico del territorio y a la espectacularidad de sus formas del relieve. El Teide, con su estratovolcán, caldera y extensos campos de lavas, no solo es el punto más elevado de España, sino también un símbolo identitario de alcance regional y nacional, profundamente arraigado en la iconografía y en la percepción colectiva del paisaje. Del mismo modo, el Parque Nacional de Timanfaya, con sus coladas históricas del siglo XVIII, constituye un referente excepcional de paisaje volcánico reciente que conjuga valores estéticos, científicos y educativos, además de ser un polo de atracción turística de primer orden.

Los elementos geológicos canarios sustentan una oferta recreativa y turística fuertemente dependiente de la geodiversidad. Las rutas de senderismo y alta montaña en Las Cañadas del Teide, los itinerarios de volcanes históricos en La Palma (Cumbre Vieja, San Antonio o Teneguía) o los recorridos por malpaíses y campos de lava en Tenerife, Lanzarote y Fuerteventura son ejemplos de cómo la geodiversidad estructura experiencias recreativas ligadas a la contemplación y a la interpretación del territorio. En el litoral, los acantilados y plataformas volcánicas –como Los Gigantes (Tenerife), el norte de La Palma o la costa del Archipiélago Chinijo–

sostienen actividades de observación paisajística, buceo y navegación, reforzando el vínculo entre ocio, economía local y patrimonio geológico.

Aunque la recolección de fósiles no es un rasgo característico de Canarias como destino (por la naturaleza volcánica dominante y por los marcos de protección), el interés por depósitos marinos elevados, playas fósiles y registros cuaternarios existe en contextos educativos y científicos. Precisamente por ello, la gestión del patrimonio geológico recomienda encauzar estas prácticas mediante interpretación, regulación y educación, evitando la extracción no autorizada y priorizando el valor científico y social del registro.

La geodiversidad se integra en el sentido del lugar a través de referencias simbólicas, usos tradicionales y patrimonio construido. En Canarias, roques, calderas, barrancos y lavas forman parte del imaginario cultural y del relato identitario de las islas (Fig. 12). Espacios como Roque Nublo (Gran Canaria) o Roque de los Muchachos (La Palma) han adquirido un papel emblemático como hitos paisajísticos, mientras que determinados enclaves volcánicos y montañosos se asocian a prácticas culturales, toponimia y tradiciones locales.



Fig. 12. Roques de García, Parque Nacional del Teide (Tenerife), con el Roque Cinchado como hito geomorfológico dominante del paisaje volcánico de alta montaña. Estos roques, modelados por la erosión diferencial de antiguos materiales volcánicos, constituyen uno de los referentes visuales y simbólicos más reconocibles de Canarias, inmortalizado en el emblemático billete de mil pesetas y profundamente arraigado en la identidad colectiva del archipiélago. La presencia de senderos y uso público evidencia la integración de estos elementos de la geodiversidad en el imaginario cultural, la experiencia social del paisaje y la construcción histórica del territorio insular.

Asimismo, la arquitectura tradicional en piedra volcánica –muros, bancales, eras, aljibes y caminos empedrados– materializa la relación histórica entre comunidad y recursos geológicos, incorporando la geodiversidad al patrimonio cultural y a la memoria colectiva.

Los paisajes volcánicos canarios han sido fuente de inspiración para la creación artística, desde la fotografía y la pintura hasta la arquitectura y el arte público. El uso estético y funcional de materiales volcánicos en espacios culturales –y la reinterpretación artística del paisaje– ejemplifica cómo la geodiversidad genera contribuciones no materiales vinculadas a la creatividad y la identidad. En Lanzarote, la integración de formas volcánicas y diseño en espacios culturales visitables (por ejemplo, en entornos de jameos, tubos y miradores) evidencia la capacidad de la geodiversidad para catalizar expresiones artísticas y reforzar el atractivo cultural del territorio.

Los servicios culturales también se expresan en el desarrollo social: asociaciones, excursiones interpretativas, voluntariado ambiental, eventos locales y redes educativas. En Canarias, las iniciativas vinculadas a los Geoparques Mundiales UNESCO (El Hierro; Lanzarote y Archipiélago Chinijo) promueven educación, participación y divulgación científica, fortaleciendo la alfabetización geológica y el capital social mediante actividades para residentes y visitantes. Este tipo de gobernanza del territorio, basada en el patrimonio geológico, favorece la cohesión comunitaria y la diversificación económica mediante geoturismo y educación ambiental.

Más allá de su dimensión estética y recreativa, la geodiversidad proporciona servicios de conocimiento fundamentales. Los archivos geológicos –estratigrafías volcánicas, paleosuelos, depósitos sedimentarios, coladas superpuestas, terrazas marinas y formas erosivas– actúan como registros de largo plazo de la historia de la Tierra. En Canarias, el estudio de secuencias volcánicas y paleosuelos ha permitido reconstruir la evolución del archipiélago, los pulsos eruptivos, los episodios de crecimiento y colapso de edificios insulares y las interacciones entre volcanismo, clima y biota a lo largo del tiempo (Carracedo *et al*., 1998). En particular, las terrazas marinas y depósitos litorales elevados aportan información relevante para inferir cambios del nivel del mar y dinámicas costeras pasadas, clave para contextualizar los escenarios actuales de cambio global.

Canarias también tiene un valor destacado para la historia de la investigación en volcanología e ígneas, por ser un archipiélago ampliamente estudiado desde la geología clásica hasta la geocronología y la monitorización moderna. La interpretación de coladas, centros eruptivos, diques, domos y depósitos explosivos ha contribuido a consolidar marcos conceptuales sobre construcción de islas oceánicas, peligros volcánicos y evolución de edificios insulares. Esta dimensión, aunque menos visible para el público general, se traduce en prestigio científico, formación y capacidad técnica local.

Los servicios de conocimiento adquieren una importancia estratégica para la anticipación y gestión de riesgos y para la vigilancia ambiental. El análisis de depósitos eruptivos, colapsos gravitacionales y registros costeros ofrece una base científica para evaluar peligrosidad volcánica, inestabilidad de laderas y exposición a inundación marina. La erupción de Cumbre Vieja (La Palma, 2021) evidenció el valor social de la monitorización y del conocimiento geológico para la gestión de emergencias y la comunicación pública del riesgo. A su vez, la información derivada de terrazas marinas, dinámicas costeras y registros sedimentarios contribuye a mejorar la previsión de impactos asociados al ascenso del nivel del mar y a la intensificación de temporales.

La geodiversidad también sustenta aplicaciones geoforenses: análisis de suelos, sedimentos, minerales y materiales particulados para investigaciones ambientales, gestión de vertidos, trazabilidad de materiales y peritajes. En territorios insulares, donde la presión humana y la sensibilidad ambiental son elevadas, estas herramientas pueden ser relevantes para apoyar procedimientos técnicos y administrativos, reforzando el nexo entre conocimiento geológico y gobernanza del territorio.

Finalmente, la geodiversidad canaria funciona como un aula al aire libre para la formación universitaria y profesional en geología, ecología, riesgos naturales, conservación y turismo sostenible. Los geoparques, centros de interpretación, museos, itinerarios señalizados y programas educativos favorecen la alfabetización científica y generan empleo directo e indirecto en interpretación, investigación aplicada y gestión del patrimonio. Este servicio conecta valores intangibles (conocimiento, identidad) con beneficios socioeconómicos tangibles, especialmente relevantes en economías insulares intensamente dependientes del turismo.

Integración operativa en planificación y políticas públicas

La incorporación efectiva de la geodiversidad en la gestión ambiental requiere el desarrollo de cartografías e inventarios integrados que analicen de manera conjunta variables abióticas, bióticas y socioambientales. Este enfoque supera visiones sectoriales del territorio y permite capturar la complejidad de los sistemas socioecológicos, reconociendo el papel estructurante del sustrato físico en la distribución de hábitats, la provisión de servicios y la generación de riesgos naturales.

En la última década, los avances en teledetección, modelos digitales de elevaciones de alta resolución y sistemas de información geográfica (SIG) han facilitado la derivación de métricas de geodiversidad reproducibles y comparables. Variables como la rugosidad topográfica, la diversidad litológica, la variedad de suelos o la densidad de formas del relieve pueden

integrarse en índices espaciales aplicables a la conservación, la ordenación del territorio y la evaluación ambiental estratégica. Estos desarrollos metodológicos han permitido incorporar la geodiversidad de forma operativa en modelos de biodiversidad, análisis de conectividad ecológica y evaluaciones de vulnerabilidad frente al cambio climático.

En Canarias, este enfoque resulta especialmente pertinente debido a la elevada heterogeneidad geológica y a la fuerte presión sobre el territorio. La integración de cartografía geológica, geomorfológica, edáfica y de usos del suelo ha demostrado su utilidad para identificar áreas con alta capacidad de provisión de servicios de regulación y refugio climático, así como zonas de elevada peligrosidad volcánica, gravitacional o costera. Por ejemplo, en islas como La Palma, Tenerife o El Hierro, la combinación de información sobre coladas históricas, grandes deslizamientos, pendientes y ocupación del suelo permite anticipar conflictos entre expansión urbana, infraestructuras críticas y zonas de riesgo, reforzando la prevención frente a eventos extremos y la gestión post-eruptiva (Fig. 13).

Del mismo modo, en los Geoparques Mundiales de la UNESCO de El Hierro y Lanzarote–Archipiélago Chinijo, los inventarios de patrimonio geológico han servido como base para la planificación del geoturismo y la educación ambiental, articulando conservación y desarrollo local desde una perspectiva territorialmente informada. Estos ejemplos muestran cómo la cartografía de la base física no es un fin en sí mismo, sino una herramienta para orientar decisiones de uso del territorio coherentes con los límites geomorfológicos e hidrológicos de los sistemas insulares.

A escala internacional, enfoques análogos se han aplicado con éxito en contextos diversos. En Escandinavia, la integración de índices de geodiversidad en estrategias de conservación ha servido para identificar áreas prioritarias para la biodiversidad bajo escenarios de cambio climático, siguiendo el enfoque de «*conserving nature's stage*», que prioriza la diversidad geofísica como soporte de la resiliencia ecológica. En regiones montañosas de los Alpes y los Cárpatos, la cartografía integrada de relieve, litología y procesos activos ha mejorado la planificación frente a riesgos de aludes, deslizamientos y torrentes, al tiempo que ha permitido compatibilizar conservación, turismo y usos tradicionales del suelo.

En sistemas costeros, como los del Reino Unido, Países Bajos o Australia, la incorporación de la geodiversidad en la planificación litoral ha resultado clave para diseñar estrategias de adaptación basada en la naturaleza. La identificación de playas, dunas, marismas y plataformas rocosas como elementos funcionales del sistema costero permite reducir la dependencia de infraestructuras duras y aumentar la resiliencia frente al ascenso del nivel del mar y los temporales (Masselink *et al*., 2020). Este tipo de aproximaciones es plenamente transferible a contextos insulares como Canarias, donde la erosión costera y la exposición a temporales representan desafíos crecientes.



Fig. 13. Grandes deslizamientos de El Golfo (El Hierro). Anfiteatro de deslizamiento gravitacional de El Golfo, originado por el colapso parcial del edificio volcánico insular y representativo de los grandes procesos de inestabilidad de laderas en islas volcánicas oceánicas. Estas estructuras controlan de forma decisiva la topografía, condicionan la ocupación y los usos del territorio y actúan como archivos naturales clave para la reconstrucción de la dinámica volcánico-gravitacional insular. La geodiversidad asociada a estos grandes deslizamientos desempeña un papel fundamental en la evaluación de la peligrosidad geológica y en la planificación territorial y la reducción del riesgo. Fuente: Google Maps.

Desde una perspectiva aplicada, integrar la geodiversidad en la ordenación del territorio permite anticipar conflictos de uso, reducir riesgos naturales y reforzar estrategias de adaptación basadas en la naturaleza. Al reconocer explícitamente los condicionantes geológicos y geomorfológicos, se mejora la sostenibilidad de decisiones relacionadas con urbanismo, infraestructuras, conservación y uso de recursos. Este enfoque resulta especialmente relevante en regiones insulares y costeras, donde la disponibilidad de espacio es limitada, la presión sobre el patrimonio natural es elevada y los márgenes de error son reducidos.

En síntesis, la cartografía y el inventario integrados de geodiversidad constituyen una herramienta estratégica para la gestión ambiental contemporánea, capaz de conectar conocimiento científico, planificación territorial y toma de decisiones públicas, y de reforzar la resiliencia de los sistemas socioecológicos frente a escenarios de cambio global.

Geodiversidad, valores y sostenibilidad

Reconocer la pluralidad de valores asociados a la geodiversidad –instrumentales, relacionales e intrínsecos– resulta esencial para evitar su reducción a un mero stock de recursos materiales susceptible de explotación. Los valores instrumentales remiten a los beneficios directos e indirectos que la sociedad obtiene del medio físico –agua, materiales, energía, regulación de riesgos–, mientras que los valores relacionales aluden a los vínculos culturales, identitarios, simbólicos y de sentido del lugar que las personas establecen con los paisajes geológicos. Por su parte, los valores intrínsecos reconocen la legitimidad de conservar la geodiversidad por sí misma, como expresión singular de la historia de la Tierra, con independencia de su utilidad inmediata para los seres humanos.

En Canarias, esta pluralidad de valores se manifiesta de forma especialmente clara. El Teide, los volcanes históricos de Timanfaya o los grandes acantilados costeros no solo generan beneficios económicos asociados al turismo y al ocio, sino que constituyen referentes identitarios profundamente arraigados en la cultura insular y poseen un valor intrínseco como expresiones únicas del volcanismo oceánico. De manera similar, prácticas tradicionales como el enarenado volcánico en Lanzarote ilustran cómo un elemento geológico puede integrar simultáneamente valores instrumentales (mejora de la productividad agrícola), relacionales (conocimiento local, prácticas culturales) e intrínsecos (singularidad patrimonial del paisaje agrícola).

A escala internacional, ejemplos como el Parque Nacional de Uluru-Kata Tjuta en Australia, el Parque Nacional de Yellowstone en Estados Unidos o los paisajes glaciares de Islandia ponen de manifiesto la necesidad de enfoques de valoración que integren dimensiones espirituales, culturales e identitarias junto a consideraciones científicas y económicas. En estos contextos, la gestión de la geodiversidad no puede apoyarse únicamente en criterios de eficiencia económica, sino que requiere procesos deliberativos que incorporen múltiples sistemas de valores, incluidos los de comunidades locales y pueblos indígenas (Pascual *et al*., 2017).

La valoración monetaria de la geodiversidad y de sus contribuciones puede ser una herramienta útil para apoyar la decisión pública, visibilizar externalidades y comparar alternativas en contextos de planificación y evaluación ambiental. Sin embargo, su aplicación debe realizarse con cautela y de forma complementaria a otros enfoques, evitando reducir valores complejos a métricas únicamente económicas. Marcos de evaluación deliberativos y multicriterio, que integren conocimiento científico, percepciones sociales y consideraciones éticas, ofrecen una base más adecuada para la toma de decisiones en territorios con alta complejidad socioecológica.

En este sentido, la gestión de la geodiversidad se sitúa en el núcleo de una agenda global de sostenibilidad, estrechamente vinculada a la conservación de la biodiversidad, la acción climática, la reducción del riesgo de desastres y el desarrollo territorial equitativo. La diversidad geológica y geomorfológica proporciona opciones de adaptación frente al cambio climático, sustenta infraestructuras naturales de larga duración y reduce la exposición a peligros naturales, contribuyendo de manera transversal a múltiples objetivos de sostenibilidad (IPBES, 2019; Gray *et al*., 2023).

En territorios insulares y costeros como Canarias, donde los recursos son limitados, la presión antrópica es elevada y los riesgos naturales están amplificados, integrar explícitamente los valores de la geodiversidad en la planificación territorial y en las políticas públicas resulta particularmente crucial. Reconocer estos valores no solo fortalece la conservación del patrimonio geológico, sino que también favorece modelos de desarrollo más inclusivos, resilientes y coherentes con los límites físicos del territorio.

En conjunto, avanzar hacia una gestión sostenible de la geodiversidad implica asumir que el medio físico no es únicamente un soporte pasivo del desarrollo, sino un componente activo de la naturaleza que contribuye al bienestar humano. Incorporar la pluralidad de valores asociados a la geodiversidad permite enriquecer la toma de decisiones, reducir conflictos socioambientales y reforzar la conexión entre conservación de la naturaleza y justicia territorial en un contexto de cambio global.

Consideraciones finales

El recorrido conceptual y empírico desarrollado a lo largo del texto confirma que la geodiversidad no es un «decorado» sobre el que se asienta la biodiversidad, sino un componente activo que estructura la heterogeneidad ambiental, modula los ciclos biogeoquímicos y condiciona la resiliencia de los ecosistemas.

Esta idea, coherente con la definición sistémica de ecosistema, se refuerza al constatar que variables geofísicas como la diversidad litológica, la complejidad del relieve o la variabilidad edáfica aportan información valiosa y mejoran la explicación de los patrones de riqueza y recambio de especies, especialmente a escalas locales y regionales (Hjort *et al*., 2012, 2015; Bailey *et al*., 2017, 2018). En otras palabras: donde el territorio es físicamente diverso, suelen multiplicarse los nichos, los microclimas y los gradientes de suelos y humedad que permiten sostener comunidades biológicas más variadas, aunque el efecto dependa del grupo taxonómico, sus rasgos funcionales y la escala de análisis.

Desde el punto de vista de los beneficios para las sociedades, el texto muestra que integrar la geodiversidad en el marco de los servicios ecosistémicos y, más ampliamente, en las contribuciones de la naturaleza a

las personas (NCP) permite visibilizar aportes sistemáticamente infrarrepresentados cuando se trabaja solo desde la biodiversidad: regulación de riesgos, dinámica costera, recarga y almacenamiento de agua subterránea, formación y conservación de suelos, soporte físico y geotécnico, y provisión de materiales, además de valores culturales, identitarios y de conocimiento. Esta perspectiva evita reduccionismos y ayuda a entender que los beneficios no son simples «flujos» naturales, sino resultados de coproducción entre procesos abióticos, biota y sistemas sociales, con mediación de instituciones, prácticas y valores. Por ello, la sostenibilidad exige reconocer una pluralidad de valores –instrumentales, relacionales e intrínsecos– y utilizar la valoración monetaria solo como apoyo, complementándola con enfoques deliberativos y multicriterio que integren dimensiones culturales y éticas.

A partir de esta base, la conclusión aplicada es clara: la incorporación real de la geodiversidad a la gestión ambiental no se logra con declaraciones generales, sino mediante instrumentos técnicos y normativos que la traduzcan en decisiones territoriales. Ello implica desarrollar inventarios y cartografías integradas (abióticas, bióticas y socioambientales), apoyarse en teledetección y SIG para derivar métricas de geodiversidad y capas funcionales (zonas de recarga, corredores torrenciales, unidades litorales disipativas, áreas de procesos activos), e introducirlas de manera explícita en la planificación, la evaluación ambiental estratégica y la gestión del riesgo. Integrar la geodiversidad en la ordenación del territorio permite anticipar conflictos de uso, evitar inversiones de alto riesgo (por exposición a inundaciones, erosión, deslizamientos o peligros volcánicos), y reforzar estrategias de adaptación basada en la naturaleza, priorizando soluciones que trabajen con la dinámica geomorfológica e hidrológica, en lugar de rigidizarla. En un contexto de cambio global, esta integración no es un «extra», sino un requisito de coherencia: sin base física, ni los ecosistemas ni las políticas de conservación y adaptación pueden sostenerse a largo plazo.

El caso de Canarias ilustra de forma especialmente elocuente estas conclusiones generales. En un archipiélago volcánico, la diversidad de edades, coladas, edificios eruptivos, grandes deslizamientos y formas costeras produce contrastes ambientales muy marcados en distancias cortas, con efectos directos sobre los hábitats, el endemismo y la organización de los ecosistemas. Pero, además, Canarias muestra cómo la geodiversidad se convierte simultáneamente en infraestructura natural de regulación y en patrimonio cultural. La regulación hídrica depende críticamente de la estructura y permeabilidad del sustrato volcánico, que controla infiltración, recarga y almacenamiento de acuíferos y ha sustentado históricamente la agricultura y los asentamientos mediante galerías y manantiales (Alley *et al*., 2018). La costa volcánica –playas negras, plataformas rocosas, acantilados– actúa como primera línea de disipación del oleaje y, por tanto, como componente clave frente a erosión e inundación marina en un escenario de

temporales y ascenso del nivel del mar. Y el territorio insular, atravesado por barrancos de respuesta rápida, pone de relieve la importancia de conservar corredores geomorfológicos funcionales para reducir el riesgo de avenidas y daños, evitando ocupaciones en zonas de flujo preferente. A su vez, los paisajes del Teide, Timanfaya o los tubos volcánicos como Jameos del Agua muestran cómo la geodiversidad sostiene servicios culturales y de conocimiento –identidad, educación, ciencia, turismo–, y por qué los Geoparques Mundiales de la UNESCO (El Hierro; Lanzarote y Archipiélago Chinijo) son ejemplos de gobernanza que vincula conservación con desarrollo local basado en educación y geoturismo sostenible (Gray, 2018).

Por todo ello, la conclusión –válida para cualquier territorio y, particularmente, aplicable en Canarias– es que una sostenibilidad efectiva requiere hacer explícita la geodiversidad en la toma de decisiones, pasando de su reconocimiento conceptual a su implementación práctica. Esto supone: (a) que la planificación territorial incorpore una lectura por procesos y capacidades del territorio (recarga, dinámica litoral, torrencialidad, inestabilidad de laderas, peligrosidad volcánica) además de por usos; (b) que la evaluación ambiental examine de forma verificable impactos sobre suelos, hidrología subterránea, dinámica costera y patrimonio geológico; (c) que la adaptación climática priorice soluciones basadas en la naturaleza que mantengan la funcionalidad geomorfológica; y (d) que la gobernanza integre la pluralidad de bienes y servicios que ofrece la geodiversidad –materiales, reguladores, culturales y de conocimiento– para evitar la infravaloración sistemática del medio físico. En última instancia, debemos asegurar que conservar y gestionar la geodiversidad adecuadamente es conservar la «infraestructura» que hace posible la biodiversidad y el bienestar humano: una condición necesaria para que los territorios sean más resilientes, para que las decisiones públicas sean más preventivas y en síntesis para conseguir un desarrollo territorial y humano más equitativo y duradero.

En noviembre de 2025, el Instituto de Estudios Hispánicos de Canarias dedicó a la temática de la geodiversidad el ciclo de conferencias que bajo la denominación de Semana Científica organiza anualmente para homenajear al profesor Telesforo Bravo, y proponía como principal objetivo poner en valor y divulgar el patrimonio geológico (Afonso-Carrillo, 2026). En el presente capítulo hemos recopilado las principales ideas que presentamos en dichas jornadas.

Bibliografía

AEMET (2012). *Climatología de Lanzarote y Fuerteventura*. Madrid, España: Agencia Estatal de Meteorología. 220 pp.

AFONSO-CARRILLO, J. (Ed.) (2026). *Patrimonio Geológico. La memoria de la Tierra*. XXI Semana Científica Telesforo Bravo, Instituto de Estudios Hispánicos de Canarias, Puerto de la Cruz.

ALAHUHTA, J., J. HEINO, M. LUOTO & M. TOIVANEN (2018). Global patterns in the metacommunity structuring of lake macrophytes. *Ecology Letters* 21(9): 1274-1284. https://doi.org/10.1111/ele.13114

ALAHUHTA, J., M. TOIVANEN, J. HJORT & J. HEINO (2020). Environmental heterogeneity, geodiversity and biodiversity in freshwater ecosystems. *Freshwater Biology* 65(5): 935-947. https://doi.org/10.1111/fwb.13440

ALBANO, P.G., M. RANDONE, G. CHIMIENTI *et al.* (2021). Are climate-driven range shifts shaped by bioclimate, orography, or geology? *Global Ecology and Biogeography* 30(2): 329-342. https://doi.org/10.1111/geb.13221

ALLEY, W.M., T.E. REILLY & O.L. FRANKE (2018). *Sustainability of groundwater resources* (U.S. Geological Survey Circular 1186; v + 79 pp.). Reston, VA, Estados Unidos: U.S. Geological Survey. https://doi.org/10.3133/cir1186

ARNALDS, O., F. BARTOLI, P. BUURMAN *et al.* (2016). Soils of volcanic regions. *Geoderma* 282: 1-3. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.07.004

BAILEY, J.J., D.S. BOYD & R. FIELD (2017). Modelling native and alien vascular plant species richness: At which scales is geodiversity most relevant? *Global Ecology and Biogeography* 26(7): 763-776. https://doi.org/10.1111/geb.12574

BAILEY, J.J., D.S. BOYD, R. FIELD & R.J. WHITTAKER (2018). Biogeographical explanations for the diversity gradient of woody plants. *Journal of Biogeography* 45(6): 1205-1216. https://doi.org/10.1111/jbi.13179

BAILEY, J.J., D.S. BOYD, J. HJORT, C.P. LAVERS & R. FIELD (2018). Modelling native and alien species richness using geodiversity measures and species distribution models. *Global Ecology and Biogeography* 27(6): 664-675. https://doi.org/10.1111/geb.12732

BEIER, P., M.L. HUNTER & M. ANDERSON (2015). Conserving nature's stage. *Conservation Biology* 29(3): 613-617. https://doi.org/10.1111/cobi.12467

CABRERA, M.C. & E. CUSTODIO (2018). Groundwater resources in volcanic islands: Hydrological processes, water balance and sustainability. *Journal of Hydrology* 556: 373-394. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.11.032

CARRACEDO, J.C., S. DAY, H. GUILLOU & F.J. PÉREZ TORRADO (1998). Volcanic collapse structures in the Canary Islands: Geological significance and relation to structural evolution. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 83(1-2): 1-22. https://doi.org/10.1016/S0377-0273(98)00007-1

CARRACEDO, J.C., S. DAY, H. GUILLOU, E. RODRÍGUEZ BADIOLA, J.A. CANAS & F.J. PÉREZ TORRADO (1998). Hotspot volcanism close to a passive continental margin: The Canary Islands. *Geological Magazine* 135(5): 591-604. https://doi.org/10.1017/S0016756898001447

CARRACEDO, J.C. & V.R. TROLL (2016). *The Geology of the Canary Islands* (1st ed.; 636 pp.). Amsterdam, Países Bajos: Elsevier. ISBN 978-0-12-809663-5.

CONVENTION ON BIOLOGICAL DIVERSITY (1992). *Convention on Biological Diversity* (opened for signature 5 June 1992; entered into force 29 Dec 1993). Montreal, Canadá: United Nations Environment Programme. https://www.cbd.int/convention/text/

COSTANZA, R., R. D'ARGE, R. DE GROOT, S. FARBER, M. GRASSO, B. HANNON, K. LIMBURG, S. NAEEM, R.V. O'NEILL, J. PARUELO, R.G. RASKIN, P. SUTTON & M.

VAN DEN BELT (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387: 253-260. https://doi.org/10.1038/387253a0

CUSTODIO, E. (2007). Groundwater in volcanic islands: The Canary Islands example. *Ground Water* 45(4): 504-515. https://doi.org/10.1111/j.1745-6584.2007.00330.x

DE GROOT, R.S., R. ALKEMADE, L. BRAAT, L. HEIN & L. WILLEMEN (2010). Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning, management and decision making. *Ecological Complexity* 7(3): 260-272. https://doi.org/10.1016/j.ecocom.2009.10.006

DÍAZ, E., L. SÁEZ & Á. GARCÍA-CORTÉS (2018). Integrating geoheritage into environmental assessment and land-use planning: Conceptual advances and applied implications. *Geoheritage* 10(3): 343-361. https://doi.org/10.1007/s12371-017-0261-0

DÍAZ, S., U. PASCUAL, M. STENSEKE, B. MARTÍN-LÓPEZ, R.T. WATSON, Z. MOLNÁR, R. HILL, K.M.A. CHAN, I.A. BASTE, K.A. BRAUMAN, S. POLASKY, A. CHURCH, M. LONSDALE, A. LARIGAUDERIE, P.W. LEADLEY, A.P.E. VAN OUDENHOVEN, F. VAN DER PLAAT, M. SCHRÖTER *et al.* (2018). Assessing nature's contributions to people. *Science* 359(6373): 270-272. https://doi.org/10.1126/science.aap8826

DOBROWSKI, S.Z. (2011). A climatic basis for microrefugia: The influence of terrain on climate. *Global Change Biology* 17(2): 1022-1035. https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2010.02263.x

EMERSON, B.C. & R.G. GILLESPIE (2008). Phylogenetic analysis of island radiations. *Trends in Ecology & Evolution* 23(11): 619-627. https://doi.org/10.1016/j.tree.2008.07.001

FERNÁNDEZ-CABRERA, E., A. RODRÍGUEZ & C. HERNÁNDEZ (2019). Traditional agricultural systems in arid volcanic landscapes. *Agricultural Systems* 176: 102669.

FERNÁNDEZ-LUGO, S., L. DE NASCIMENTO, R. OTTO, *et al.* (2013). Old volcanoes and young forests. *Journal of Biogeography* 40(2): 273-284.

FERNÁNDEZ-PALACIOS, J.M., L. DE NASCIMENTO, R. OTTO, J.D. DELGADO, E. GARCÍA-DEL-REY, J.R. ARÉVALO & R.J. WHITTAKER (2016). A reconstruction of Palaeo-Macaronesia, with particular reference to the long-term biogeography of the Atlantic island laurel forests. *Journal of Biogeography* 43(5): 853-864. https://doi.org/10.1111/jbi.12655

FOX, N., D. VINER & A. HILL (2020). Incorporating geodiversity into ecosystem service assessments: A review. *Ecosystem Services* 44: 101122. https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2020.101122

GORDON, J.E. & H.F. BARRON (2013). Valuing geodiversity and geoconservation: Developing a more strategic ecosystem approach. *Scottish Journal of Geology* 49(1): 1-15. https://doi.org/10.1144/sjg2011-465

GRAY, M. (2013). *Geodiversity: Valuing and conserving abiotic nature* (2nd ed.; 512 pp.). Chichester, Reino Unido: John Wiley & Sons.

GRAY, M. (2018). The confused position of the geosciences within the natural capital and ecosystem services debates. *Ecosystem Services* 34: 106-112. https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2018.10.006

GRAY, M., J.E. GORDON & E.J. BROWN (2013). Geodiversity and the ecosystem approach: The contribution of geoscience in delivering integrated environmental management. *Proceedings of the Geologists' Association* 124(4): 659-673. https://doi.org/10.1016/j.pgeola.2013.01.003

GRAY, M., J.E. GORDON & E.J. BROWN (2023). Geodiversity, geoheritage and geoconservation: Implications for sustainable development. *Geoheritage* 15: 1-15.

HAINES-YOUNG, R. & M. POTSCHIN-YOUNG (2018). Revision of the Common International Classification of Ecosystem Services (CICES V5.1): A policy brief (15 pp.). *One Ecosystem* 3, e27108. https://doi.org/10.3897/oneeco.3.e27108

HJORT, J., R.K. HEIKKINEN & M. LUOTO (2012). Inclusion of explicit measures of geodiversity improves biodiversity models in a boreal landscape. *Biodiversity and Conservation* 21(13): 3487-3506. https://doi.org/10.1007/s10531-012-0376-1

HJORT, J., J.E. GORDON, M. GRAY & M.L. HUNTER (2015). Why geodiversity matters in valuing nature's stage. *Conservation Biology* 29(3): 630-639. https://doi.org/10.1111/cobi.12510

ILLERA, J.C., L.G. SPURGIN, E. RODRÍGUEZ-EXPÓSITO, M. NOGALES & B.C. EMERSON (2012). What are the roles of geological history and ecological processes in shaping genetic diversity in island populations? *Molecular Ecology* 21(18): 4446-4462. https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2012.05667.x

IPBES (2019). *Global assessment report on biodiversity and ecosystem services* (xlviii + 1148 pp.). Bonn, Alemania: IPBES Secretariat. https://doi.org/10.5281/zenodo.3831673

IRL, S.D.H., W.A. OBERMEIER, C. BEIERKUHNLEIN & M.J. STEINBAUER (2015). Climate vs. topography – Spatial patterns of plant species richness and endemism on a high-elevation island. *Journal of Biogeography* 42(10): 1895-1906. https://doi.org/10.1111/jbi.12548

KELEMEN, P.B., N. MCQUEEN, J. WILCOX *et al.* (2020). Engineered carbon mineralization. *Energy & Environmental Science* 13: 3844-3873.

LAWLER, J.J., D.D. ACKERLY, C.M. ALBANO, M.G. ANDERSON, S.Z. DOBROWSKI, J.L. GILL, N.E. HELLER, R.L. PRESSEY, E.W. SANDERSON & S.B. WEISS (2015). The theory behind, and the challenges of, conserving nature's stage in a time of rapid change. *Conservation Biology* 29(3): 618-629. https://doi.org/10.1111/cobi.12411

LEEMPOEL, K., C. PARISOD, C. GEISER, L. DAPRÀ, P. VITTOZ & S. JOOST (2015). Very high-resolution digital elevation models: Are multi-scale derived variables ecologically relevant? *Methods in Ecology and Evolution* 6(12): 1373-1383. https://doi.org/10.1111/2041-210X.12427

MASSELINK, G. & W.R. GEHRELS (2014). *Coastal environments and global change* (vii + 438 pp.). Chichester, West Sussex (Reino Unido) / Hoboken, NJ (EE.UU.): Wiley (co-publication AGU–Wiley). ISBN 978-0-470-65660-0.

MASSELINK, G., T. SCOTT, T. POATE, P. RUSSELL, R. DAVIDSON ARNOTT & D. CONLEY (2020). The role of morphology and sediment in coastal resilience. *Earth Surface Processes and Landforms* 45(3): 811-830. https://doi.org/10.1002/esp.4774

MARTÍ, J., A. GEYER, G. AGUIRRE-DÍAZ *et al.* (2013). Volcanic fields and associated hazards. In Fagents, S.A., T.K.P. Gregg & R.M.C. Lopes (Eds.), *Modeling volcanic processes: The physics and mathematics of volcanism* (pp. 87-108). Cambridge, Reino Unido: Cambridge University Press.

MATTER, J.M., M. STUTE, S.Ó. SNÆBJÖRNSDOTTIR *et al.* (2016). Rapid carbon mineralization for permanent disposal of anthropogenic CO_2 emissions. *Science* 352(6291): 1312-1314.

MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT (2005). *Ecosystems and human well-being: Synthesis* (137 pp.). Washington, DC, Estados Unidos: Island Press. ISBN 1-59726-040-1.

ODUM, E.P. (1953). *Fundamentals of ecology* (384 pp.). Philadelphia, PA, Estados Unidos: W.B. Saunders.

OROMÍ, P., J.L. MARTÍN, H. LÓPEZ & I. IZQUIERDO (2010). Biodiversity and conservation of lava tubes in the Canary Islands. *Subterranean Biology* 7: 1-23.

PARKS, S.A., S.Z. DOBROWSKI & J.T. ABATZOGLOU (2020). Human-caused climate change creates novel fire weather in the western United States. *Nature Climate Change* 10: 1131-1137.

PASCUAL, U., P. BALVANERA, S. DÍAZ, G. PATAKI, E. ROTH, M. STENSEKE, R.T. WATSON, E.B. DESSANE, M. ISLAR, E. KELEMEN *et al.* (2017). Valuing nature's contributions to people: The IPBES approach. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 26-27: 7-16. https://doi.org/10.1016/j.cosust.2016.12.006

PÉREZ, N.M., G. MELIÁN, & P.A. HERNÁNDEZ (2020). Geothermal resources of the Canary Islands: Current status and future potential. *Renewable Energy* 147: 119-134. https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.08.040

READ, Q.D., P.L. ZARNETSKE, S. RECORD, K.M. DAHLIN, J. COSTANZA, A.O. FINLEY, K.D. GADDIS, J.M. GRADY, M.L. HOBI, A.M. LATIMER, A.M. WILSON & E.B. DAVIS (2020). Beyond counts and averages: Relating geodiversity to dimensions of biodiversity. *Global Ecology and Biogeography* 29(4): 696-710. https:// doi.org/ 10.1111/geb.13061

SCHERRER, D. & C. KÖRNER (2011). Topographically controlled thermal habitat differentiation buffers alpine plant diversity against climate warming. *Journal of Biogeography* 38(2): 406-416. https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2010.02407.x

STEIN, A., K. GERSTNER & H. KREFT (2014). Environmental heterogeneity as a universal driver of species richness across taxa, biomes and spatial scales. *Ecology Letters* 17(7): 866-880. https://doi.org/10.1111/ele.12277

TANSLEY, A.G. (1935). The use and abuse of vegetational concepts and terms. *Ecology* 16(3): 284-307. https://doi.org/10.2307/1930070

TOIVANEN, M., J., ALAHUHTA & J. HJORT (2019). Geodiversity–biodiversity relationships in freshwater ecosystems. *Ecological Indicators* 100: 237-247.

TUKIAINEN, H., M. TOIVANEN, & T. MALINIEMI (2023). Geodiversity as a driver of biodiversity under climate change. *Global Change Biology* 29(1): 1-14. https:// doi.org/10.1111/gcb.16510

UNESCO (2016). *UNESCO Global Geoparks: Celebrating Earth heritage, sustaining local communities* (brochure; 20 pp.). Paris, Francia: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization.

UNITED NATIONS (2021). *System of Environmental-Economic Accounting–Ecosystem Accounting (SEEA EA)* (441 pp.) (White cover, pre-edited text). New York, NY, Estados Unidos: United Nations. Disponible en https://seea.un.org/ecosystem-accounting.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (2019). *Sand and sustainability: Finding new solutions for environmental governance of global sand resources* (188 pp.). Geneva, Suiza: UNEP/GRID-Geneva. https://unepgrid.ch/storage/app/media/documents/Sand_and_sustainability_UNEP_2019.pdf

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (2022). *Sand and sustainability: 10 strategic recommendations to avert a crisis* (90 pp.). Geneva, Suiza: UNEP/GRID-Geneva. https://unepgrid.ch/storage/app/media/Publications/2022sandandsustainabilityreportfinal.pdf

WARD, J.V., K. TOCKNER, D.B. ARSCOTT, & C. CLARET (1999). Riverine landscape diversity. *Freshwater Biology* 47(4): 517-539. https://doi.org/10.1046/j.1365-2427.1999.00293.x

WHITTAKER, R.J. & J.M. FERNÁNDEZ-PALACIOS (2007). *Island biogeography: Ecology, evolution, and conservation* (2nd ed.; 401 pp.). Oxford, Reino Unido: Oxford University Press.

WHITTAKER, R.J., J.M. FERNÁNDEZ-PALACIOS, T.J. MATTHEWS, M.K. BORREGAARD & K.A. TRIANTIS (2017). Island biogeography: Taking the long view. *Journal of Biogeography* 44(5): 963-977. https://doi.org/10.1111/jbi.12994

WHITTAKER, R.J., K.A. TRIANTIS & R.J. LADLE (2008). A general dynamic theory of oceanic island biogeography. *Journal of Biogeography* 35(6): 977-994. https://doi. org/10.1111/j.1365-2699.2008.01892.x

ZAKŠEK, K., K. OŠTIR & Ž. KOKALJ (2011). Sky-view factor as a relief visualization technique. *Remote Sensing* 3(2): 398-415. https://doi.org/10.3390/rs3020398

ZARNETSKE, P.L., Q.D. READ, S. RECORD, K.D. GADDIS & S.A. SCHNITZER (2019). Towards connecting biodiversity and geodiversity across scales with satellite remote sensing. *Global Ecology and Biogeography* 28(5): 548-556. https://doi.org/10.1111/geb.12887

2. La protección del patrimonio geológico de Canarias

Jaime Coello Bravo

Director de la Fundación Canaria Telesforo Bravo-Juan Coello. Puerto de la Cruz.

Esta historia tiene que ver con el amor a la geodiversidad y al patrimonio geológico en general y en particular, a la geodiversidad y al patrimonio geológico de Canarias. Llegar a desarrollar sensibilidad social por los elementos abióticos, está siendo un proceso largo y jalonado de dificultades que aún no ha terminado.

La Psicología ha estudiado en profundidad cómo el ser humano, es capaz de empatizar más rápida y fácilmente, con los organismos vivos con los que compartimos un mayor número de características, que con aquellos más ajenos. Si ni siquiera se trata de un ente dotado de vida, la distancia es mucho mayor y, por tanto, el nacimiento y puesta en marcha de actitudes y acciones destinadas a la preservación de la gea, es mucho más compleja y precisa de mecanismos diferentes a los puramente emocionales. A este respecto, podemos mencionar la pareidolia o tendencia a ver formas de animales o rostros en elementos de la naturaleza como nubes, rocas o árboles.

Así mismo, si analizamos las ideas filosóficas de nuestro entorno, hasta finales del siglo XVII imperó una visión antropocéntrica: «el triunfalismo ecológico», para el que el ser humano es el señor de la naturaleza y se sitúa en el centro del mundo.

Esta manera de entender nuestra forma de ser y estar en este planeta, se acentúa tras la Revolución Industrial. La relación entre las personas y la naturaleza, escala hasta convertirse algo todavía más problemático. Es

entonces, cuando aquellas desarrollan, hasta un grado superlativo, una capacidad depredadora sobre el medio ambiente que se acentúa con el paso del tiempo.

En mi caso, haber nacido y haberme criado en el seno de una familia, cuya gran mayoría de componentes se ha dedicado profesionalmente a las Ciencias de la Tierra, ha provocado que el afecto por la tierra y la voluntad de proteger una roca, un roque o un volcán, surgiera de forma natural y relativamente temprana.



Figs. 1-3. 1: The Wrath of the Ents. Ted Nasmith. **2**: Arco del Jorado, Ajuy, Fuerteventura. **3**: Barranco de Las Angustias, Parque Nacional de la Caldera de Taburiente, La Palma.

Sin embargo, las disciplinas que se han dedicado al estudio de lo que no está vivo, han tardado mucho tiempo en dirigir su atención, a la preservación de lo que constituye el objeto de su investigación.

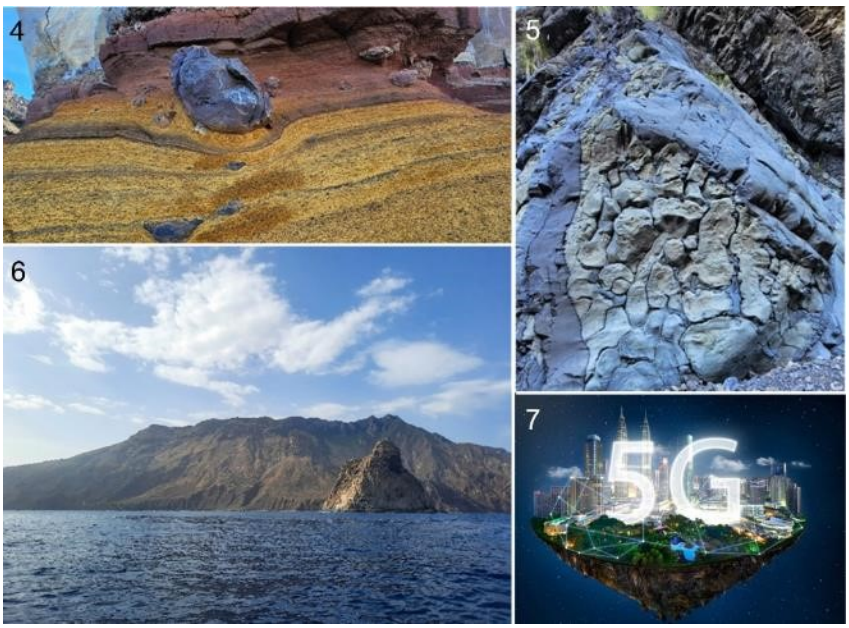
Los principales campos de aplicación que ha tenido la ciencia de la geología, desde su establecimiento, han sido:

- El extractivo, relacionado con la explotación de recursos naturales geológicos (minerales y rocas, combustibles fósiles, agua…).
- El de la geotecnia o uso de los conocimientos geológicos en la construcción e ingeniería civil.
- El ambiental relacionado con los riesgos geológicos y los procesos de contaminación de aguas, suelos y atmósfera, producidos por las actividades humanas.

Solo desde hace ya unos años, se habla de las «5G» de la nueva geología (Carcavilla, 2012):

- Patrimonio geológico (o «geoheritage», término que significa «geopatrimonio»)
- Geodiversidad
- Geoconservación
- Geoturismo
- Geoparques.

Todos ellos tienen su inspiración en la consideración de los elementos geológicos como componentes esenciales de la naturaleza y en su valorización patrimonial como testigos de la historia del planeta Tierra y la vida que en él se ha desarrollado.



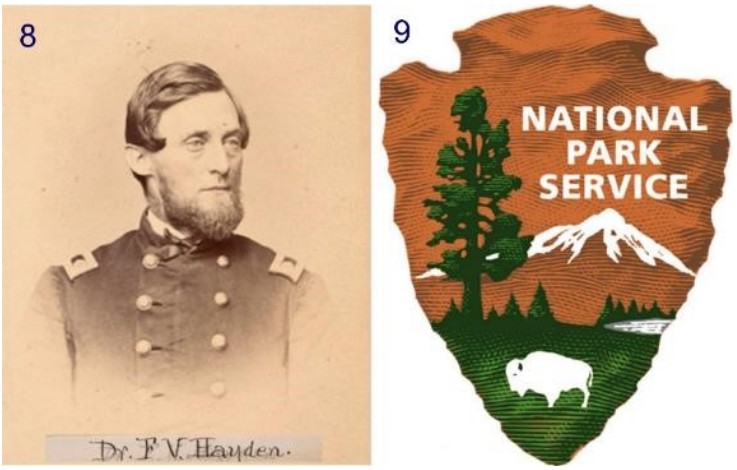
Figs. 4-6. 4: Parque Nacional de la Caldera de Taburiente, La Palma. **5**: Parque Nacional de la Caldera de Taburiente, La Palma. **6**: Roques de Anaga, Tenerife. **7**: 5G, National Geographic.

Los pioneros de la protección del patrimonio geológico

A pesar de la mencionada tardanza, hay que hacer constar, que la geología estuvo directamente implicada en las primeras iniciativas institucionales dedicadas a la conservación de la naturaleza. La expedición

gubernamental del geólogo estadounidense Ferdinand Vandiveer Hayden, a Yellowstone en 1871 generó gran interés público y tuvo mucha repercusión.

A modo de conclusión a su periplo, señaló los destacados valores de la gea, de esa región de Wyoming y Montana (USA) y la necesidad de preservarlos para las futuras generaciones, lo que tuvo gran influencia en su declaración como primer parque nacional del mundo, el de Yellowstone, en marzo de 1872.



Figs. 8 y 9. 8: Retrato de Ferdinand Vandiveer Hayden, Henry Hulke. **9**: Logo del servicio de Parques Nacionales de EEUU.

En España, la geología también tuvo una importante presencia en las primeras iniciativas y figuras conservacionistas. Eduardo Hernández-Pacheco y Estevan, considerado uno de los fundadores de la geología moderna en España, fue nombrado vocal de la Junta Central de Parques Nacionales, creada al año siguiente de la promulgación, en 1916, de la Ley de Parques Nacionales, impulsada por Pedro Pidal. En 1926, se reorganizó la referida institución y se incluyeron los Sitios y Monumentos Naturales de interés nacional, como dos nuevas categorías de espacios naturales protegidos. En 1931, la Junta fue sustituida en sus funciones por la Comisaría de Parques Nacionales, adscrita en el Ministerio de Agricultura, cuyo primer presidente fue también Pedro Pidal y su vicepresidente, Eduardo Hernández-Pacheco.

En ambas instituciones, orientó su labor a la protección efectiva de los tres elementos fundamentales del paisaje: el roquedo (la gea), la vegetación y la fauna. Propuso para ello el establecimiento de dos nuevas figuras de protección (Sitio Natural de Interés Nacional y Monumento Natural de Interés Nacional). Consiguió la protección efectiva de determinados ámbitos

territoriales, utilizando aquellas figuras y desarrollando una gran actividad de divulgación de los diferentes espacios protegidos a través, por ejemplo, de las guías de los sitios naturales de interés nacional. Varios números de estas guías fueron publicados por la Comisaría bajo la dirección de Hernández-Pacheco, en la que además de la vicepresidencia, ocupó el cargo de delegado de sitios y monumentos naturales de interés nacional.

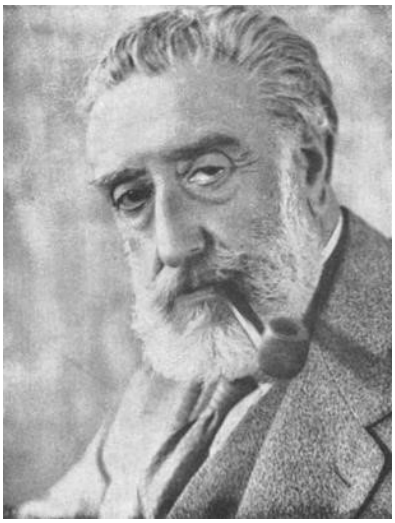


Fig. 10. Eduardo Hernández-Pacheco y Estevan. Autor desconocido.

Sin embargo, la implicación e influencia temprana de la geología en las tareas de la conservación de la naturaleza se fue perdiendo, hasta tal punto que, hoy en día, los elementos geológicos no son considerados sino marginalmente en numerosos ámbitos conservacionistas (técnicos, legislativos, sociales, políticos, …). Sólo en los últimos años la situación parece que comienza a revertir, aunque todavía con numerosas omisiones y lagunas.

A modo de ejemplo, se puede constatar cómo en la Ley 33/2015, de 21 de septiembre, de Patrimonio Natural y Biodiversidad, por la que se modifica la Ley 42/2007, de 13 de diciembre, existe un listado de especies silvestres en régimen de protección especial y un catálogo de especies amenazadas. Por el contrario, no existe un listado de elementos con valor geológico, o sometidos a amenaza, protegidos *per se*.

La razón tiene que ver con la ausencia de directivas europeas que protejan el patrimonio geológico, de las que la legislación nacional trae causa. Existen la Directiva 92/43 CEE, Directiva Hábitats, relativa a la conservación de los hábitats naturales y de la fauna y flora silvestres, que contempla, no ya la conservación de la geodiversidad y el patrimonio

geológico, sino que ni siquiera los incluye como conceptos, y la Directiva 2009/147/CE, relativa a la conservación de las aves silvestres. Por lo tanto, no existe marco regulatorio en la normativa europea que consagre la protección del patrimonio geológico. La coyuntura actual, tendente a la desregulación y a la relajación de las medidas conservacionistas, hacen temer que, a nivel europeo, cualquier intento de modificar la normativa ambiental, pueda suponer no ya el reconocimiento de la necesidad de proteger el patrimonio geológico, sino que se pierda parte de la protección vigente, para la flora y fauna silvestres.

Listado de Especies en Régimen de Protección Especial

	Listado de Especies Silvestres en Régimen de Protección Especial	Catálogo Español de Especies Amenazadas		TOTAL
		Vulnerable	En Peligro de Extinción	
FLORA	172	43	126	341
INVERTEBRADOS	57	15	17	89
PECES	26	3	10	39
ANFIBIOS	20	6	2	28
REPTILES	53	6	7	66
AVES	247	31	21	299
MAMÍFEROS	43	26	7	76
Total	**618**	**130**	**190**	**938**

Fig. 11. Listado de Especies Silvestres en Régimen de Protección Especial, incluyendo el Catálogo Español de Especies Silvestres Amenazadas, en España en la Ley del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad.

También en el contexto europeo, el Comité de ministros del Consejo de Europa, emitió una Recomendación (*Rec (2004)3 on Conservation of geological heritage and areas of special geological interest*) con disposiciones para la conservación del patrimonio geológico y las áreas de especial interés geológico en el conjunto de los países miembros de esta organización europea. Sin embargo, hay que hacer hincapié en el carácter de recomendación de la norma y que proviene del Consejo de Europa y no de la Unión Europea, lo que la priva de ser de obligado cumplimiento por los estados miembros.

A nivel internacional, hay que retrotraerse al año 1991, para encontrar un pronunciamiento sobre la necesidad de proteger este patrimonio. En junio de ese año, organizado por la *Société Géologique de France*, se celebró en Digne les Bains (Alpes de Alta Provenza), el Primer Simposio Internacional

sobre la Protección del Patrimonio Geológico, en el que se firmó la Declaración Internacional de los Derechos de la Memoria de la Tierra. En ella, más de cien especialistas de treinta países instaban a las autoridades internacionales y nacionales a tener en cuenta un nuevo tipo de patrimonio, el geológico, y a tomar medidas efectivas para su conservación.

¿Qué es el Patrimonio Geológico?

Lo primero que hay que decir es que el patrimonio geológico está constituido por elementos naturales, por lo tanto, es patrimonio natural. En principio, los elementos antrópicos de cualquier tipo relacionados con la geología, no forman parte de este patrimonio, aunque existe una tendencia creciente a tenerlos en cuenta bajo diversas denominaciones, aún poco asentadas en lo que respecta a los conceptos que representan según los diversos autores: georrecursos culturales, recursos geoculturales, patrimonio geológico intangible, etc.



Fig. 12. Interior de una galería. Tenerife.

A pesar de ser un patrimonio natural, el valor de los elementos que lo constituyen viene en principio determinado, no por su estado «natural» o por su mejor o peor estado de conservación, ambiental o ecológico, sino por su interés científico, cultural o educativo.

Por lo tanto, su valoración primigenia es científica/cultural. Sin embargo, definiciones alternativas del patrimonio geológico sí incluyen

como elementos de valor patrimonial el papel de determinados componentes de la gea como proveedores de marco y sustento, tanto para los ecosistemas y la biodiversidad que albergan (roles y servicios ecológicos), como para los seres humanos (roles y servicios ambientales o ecosistémicos, en sus cuatro clases: de soporte, de aprovisionamiento, de regulación y culturales).



Fig. 13. Mancha Ruana, Lavas Negras y Pilón o Pan de Azúcar del Teide.

El patrimonio geológico comprende elementos inmuebles que forzosamente han de conservarse in-situ (formaciones y estructuras geológicas, formas del terreno, suelos), pero también elementos muebles que pueden ser objeto de recolección, tráfico, almacenaje y exposición: rocas, minerales, fósiles, meteoritos, etc.

El patrimonio geológico inmueble de un territorio está formado por el conjunto de Lugares de Interés Geológico (LIG, también denominados geositios) que alberga. Los LIG se definen como áreas o zonas de interés científico o didáctico que muestran características consideradas de importancia dentro de la historia geológica de una región natural. En otras palabras, un lugar de interés geológico, es un área que forma parte del patrimonio geológico de una región natural por mostrar, de manera continua en el espacio, una o varias características consideradas de importancia en la historia geológica de la misma (García Cortés & Carcavilla, 2013).

El patrimonio geológico está formado por recursos de carácter fundamentalmente no renovable cuya destrucción es irreversible (por ejemplo, los fósiles y yacimientos fosilíferos que forman el patrimonio

paleontológico, que constituye parte del patrimonio geológico), aunque también incluye recursos renovables, si se usan de forma sostenible. Es el caso de los elementos integrantes del patrimonio hidrogeológico: como las fuentes o manantiales de aguas minerales, géiseres y otras manifestaciones termales, etc.



Figs. 14 y 15. 14: Fósil. Mina La Gran Corta, Fabero, El Bierzo. **15**: Nacientes de Marcos. La Palma.

Un concepto muy relacionado, pero diferente al de patrimonio geológico, es el de geodiversidad, entendida como la variedad de rasgos geológicos presentes en un área, definida tras considerar el número, frecuencia y distribución de esos rasgos.



Fig. 16: Día internacional de la Geodiversidad.

La geodiversidad no se limita a la mera presencia de diferentes tipos de rocas; más bien, es un concepto amplio que abarca toda la riqueza geológica

de un territorio. La geodiversidad de una zona puede medirse en función de materiales y procesos (componentes tangibles):

- **Diversidad litológica**: los tipos de rocas y minerales presentes.
- **Diversidad geomorfológica** (geoformas): las formas del relieve visibles en el paisaje y los procesos que las originan (ríos, glaciares, sistemas kársticos, etc.)
- **Diversidad paleontológica**: los fósiles.
- **Diversidad estructural**: fallas, anticlinales, sinclinales y estructuras resultantes de fuerzas tectónicas; ambientes sedimentarios o antiguos entornos donde se acumularon materiales (playas, deltas, lagos, etc.)



Fig. 17: Los Órganos, Vallehermoso, La Gomera. Ejemplo de geoforma.

También puede medirse en una categoría independiente, no constituida como las anteriores por materiales o procesos, sino por hitos temporales, es decir, por la edad geológica. Se trata de «marcadores temporales» o hitos cronológicos independientes del material en sí. Si una zona contiene unidades de muy diversos periodos de la historia de la Tierra (por ejemplo, rocas del Paleozoico, Mesozoico y Cenozoico conjuntamente), su geodiversidad será mayor.



Fig. 18: Ejemplo de diversidad litológica.

La protección legal del Patrimonio Geológico en el ámbito estatal

Llegados a este punto, conviene acudir a la normativa vigente, para estudiar los conceptos jurídicos de patrimonio geológico, geodiversidad y patrimonio natural.

La Ley estatal 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y la Biodiversidad, define en su artículo 3, apartado 18, la **geodiversidad**, como la variedad de elementos geológicos, incluidos rocas, minerales, fósiles, suelos, formas del relieve, formaciones y unidades geológicas y paisajes que son el producto y registro de la evolución de la tierra.

Por su parte, el apartado 38 del mismo artículo, define el **patrimonio geológico** como el conjunto de recursos naturales geológicos, de valor científico, cultural y/o educativo, ya sean formaciones y estructuras geológicas, formas del terreno, minerales, rocas, meteoritos, fósiles, suelos, y otras manifestaciones geológicas que permiten conocer, estudiar e interpretar: a) el origen y evolución de la tierra, b) los procesos que la han modelado, c) los climas y paisajes del pasado y el presente, d) el origen y evolución de la vida. Es decir, no todo elemento geológico, tiene carácter patrimonial. Debe reunir varias características que le confieren valores de distinta índole, y además, debe facilitar el conocimiento, estudio e interpretación de diferentes fenómenos y procesos relevantes desde un punto de vista geológico.

Finalmente, el apartado 27 del referido artículo, define el **patrimonio natural** como el conjunto de bienes y recursos de la naturaleza, fuente de la diversidad biológica o geológica, que tienen un valor relevante, medioambiental, paisajístico, científico o cultural. Es decir, el concepto jurídico del patrimonio natural, comprende el de patrimonio geológico.

El citado texto normativo, en su artículo 5.2, señala que las administraciones públicas en su respectivo ámbito competencial, entre otros deberes, integrarán en las políticas sectoriales los objetivos y las previsiones necesarios para la conservación y valoración del patrimonio natural, la protección de la biodiversidad y la geodiversidad, la conservación y el uso sostenible de los recursos naturales, la prevención de la fragmentación de los hábitats y el mantenimiento y, en su caso, la restauración, de la integridad de los ecosistemas.

Este artículo trata de la protección de la geodiversidad y no exclusivamente del patrimonio geológico, que como se ha explicado, es un concepto más restringido. Hay que hacer constar, que la Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad tiene carácter básico, en virtud de las competencias exclusivas que la Constitución Española otorga al Estado en materia de protección del medio ambiente.

Es decir, se trata de una norma común que establece los mínimos de protección iguales para todo el territorio español. Las Comunidades Autónomas pueden dictar normas adicionales de protección, pero nunca disminuir el nivel de salvaguarda fijado por esta ley estatal. De esta forma, se pretende garantizar la cohesión territorial, es decir, establecer un régimen jurídico homogéneo para la conservación, uso sostenible, mejora y restauración del patrimonio natural.

Sin embargo, la mayor parte de las referencias a la protección de la geodiversidad y el patrimonio geológico, están en el título preliminar de la norma estatal y carecen de la concreción suficiente para ser invocadas directamente ante los tribunales de justicia. Únicamente, la aprobación de una normativa específica, en cada una de las Comunidades Autónomas, pueden dotar a ambos, de la protección que el Estado denomina como un «deber», pero que en realidad no deja de ser un mero objetivo.

El Título I de la Ley, relativo al Inventario Español del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad regula, en su artículo 9, sus objetivos y contenido. De esta manera, dispone que el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (en esta legislatura, del Medio Ambiente se ocupa el Ministerio de Transición Ecológica) con la colaboración de las Comunidades Autónomas y de las instituciones y organizaciones de carácter científico, económico y social, elaborará y mantendrá actualizado un Inventario Español del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad que recogerá la distribución, abundancia, estado de conservación y la utilización, así como cualquier otra información que se considere necesaria, de todos los

elementos terrestres y marinos integrantes del patrimonio natural, con especial atención a los que precisen medidas específicas de conservación o hayan sido declarados de interés comunitario, en virtud de la normativa de la Unión Europea.

Así mismo, señala que el contenido y estructura del Inventario Español del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad se determinarán reglamentariamente, previa consulta con las comunidades autónomas, debiendo formar parte del mismo, al menos, la información relativa a, entre otras cuestiones, un Inventario de Lugares de Interés Geológico representativo, de al menos, las unidades y contextos geológicos recogidos en el Anexo VIII. Este anexo, se refiere a la geodiversidad del Territorio Español y entre las Unidades geológicas más representativas, figuran los sistemas volcánicos, omnipresentes en la Comunidad Autónoma de Canarias. También se refiere a los contextos geológicos de España de relevancia mundial, entre los que se encuentran algunos edificios y morfologías volcánicas de las islas Canarias.

El Real Decreto 1274/2011, de 16 de septiembre, aprueba el Plan estratégico del patrimonio natural y de la biodiversidad 2011-2017, en aplicación de la Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad, encomienda al Instituto Geológico y Minero de España, institución pública que hoy se integra en el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (C.S.I.C.) la finalización de este inventario, sin perjuicio de las actuaciones que las Comunidades Autónomas, en uso de sus competencias, lleven a cabo para completarlo en sus respectivos territorios. Además, hay que tener en cuenta el patrimonio geológico identificado por el proyecto internacional *Global Geosites*, promovido por la Asociación europea para la Conservación del Patrimonio geológico (*ProGEO*) y la Unión Internacional de las Ciencias Geológicas (*IUGS*) con el co-patrocinio de la *UNESCO*; que además de enumerar los contextos geológicos de España de relevancia mundial, posteriormente recogidos en el Anexo VIII de la Ley estatal de Patrimonio Natural y Biodiversidad, eligió y definió con formatos homogéneos los puntos o lugares de interés geológico (*Geosites*), representativos y definitorios de los contextos geológicos establecidos en la fase anterior. Todos estos trabajos, desarrollados por diversas instituciones, han dado lugar al **Inventario Español de Lugares de Interés Geológico (IELIG)**, que forma parte del Inventario Español del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad

Por otra parte, el capítulo II de la Ley relativo a la protección de espacios naturales, regula su tipología en todo el Estado y establece una categoría, los **Monumentos Naturales**, especialmente dedicada a la protección de la gea. En particular, el artículo 34 establece que los Monumentos Naturales son espacios o elementos de la naturaleza constituidos básicamente por formaciones de notoria singularidad, rareza o belleza, que merecen ser objeto

de una protección especial. Además, dispone que se considerarán también Monumentos Naturales los árboles singulares y monumentales, las formaciones geológicas, los yacimientos paleontológicos y mineralógicos, los estratotipos y demás elementos de la gea que reúnan un interés especial por la singularidad o importancia de sus valores científicos, culturales o paisajísticos. Sin embargo, el propio Real Decreto 1274/2011, de 16 de septiembre, señala que el escaso reconocimiento del patrimonio geológico tiene su reflejo en la falta de legislación propia para su protección.

Así mismo, subraya que la protección legal de la geodiversidad y del patrimonio geológico se podría reforzar usando el marco de la legislación sobre Patrimonio Natural y Biodiversidad. La definición de la naturaleza del recurso geológico a proteger, el establecimiento de sanciones en caso de daños, así como la asignación de la responsabilidad de su cumplimiento a un departamento administrativo determinado son elementos claves para asegurar la eficacia de un sistema de protección.

En cuanto a los daños al patrimonio geológico en España, esta norma destaca los producidos por la recolección y el comercio de fósiles, minerales y de patrimonio geológico mueble en general, siendo muchas veces el destino de dicho comercio los mercados internacionales. Continúa manifestando que existe una escasa regulación sobre este tema que resulta, en general, insuficiente para asegurar su correcta protección, salvo que se trate de material recolectado dentro de un espacio protegido o que haya sido inventariado como patrimonio (por ejemplo, con la categoría de bien cultural). Para mejorar esta situación señala la necesidad de poner en marcha acciones coordinadas entre las administraciones de patrimonio histórico, patrimonio natural y comercio internacional. Con un marcado carácter voluntarista, impropio de una norma de estas características, el referido decreto, se limita a señalar que sería muy conveniente, la regulación legal de estos elementos, al igual que el fomento de códigos de conducta voluntarios que prevengan daños, pérdidas innecesarias y que faciliten la actividad investigadora.

Además, incluye en este diagnóstico, que se detecta una carencia de programas educativos e informativos que favorezcan el interés por la conservación y estudio del patrimonio geológico como recurso natural, en línea con otros programas implantados, relacionados con la biodiversidad, y que la cooperación entre instituciones públicas, nacionales e internacionales, organismos científicos y asociaciones civiles involucradas en este ámbito es escasa.

Por último, concluye que la adecuada consideración del patrimonio geológico como parte del patrimonio natural requiere su identificación mediante inventarios de los que puedan derivarse catálogos. A partir de ellos, sería posible orientar medidas adecuadas que garanticen la conservación del patrimonio geológico, así como establecer medidas para aprovechar su

potencial didáctico, divulgativo y turístico. Así mismo, sostiene que el estudio de la geodiversidad, y el conocimiento del papel de la geología en los sistemas naturales españoles pueden ayudar a entender mejor el funcionamiento de determinados ecosistemas y la vinculación entre biodiversidad y geodiversidad.



Fig. 19: Tronco y raíz de pino canario en colada de lava, Tenerife.

La protección del Patrimonio Geológico en Canarias

La situación del patrimonio geológico en Canarias se puede calificar de comprometida, por la carencia de protección normativa, y en los espacios naturales protegidos, en muchos casos, de protección efectiva. En este sentido, las acciones puestas en marcha, tienen más que ver con su identificación y catalogación, que con la elaboración y aprobación de normas que garanticen su conservación.

Así, el proyecto «LIG Canarias» (Lugares de Interés Geológico de las islas Canarias) fue una iniciativa de investigación en el marco del Inventario Español de Lugares de Interés Geológico (IELIG), desarrollado entre otros por el Instituto Geológico y Minero de España (IGME) con la colaboración de la Universidad de La Laguna (ULL), Universidad de Las Palmas de Gran Canaria (ULPGC) y el Museo de la Naturaleza y Arqueología (MUNA).

Los LIG se definen como zonas de interés científico, didáctico o turístico que, por su carácter único y/o representativo, son necesarias para el estudio e interpretación del origen y evolución de los grandes dominios geológicos

españoles, incluyendo los procesos que los han modelado, los climas del pasado y su evolución paleobiológica.

Los objetivos principales del proyecto LIG Canarias fueron:

a) inventariar y caracterizar los lugares geológicos de las islas Canarias que poseen singularidad, belleza y valores patrimoniales destacados;

b) valorar este tipo de patrimonio, promoviendo su conocimiento y difusión a nivel científico, didáctico y turístico-recreativo, y

c) garantizar la geoconservación de estos espacios, integrándolos en el inventario nacional del que forman parte, y al que se van incorporando los nuevos lugares de interés geológico, que se declaran en Canarias y en todo el Estado.

Resultado del proyecto realizado entre 2018-2021 fue la elaboración de un inventario detallado que hubiera debido servir para la protección y el uso sostenible del patrimonio geológico del archipiélago, identificando puntos de gran interés que reflejan la historia geológica única de las islas Canarias.

El proyecto LIG Canarias, identificó más de 300 Lugares de Interés Geológico en todo el Archipiélago. Posteriormente se han incorporado algunos más. Sin embargo, los LIG que están fuera de cualquier figura de espacio natural, de las previstas en Ley 4/2017, de 13 de julio, del Suelo y de los Espacios Naturales Protegidos de Canarias, y algunos cuyo ámbito coincide con bienes de interés cultural con la categoría de zona paleontológica, de acuerdo a la Ley 4/1999 de 15 de marzo, de Patrimonio Histórico de Canarias, carecen de protección efectiva. Incluso que estén incluidos en una u otra categoría, no los ha salvado de su deterioro.

En el contenido de la Ley de Suelo y Espacios Naturales Protegidos de Canarias, podemos encontrar, una declaración de la intención de proteger la geodiversidad y el patrimonio geológico. De esta forma, en su artículo 5, como principios específicos que inspiran la ley, se pueden enumerar, en relación con los espacios naturales, el medio natural y el paisaje:

a) La conservación y la restauración de los espacios naturales protegidos, de la biodiversidad y de la **geodiversidad**, protegiendo los procesos ecológicos, su diversidad y el equilibrio entre los mismos en armonía con la mejora del nivel de vida de las personas.

b) La utilización ordenada de los recursos naturales, tanto **geológicos** como biológicos, promoviendo un aprovechamiento que garantice la conservación de las especies y los ecosistemas sin alterar sus equilibrios básicos.

Además, en su artículo 96, establece como contenido obligatorio de los planes insulares, que deben elaborar y aprobar los Cabildos, un diagnóstico territorial, ambiental y económico, con especial referencia a los recursos naturales, a la población, con atención particular a la igualdad de género y el bienestar de las familias, al planeamiento vigente y a la situación

socioeconómica. El diagnóstico ambiental deberá abordar el siguiente contenido:

a) Identificar y georeferenciar los espacios y los elementos significativos del patrimonio natural de la isla y, en particular, los incluidos en el Inventario español del patrimonio natural y la biodiversidad, los valores que los caracterizan y su integración y relación con el resto del territorio.

b) Definir y señalar el estado de conservación de los componentes del patrimonio natural, la biodiversidad y la **geodiversidad** y de los procesos ecológicos y geológicos en el ámbito insular.

c) Identificar la capacidad e intensidad de uso del patrimonio natural y la biodiversidad y la **geodiversidad** y determinar las alternativas de gestión y las limitaciones que deban establecerse a la vista de su estado de conservación.

Por su parte, el apartado segundo del artículo 176, señala que la valoración de un espacio natural, a efectos de su consideración como protegido, tendrá en cuenta entre otros requisitos, albergar **estructuras geomorfológicas** representativas de la **geología insular,** en buen estado de conservación y contener **yacimientos paleontológicos** de interés científico**.**

Con respecto a las categorías de espacios naturales previstas en el mismo artículo, las formaciones geomorfológicas, los elementos de la gea, los elementos o formaciones geológicas y los yacimientos paleontológicos, son mencionados como razones para la declaración de los Parques Naturales, las Reservas Naturales Integrales y Especiales y los Monumentos Naturales, que como ocurre en la legislación nacional, se consideran la forma más adecuada de proteger las formaciones geológicas o los yacimientos paleontológicos.

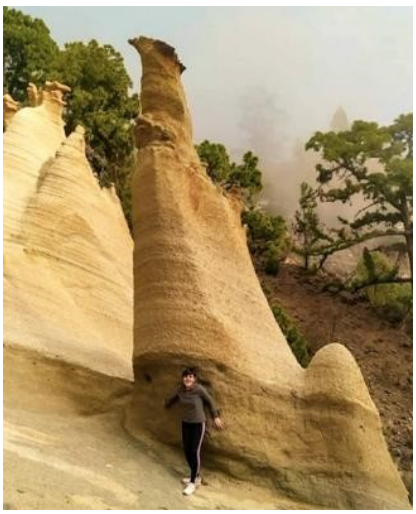


Fig. 20: Persona apoyada y grabados en las chimeneas de hadas de los Escurriales, Tenerife.

Sin embargo, estas determinaciones previstas en la legislación canaria de espacios naturales, no suponen que el patrimonio geológico de las islas esté protegido. Un ejemplo de un Lugar de Interés Geológico que se encuentra en un espacio natural protegido y que está amenazado. Se trata del LIG IC4043 (código establecido en el proyecto LIG Canarias) «Morfologías en chimeneas de hadas de Los Escurriales», conocido también por «Paisaje Lunar». El acceso a pie a las frágiles formaciones de piedra pómez, está permitida por el Plan Rector de Uso y Gestión del Parque Natural de la Corona Forestal, que curiosamente menciona este lugar como una de los fundamentos de la declaración de este espacio natural protegido, pero ni lo considera zona de exclusión, ni prevé ninguna medida para su protección.

La falta de protección efectiva del patrimonio geológico ha propiciado que el IGME, haya puesto en marcha el programa estatal, «Apadrina una Roca». Se trata de una iniciativa para la conservación y seguimiento del patrimonio geológico español. Parte de una idea original de la Asociación Geología de Segovia puesta en marcha a finales del año 2011, y que se hizo extensiva, a todos los LIG del Inventario Español de Lugares de Interés Geológico (IELIG).

A través de un sencillo sistema de registro, se puede «apadrinar» un lugar de interés geológico que, por su valor científico, didáctico, divulgativo o turístico, que cualquier ciudadano crea que merezca ser conservado. Los «padrinos o madrinas de una roca», adquieren un pequeño compromiso con el Lugar de Interés Geológico (LIG) que elijan, que básicamente consiste en velar por su conservación. Para ello se debe aceptar el reglamento de normas y obligaciones, que implica darse de alta en el programa, informar de cualquier incidencia que detectes en el lugar que se debe visitar al menos con una periodicidad anual. El IGME preguntará anualmente, la opinión sobre el estado y condiciones de observación. Apadrinar es totalmente es gratuito.

La coordinación del programa se realiza desde el Instituto Geológico y Minero (IGME) de forma genérica para el territorio nacional y por los responsables autonómicos en aquellas Comunidades Autónomas que se han adherido al mismo. En aquellos casos en los que la comunidad autónoma del LIG a apadrinar, disponga de un sistema de gestión de incidencias propio (actualmente solo Andalucía y País Vasco), las alertas o informes de seguimiento de la iniciativa, serán gestionados directamente por estas.

En Canarias, también se puede destacar la iniciativa-campaña «Pasa sin Huella», puesta en marcha por la Fundación Canaria Telesforo Bravo-Juan Coello, otras entidades conservacionistas del archipiélago canario y personas a título particular, que denuncia agresiones a la geodiversidad y el patrimonio geológico e imparte charlas en diferentes centros educativos y otros lugares de las islas. Hasta la fecha, se han realizado acciones en todas las islas Canarias. Sin embargo, ambas iniciativas, basadas en el voluntariado, no pueden paliar, la inacción de las Administraciones Públicas competentes, que

ni siquiera han sido capaces de aprobar en Canarias, una normativa que regule y proteja el patrimonio geológico.



Figs. 21 y 22. Logotipos de **21**: «Apadrina una Roca», y **22**: «Pasa sin Huella».

Hay que recordar que la Ley de Patrimonio Natural y Biodiversidad Estatal data de 2007. Es decir, el Gobierno y el Parlamento de Canarias, han tenido 19 años, para elaborar y aprobar la normativa autonómica que debe desarrollar la estatal. Esta inacción, ha propiciado en la práctica, la desprotección y pérdida de muchos elementos que conforman nuestro patrimonio natural. Este largo período, indica que no se trata de una cuestión fortuita, sino de una decisión consciente y deliberada, que este autor lamenta profundamente y condena. Tampoco el Gobierno del Estado ha puesto en evidencia esta situación, ni ha hecho un esfuerzo consistente y duradero para conseguir que Canarias y otras Comunidades Autónomas, cumplan con su deber en esta materia.

También es necesario decir que, recientemente el Gobierno de Canarias ha sometido a información pública el anteproyecto de la Ley de Biodiversidad y Recursos Naturales de Canarias. Como se puede comprobar, el título de la ley difiere sensiblemente del establecido en la legislación básica que desarrolla. No se trata de una cuestión baladí, porque aquella define los recursos naturales como «todo componente de la naturaleza, susceptible de ser aprovechado por el ser humano para la satisfacción de sus necesidades y que tenga un valor actual o potencial, tales como: el paisaje natural, las aguas, superficiales y subterráneas; el suelo, subsuelo y las tierras por su capacidad de uso mayor: agrícolas, pecuarias, forestales, cinegética y de protección; la biodiversidad; la geodiversidad; los recursos genéticos, y los ecosistemas que dan soporte a la vida; los hidrocarburos; los recursos hidroenergéticos, eólicos, solares, geotérmicos y similares; la atmósfera y el espectro radioeléctrico, los minerales, las rocas y otros recursos geológicos renovables y no renovables». Por tanto, según esta concepción legal, el término «recursos naturales», incluye la biodiversidad y muchos otros elementos,

desde una perspectiva economicista, de aprovechamiento por el ser humano, excluyendo aquellos que son bienes per se, es decir, poseen un valor intrínseco, aunque no sean susceptibles de uso por los seres humanos. No se contempla ningún artículo relativo al resultado del proyecto LIG Canarias, es decir, al Inventario Canario de Lugares de Interés Geológico (ICLIG) como integrante del Inventario Español de Lugares de Interés Geológico (IELIG). Por otra parte, se establecen varias nuevas figuras de protección por presencia de valores geológicos, que no se especifica cómo se declaran («se podrán declarar»), ni se definen sus características y finalidad. La propuesta de texto normativo, reproduce la situación actual, en la que los nuevos espacios geológicos protegidos fuera de espacios naturales protegidos, carecen en todo caso de protección efectiva, por lo que se considera fundamental que, se definan de manera clara, tengan un procedimiento de declaración y una normativa de protección específica, además de integrarse en la Red Canaria de Áreas Protegidas. Si no se hace, así, la creación de estas nuevas áreas geológicas protegidas, es una declaración de intenciones.

Además, no se incluye una Lista de Lugares de Interés Geológico, integrada por los que ya figuran en el IELIG (Inventario español de Lugares de Interés Geológico) y que a su vez están integrados en el Inventario de Patrimonio Natural estatal. Finalmente, no se establece la necesidad de regular reglamentariamente, la estructura, contenido y procedimientos de inclusión, de los Lugares de Interés Geológico, en Canarias. Por lo tanto, podemos concluir que la normativa propuesta, no supone una mejora sustancial de la situación actual de desprotección que sufre el patrimonio geológico de Canarias.

Casos de estudio de Lugares de Interés Geológico en Canarias, especialmente amenazados o dañados

IC4035.
Piroclastos sálicos pleistocenos del Miembro Granadilla, Tenerife.

El Miembro Granadilla, el más moderno de la «Formación Guajara» de las Bandas del Sur, se originó en una erupción altamente explosiva de tipo pliniano ocurrida hace 600 ± 7 ka en la región central del Edificio Cañadas. Aunque es un LIG, la cantera «Los Cármenes», cuyos trabajos se reactivaron recientemente está extrayendo material y desmantelando estas formaciones. Esta circunstancia ha generado una fuerte contestación social y vecinal debido a los graves problemas ambientales y de salud que está provocando en la zona. Los principales problemas denunciados por los afectados y las asociaciones locales incluye la emisión de polvo de sílice procedente de la extracción. Las operaciones de la cantera generan una gran cantidad de

partículas finas que invaden de forma constante las viviendas del entorno y afectan de manera directa a los vecinos, quienes aseguran sufrir molestias crónicas en ojos, nariz y garganta. Además, la actividad extractiva se sitúa a escasos 50 o 100 metros de núcleos habitados y, de manera muy preocupante, del CEIP Virgen del Pilar, el colegio local al que asisten cerca de un centenar de escolares, lo que ha encendido las alarmas de las familias ante el riesgo de que los menores enfermen. Por último, colectivos locales denuncian que la reapertura se ha llevado a cabo sin la debida señalización ni protección de los bienes patrimoniales y arqueológicos del entorno, catalogado además como un elemento geológico de gran interés por sus piroclastos.



Figs. 23 y 24. **23**: Depósitos de piroclastos del LIG (LIG Canarias). **24**: Trabajos de extracción de jable en la cantera «Los Cármenes». Tenerife.

La indignación vecinal aumentó al revelarse en el Boletín Oficial de Canarias (BOC) que la empresa explotadora (*Cement Investment*) había solicitado formalmente ampliar la superficie de la cantera, justo al mismo tiempo que la plataforma vecinal y el Ayuntamiento de Granadilla exigían su

cierre cautelar y paralización inmediata, hasta que se garantice el cumplimiento estricto de las normativas de impacto ambiental. Hasta el momento, ni los tribunales, ni el Gobierno de Canarias han decretado el cese de la actividad y la clausura de la cantera.

IC4035.
Domo-colada de Montaña de Guaza, Tenerife.

Se trata de un domo volcánico de tipo cono-domo, de unos 425 m de altura y unos 2 km de diámetro, situado en el vértice sur de Tenerife, en la costa del municipio de Arona, entre la Urbanización Palm-Mar y la Playa de Los Cristianos. Este edificio pertenece a una alineación de domos sálicos de la que también forman parte el Lomo Simón y Los Picachos, en dirección NE, con unas edades ligeramente superiores al medio millón de años y consideradas como manifestaciones periféricas del Edificio Cañadas. De este conjunto de domos, Guaza es el mejor conservado, constituyendo el mejor ejemplo en Tenerife de un cono-domo con formación de colada. Un edificio de composición traquítico-fonolítica, de unos 670.000 años de antigüedad.



Figs. 25 y 26. **25**: Montaña de Guaza.(LIG Canarias). **26**: Infografía de uno de los proyectos en la Montaña de Guaza. Tenerife.

Se trata de un lugar que además de ser LIG, es espacio natural protegido (Monumento Natural según la legislación canaria y espacio de la Red Natura 2000). Sin embargo, dos grandes empresas inmobiliarias, una liderada por el cónsul honorario de Bélgica y llamada «Los Menceyes» y otra en Madrid, denominada «Metrovacesa», han pedido licencia al Ayuntamiento de Arona, para construir viviendas y locales comerciales en las laderas de la montaña.

Los proyectos contemplan voladuras y colocaciones de mallado que implican, bien la destrucción de determinados ámbitos, o un grave deterioro del LIG. Hay que recordar que en el pasado, la Montaña de Guaza ya ha sufrido, en diferentes ámbitos, el expolio de parte de su territorio por promociones urbanísticas. En la actualidad, el ayuntamiento de Arona, no ha concedido las licencias y está a la espera de que las empresas entreguen determinada documentación ambiental.

IC4022.
Maar cuaternario de la Caldera del Rey, Tenerife.

La denominada Caldera del Rey o de Mena, constituye uno de los escasos ejemplos de edificio hidromagmático pleistoceno de composición traquítica-fonolítica de la isla de Tenerife y el archipiélago canario.



Fig. 27. Ladera noroeste de La Caldera del Rey.Tenerife.

Corresponde a un edificio principal volcánico de composición sálica y altura máxima de 90 m, formado por la imbricación de dos edificios menores de morfología calderiforme alargados, con una longitud de 2,65 km. Atendiendo a las características de los depósitos piroclásticos asociados ha sido interpretado como un anillo de tobas, resultado de la alternancia entre la actividad volcánica común y episodios cíciclos hidromagmáticos de gran explosividad como consecuencia de la entrada de agua en los conductos eruptivos, generándose oleadas basales que al detenerse formaron depósitos anulares que enmarcan la depresión explosiva.

Aunque es LIG y Monumento Natural, está profundamente antropizada. Apreciar el contorno de la caldera es muy difícil por la presencia de numerosas edificaciones, muros artificiales y reforzados con cemento proyectado, calles y carreteras. El interior está ocupado por fincas de platanera y otros cultivos, además de por diferentes viarios.



Fig. 28. Vista área de La Caldera del Rey y su entorno.Tenerife.

IC4049.
Ignimbritas y depósitos de caída plinianos pleistocenos del Puertito de Adeje, Tenerife.

La sucesión estratigráfica expuesta en los escarpes erosivos del Puertito de Adeje comprende tres formaciones geológicas que registran la actividad eruptiva del volcán de Las Cañadas. Este volcán se caracteriza, desde el punto de vista geoquímico, por un magma de composición más evolucionada (enriquecida en SiO_2), cuyos depósitos indican la ocurrencia de actividad eruptiva pliniana en la isla de Tenerife durante el Plioceno superior-Pleistoceno. La actividad pliniana es la actividad volcánica más explosiva y está causada por la exsolución y expansión de los compuestos volátiles durante el ascenso del magma hacia la superficie. Este LIG del Puertito colinda con el Sitio de Interés Científico de La Caleta, formando en conjunto, un registro bien preservado de 300 000 años de vulcanismo explosivo en Tenerife. La realidad es que, en su ámbito territorial, están presentes los mismos valores naturales que dieron lugar a la declaración del limítrofe Sitio de Interés Científico de La Caleta. Sin embargo, en su día se dejaron fuera de aquel deliberadamente.

El caso de la reciente destrucción de este LIG, es uno de los más dolorosos y lamentables. Fue declarado por el IGME, el 24 de septiembre de 2024. A día de hoy, una parte significativa ha sido destruida por las obras de construcción de la urbanización «Cuna del Alma». En 2023, el Gobierno de Canarias paralizó las obras, pero en 2024, el nuevo ejecutivo surgido de las elecciones de 2024, permitió su reanudación. En 2026, el Juzgado de Arona, decretó la paralización de una parte muy pequeña del proyecto en la zona costera (en torno a un 5%) pero el daño realizado por la maquinaria pesada, es enorme.



Figs. 29 y 30. **29**: Detalle de la destrucción de las ignimbritas y depósitos de caída plinianos del LIG. **30**: Infografía del proyecto de «Cuna del Alma», Tenerife.

La promotora de la urbanización es la empresa belga, Segunda Casa Adeje, S.L. El proyecto ocupa unos 500 000 metros cuadrados y su ejecución contempla la construcción de 420 viviendas de lujo y hotel, además de un club de playa, en un antiguo empaquetado de tomates, propiedad de una familia local. Actualmente, se está celebrando un juicio penal, donde hasta la fecha han sido llamados a declarar, el promotor de la obra y el Director General de Costas del Gobierno de Canarias, pero los trabajos continúan en las zonas donde no se han suspendido.

IC4027.

Cono y coladas negras prehistóricas del Pico del Teide y sistema fumaroliano activo, Tenerife.

Ni siquiera el volcán más emblemático del archipiélago canario, que además de LIG, forma parte del Parque Nacional del Teide, al que da nombre y es Monumento Natural, según la legislación canaria, está ajeno a las amenazas y la destrucción.

El artículo 6.3 del Plan Rector de Uso y Gestión del Parque Nacional del Teide aprobado por el Decreto 182/2025, de 1 de diciembre, contiene un artículo que regula la relación de usos y actividades compatibles con los objetivos del parque nacional no necesarias para la conservación. Entre ellos se refiere a la visita al parque y en particular al régimen del acceso, tránsito, estacionamiento de vehículos y servicios de uso público en el parque nacional.



Fig. 31. Caseta del teleférico en la base del Teide,Tenerife.

Con respecto al tránsito y estacionamiento de vehículos, el PRUG establece que una vez esté operativa la ampliación del aparcamiento situado en la zona de uso especial en el entorno de la antigua gasolinera contigua a la carretera TF-21, quedará prohibida la circulación y el aparcamiento en la vía de acceso a la estación inferior del teleférico. Se exceptúa de tal prohibición a los vehículos de transporte colectivo, y a los vehículos del parque nacional y del teleférico, así como de entidades que presten servicios de mantenimiento. El personal del Teleférico dispondrá de una zona acotada en el nuevo espacio habilitado para el estacionamiento de sus vehículos. La

ladera del estratovolcán que se encuentra sobre esta vía de acceso deberá ser acondicionada para evitar el impacto de posibles desprendimientos.

Este artículo, comienza por certificar la permanencia del teleférico después del 2037, que es el año en que termina la concesión, lo que implica que no existe ninguna intención de desmantelar sus instalaciones, lo más aconsejable y lo que da cumplimiento al Plan Director de Parques Nacionales, que es legislación básica.

Este artículo resulta además contradictorio con las determinaciones de los apartados c, d, y k del apartado 4 del PRUG en vigor, relativos a los criterios de gestión. Así mismo la frase, «deberá ser acondicionada para evitar el impacto de posibles desprendimientos» implicaría la existencia de estudios geotécnicos, geológicos y de valoración del posible patrimonio afectado por ese acondicionamiento, lo que hasta la fecha no se ha dado a conocer a los miembros del patronato del parque nacional, ni figura en el documento de PRUG. Resulta escandaloso que para proteger los intereses de una empresa privada, participada por el Cabildo de Tenerife, se pretenda dañar al Teide.

IC2019.
Delta y lava plioceno de Ajuí–Ensenada de La Herradura, Fuerteventura.

El valor de este LIG es excepcional. Se trata de un delta de lava formado a la llegada de las coladas de la erupción de Morro-Valdés al mar. Las coladas son de carácter basáltico olivínico-piroxénico, estando representadas por varias unidades lávicas, apoyadas unas sobre otras en posición horizontal o subhorizontal.



Fig. 32. Detalle de visitantes en el LIG de Ajuy, Fuerteventura.

En conjunto, la formación tiene un espesor total visible de unos 60-70 m. El delta de lava tiene una edad de 5,8 Ma. Por otro lado, las determinaciones paleontológicas de la fauna encontrada en los depósitos marinos situados debajo de las coladas indican que, efectivamente, corresponden al Plioceno inferior.

Presenta interés petrológico, sedimentológico y paleontológico. Parte de este LIG es además Monumento Natural de Ajuy. Sin embargo, sus reducidas dimensiones, la falta de un estudio sobre su capacidad de carga, la fragilidad de los materiales presentes, la falta de un sendero delimitado y la inexistencia de un control de acceso, así como la ausencia de vigilancia, está generando daños al LIG derivados de la gran presión antrópica que sufre.

IC2008.
Depósitos eólicos fosilíferos cuaternarios del Jable de Lajares, Fuerteventura.

Al norte de Fuerteventura se localiza un ecosistema dunar fósil formado por diversas capas de eolianitas y paleosuelos que abarcan las oscilaciones climáticas y de paleobiodiversidad de los últimos 350 000 años de las islas orientales de Canarias. Los cortes estratigráficos mejor conservados se pueden observar en Montaña de la Costilla, cantera de Rosa Negra y Barranco de los Encantados, con al menos seis niveles estratigráficos diferentes.



Figs. 33 y 34. Grabados en los depósitos del LIG de Lajares, Barranco de los Encantados o Enamorados, Fuerteventura.

Además, constituyen localidades tipo de dos especies de gasterópodos terrestres (*Theba costillae* y *Cochlicella sp*.) y localidades de referencia de los análisis sedimentarios y paleoclimatógicos elaborados en varios proyectos de investigación.

El interés principal de este LIG es el paleontológico, pero también tiene interés secundario sedimentológico, estratigráfico, geomorfológico y paleoclimático. El barranco de los Encantados está declarado como Bien de Interés Cultural, zona paleontológica, pero tanto en este caso como en el de los otros afloramientos, la extracción ilegal de áridos ha puesto en eminente peligro la desaparición de estos espacios.

A ello hay que añadir, además, el daño producido en el Barranco de Los Encantados o Enamorados, por quads, todoterrenos, motocicletas y bicicletas, así como por visitantes que graban sus nombres en los depósitos.

IC6031.
Volcán, coladas y piroclastos de la erupción de Tajogaite de 2021.

En la isla de La Palma, entre el 19 de septiembre y el 13 de diciembre de 2021, con una duración de 85 días, tuvo lugar una erupción volcánica fisural estromboliana, con gran emisión de gases, piroclastos y lavas desde la zona comprendida entre los parajes de Cabeza de Vaca y Tajogaite, en la vertiente noroccidental de la dorsal de Cumbre Vieja.

A lo largo de este evento eruptivo se emitió un volumen de material superior a 200 Mm^3 a través de una alineación eruptiva, que llegó a tener hasta diez cráteres activos a la vez, formando un cono volcánico principal de medio kilómetro de longitud, con un volumen de 34 Mm^3 y 200 m de altura máxima respecto a la topografía pre-eruptiva. El cono principal tiene 700 m de longitud media basal y un cráter principal elíptico de 172 x 106 m; un campo de coladas de lava de superficie superior a 1200 ha con tipología mayoritariamente a'ā (malpaís) y minoritariamente pāhoehoe (cordadas), con un espesor máximo estimado de 70 m y medio de 12 m, con un recorrido máximo subaéreo superior a 6,5 km y submarino superior a 1,1 km.; dos deltas lávicos (localmente llamados «fajanas»), con una superficie subaérea de 48 ha y submarina estimada de 21 ha.

A lo largo de la evolución se han formado infinidad de macro- meso- y microformas volcánicas: conos secundarios, bordes de colada (*levees*), bloques erráticos, tubos volcánicos, jameos, hornitos, campos de bombas, acumulaciones y secuencias de tefra, fisuras eruptivas, deformaciones plásticas (plegamientos) y frágiles (fallas, grietas y fisuras), bloques elevados y hundidos (*grabens*), movimientos del terreno (cabeceras, lenguas y pies de deslizamientos y avalanchas de rocas), brechas de colapso e interacciones de materiales volcánicos con productos de la actividad humana que pueden ser denominados depósitos antropocenos o tecnofósiles, de gran interés y que

generaron un patrimonio geológico excepcional, que a día de hoy, a pesar de los esfuerzos del IGME, y particularmente de la coordinadora del Equipo de Investigación en «Patrimonio y Geodiversidad» del IGME-CSIC, Juana Vegas y de la profesora titular de la ULL, Carmen Romero, ha sido destruido en gran parte.



Figs. 35 y 36. **35**: Delimitación del LIG del Tajogaite (IELIG). **36**: Bombas volcánicas del Tajogaite.

La promesa realizada por determinados responsables políticos de regresar a la situación anterior a la erupción volcánica, ha provocado un verdadero furor constructivo, bajo la excepcionalidad que otorga la consideración de obras de emergencias, que eliminó y sigue eliminando cualquier requerimiento ambiental. Bajo la excusa de una pretendida reconstrucción, se ha construido más. Se ha perdido la oportunidad de reinventar y reordenar la isla, consiguiendo un mayor equilibrio territorial entre las diferentes comarcas. Se han construido tres grandes carreteras paralelas a diferentes cotas, que han provocado daños masivos en elementos patrimoniales recién formados. Se ha permitido construir sobre las coladas edificaciones aisladas y se ha vuelto a recuperar el urbanismo a borde de camino, trazando nuevas pistas de acceso para esas viviendas a las que habrá de dotar de servicios. Los contratistas, ante la falta de control, se han convertido en planificadores y urbanistas. Se han vuelto a plantar plataneras recurriendo a la sorriba, se han levantado invernaderos y se han construido naves de empaquetados y hasta gasolineras, en las lavas cuando había suelo disponible, en otros lugares más accesibles.



Figs. 37-39. **37**: Lavas pahoehoe cubriendo viviendas en el Corazonzillo. **38**: Lavas pahoehoe formando bolas en un muro de mampostería en el Corazoncillo. **39**: Minicascada de lavas pahoehoe en un muro de mampostería en el Corazoncillo.

Se han eliminado elementos de gran interés como la sucursal de La Caixa, a la que entró la lava hasta su mostrador o la colada que se quedó a las puertas de la Iglesia de La Laguna. Hay quien se jacta de haber ajustado cuentas con el volcán e incluso quien ha pretendido que la erupción nunca existió. Sin embargo, no se ha planificado ni construido ningún espacio para el recuerdo de todo lo que la población del Valle de Aridane perdió en la erupción. Las personas afectadas, no han sido el centro de la gestión de la fase post-eruptiva.

Hemos visto esas carreteras ser ejecutadas en tiempo récord. El trabajo de los constructores ha sido reconocido en las rotondas, instalando apisonadoras y palas mecánicas. Nos preguntamos si es esto reconstrucción o venganza. Se ha privado a la población palmera de poder beneficiarse de este patrimonio recién creado y que les pertenecía.

El ámbito del este LIG, no coincide sin embargo con lo protegido por la Ley 2/2024, de 29 de mayo, de medidas en materia territorial y urbanística para la recuperación económica y social de la isla de La Palma tras la erupción volcánica de Cumbre Vieja.

Esta norma establece 4 zonas:

a) Zonas de menos de 10 metros de espesor de colada, en las que las condiciones de la lava permiten ya llevar a cabo la recuperación.

b) Zonas de más de 10 metros de espesor de colada, en las que los estudios científicos sobre el estado del suelo impiden, de momento, llevar a cabo actuaciones de recuperación.

c) Zonas sujetas a medidas cautelares por la posible existencia de valores geomorfológicos a proteger (volcán de Tajogaite y su entorno, así como las dos fajanas), lo que, con ese carácter provisional, impide llevar a cabo cualquier actuación de recuperación.

d) Zonas que forman parte del ámbito territorial de espacios naturales protegidos (Parque Natural de Cumbre Vieja y el Monumento Natural de Los Volcanes de Aridane) en las que la recuperación se vincula con lo que permita la ordenación de cada uno de ellos.

Como se puede observar las zonas sujetas a medidas cautelares, son solo el cono y su entorno y las dos fajanas, una de las cuales ya dañadas por la ejecución de una pista de 8 m de ancho para permitir el paso de una tubería de agua para riego de plataneras. Por lo tanto, se renuncia a proteger los elementos patrimoniales presentes en las coladas o en las zonas cubiertas por piroclastos.

De hecho, el Anteproyecto de Ley de ampliación del ámbito territorial del Parque Natural de Cumbre Vieja (P-4) establece que esta se proyecta sobre la zona sujeta a medidas cautelares por la existencia de valores geomorfológicos a proteger, denominada CAU – 01, es decir, el entorno del cono volcánico, prevista en la ley de medidas en materia territorial y urbanística para la recuperación económica y social de la isla de La Palma tras la erupción volcánica de Cumbre Vieja, incluyendo el edificio volcánico del Tajogaite y su entorno de fisuras eruptivas y campo lávico, y reuniendo como unidad geomorfológica bien definida la que corresponde al área cratérica donde se localizan los numerosos centros de emisión, en el entorno de Cabeza de Vaca, que alberga un edificio volcánico o cono fisural múltiple y a varias fisuras efusivas basales. En el flanco meridional de este sector, desde la base de Montaña Rajada y en dirección descendente, se identifican

hasta cuatro fisuras efusivas a modo de grietas o depósitos de acumulación de *spatter* (escoriáceo), desde donde parten pequeñas superficies lávicas pahoehoe. El ámbito incluye dos conos volcánicos previos, Montaña Rajada y Montaña Cogote, que se constituyen en islotes, testimonios de erupciones antiguas, sin registro histórico y referencias del paisaje rural anterior, como espacios que han quedado rodeados por los materiales emitidos durante esta erupción.

Así mismo, se propone la declaración de la Reserva Natural Integral del Delta Lávico Norte Costa del Perdido. Hay que hacer hincapié en que el referido anteproyecto no se ha aprobado y por lo tanto no constituye normativa vigente.



Figs. 40-42. **40**: Colada de lava junto a la oficina de La Caixa en La Laguna. **41**: Colada al pie de las escaleras de la Iglesia de La Laguna. **42**: Marquesina de guaguas en Todoque.

La última erupción de La Palma, representa el escaso valor que en general se da en Canarias al patrimonio geológico, evidenciado por la falta de protección legal y la falta de percepción social de su valor como elemento de desarrollo.

La declaración de guerra al volcán y su patrimonio es desconocer la propia naturaleza volcánica de la isla, que no existiría sin lavas y piroclastos. El intento de eliminar todo vestigio de la erupción incrementa el riesgo de las

erupciones futuras, que sin duda se producirán en el entorno, al ser Cumbre Vieja un edificio «joven» y volcánicamente activo.

La decisión de permitir construir en las lavas recién formadas, sin tener en cuenta ni peligrosidad, ni riesgo, genera la pregunta de quién será responsable de los previsibles futuros daños de una nueva actividad volcánica. Se puede estar condenando a una nueva generación de palmeros a sufrir lo que esta ha sufrido.



Figs. 43-46. **43**: Colada del Tajogaite destruida y cubierta de escombros. **44**: Nueva Carretera de Tacande, 18/11/2025. **45**: Destrucción de lavas pahoehoe, Carretera de La Laguna-Las Norias, 18/11/2025. **46**: Rotonda de la Carretera de La Laguna-Las Norias, 18/11/2025.



Fig. 47. Pala sobre una de las coladas que dio lugar a la formación de una fajana. Se puede apreciar la presencia de escombros.

La Disposición adicional vigesimosexta de la Ley del Suelo y de los Espacios Naturales Protegidos de Canarias, regula la declaración de ruina de edificaciones afectadas por una erupción volcánica. Esta norma señala que en edificaciones gravemente afectadas por una erupción volcánica, podrá declararse la situación legal de ruina cuando concurra cualquiera de las circunstancias siguientes:

a) Cuando debido a la acción de la lava, el calor, las cenizas, los movimientos sísmicos, la fracturación del terreno o la emisión de gases se hayan producido daños a la estructura.

b) Cuando sea imposible, por la zona en que se encuentre la edificación, la recuperación o el acceso a la misma.

c) Cuando no sea posible la prestación de los servicios públicos esenciales.

d) Cuando por cualquier causa sea imposible o se dificulte gravemente la recuperación de los usos para los que se construyó.

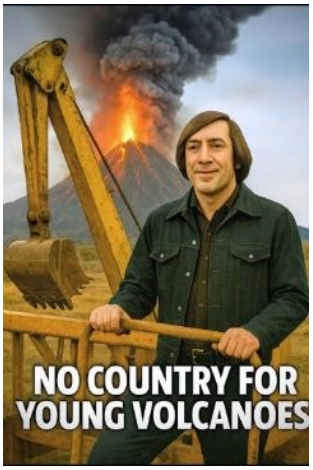


Fig. 48. No es país para volcanes jóvenes.

Sin embargo, el propietario o propietaria de la edificación tiene la obligación de la demolición de la misma, que podrá ser excepcionada por el ayuntamiento si se considera que la edificación tiene un interés científico, geológico o de vestigios de los efectos de una erupción volcánica. Esta última previsión abrió la puerta para conservar los depósitos antropocenos o los tecnofósiles. Sin embargo, las administraciones públicas canarias, no arbitraron ningún mecanismo económico para compensar a esos propietarios y propiciar la conservación de ese patrimonio. Hubiera sido deseable que se hubiera ofrecido a aquellos la expropiación de sus bienes por encima del valor del mercado. Sin embargo, a pesar de las numerosas ayudas, no se dedicó ninguna partida a este fin.

Por desgracia, debemos concluir este artículo certificando que mientras en Canarias, no exista legislación de desarrollo de la Ley 4/2007 en esta materia, el patrimonio geológico, estará a merced de las palas.

El presente artículo está basado en la conferencia que impartimos en el Instituto de Estudios Hispánicos de Canarias en noviembre de 2025, durante la XXI Semana Científica Telesforo Bravo diseñada con el propósito de divulgar y poner en valor el Patrimonio Geológico (Afonso-Carrillo, 2026).

Bibliografía

AFONSO-CARRILLO, J. (Ed.) (2026). *Patrimonio Geológico. La memoria de la Tierra*. XXI Semana Científica Telesforo Bravo, Instituto de Estudios Hispánicos de Canarias, Puerto de la Cruz.

CARCAVILLA URQUÍ, L. (2012). *Geoconservación*. Instituto Geológico y Minero de España (IGME).

CARCAVILLA URQUÍ, L. & J. PALACIO SUÁREZ-VALGRANDE (2010). *Proyecto Geosites: aportación española al patrimonio geológico mundial*. Instituto Geológico y Minero de España (IGME).

MARTÍN GONZÁLEZ, E., J.J. COELLO BRAVO & J. VEGAS SALAMANCA (Eds.) (2019). *El Patrimonio Geológico: una nueva visión de la Tierra*. Actas de la XIII Reunión Nacional de la Comisión de Patrimonio Geológico. Cuadernos del Museo Geominero, 30. Instituto Geológico y Minero de España (IGME).

VEGAS SALAMANCA, J., A.E. SALAZAR RINCÓN, E. DÍAZ MARTÍNEZ & C. MARCHÁN SANZ (Eds.) (2013). *Patrimonio geológico, un recurso para el desarrollo*. Cuadernos del Museo Geominero, 15.

VEGAS SALAMANCA, J., N. SÁNCHEZ JIMÉNEZ, C. ROMERO RUIZ & E. MARTÍN GONZÁLEZ (2025). El patrimonio geológico de las Islas Canarias, pp. 74-87. En «*Geoparques de Canarias. La geodiversidad al servicio del desarrollo sostenible*». Gobierno de Canarias.

3. Litófonos de la provincia de Las Palmas: patrimonio natural y cultural

Alejandro Jesús Rodríguez-Rubio

Científico marino.
Pedagogo Musical.
Doctorando de la ULPGC

Los litófonos son considerados como testigos sonoros de comunidades y culturas pasadas; consisten en formaciones rocosas que presentan zonas de alto desgaste provocadas por el impacto constante de percutores, lo que permite generar una resonancia comparable al repicar de una campana. En la geografía canaria, se distribuyen en múltiples localizaciones; no obstante, el grueso de estos yacimientos aún permanece sin documentar. Bajo esta premisa, la presente investigación se orienta a mapear y registrar sistemáticamente tales instrumentos a lo largo de las islas de la provincia de Las Palmas, empleando una metodología que cruza variables geológicas, toponímicas, acústicas y etnográficas. Gracias a este enfoque, ya se ha logrado identificar más de una veintena de hallazgos.

Más allá del inventario, esta investigación pone especial énfasis en el patrimonio asociado a estos instrumentos, a la vez que se analizan a nivel acústico. Durante la investigación se detalla el análisis de frecuencias de algunos de estos instrumentos caracterizando la interválica existente. Por otra parte, las rocas pueden catalogarse como sonoras y muy poco sonoras. Del mismo modo, se ha realizado una descripción de los materiales geológicos de cada instrumento, siendo de especial importancia potenciar el reconocimiento del valor histórico de estas rocas y asegurar su preservación para el futuro. Dada la alta probabilidad de detectar nuevos yacimientos, se hace imperativo dar continuidad a este

estudio, garantizando que el legado arqueológico permanezca intacto para las próximas generaciones.

Introducción

El término «litófono» proviene etimológicamente de los vocablos griegos *lithos* (piedra) y *phônê* (sonido), definiendo así a cualquier material pétreo capaz de producir una respuesta acústica al ser percutido. Sin embargo, en este trabajo los litófonos no son solo rocas con resonancia, sino que también presentan pruebas de uso en el pasado (Fig. 1). Esto se demuestra a través de las marcas de desgaste que prueban que estos instrumentos fueron utilizados anteriormente.

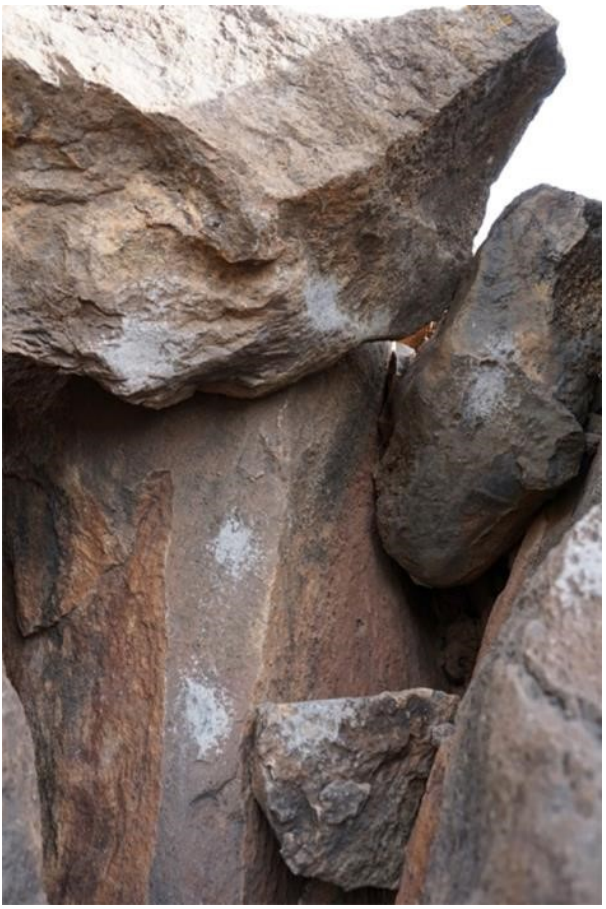


Fig. 1. Detalle de las marcas de golpeo que se encuentran en el litófono de Peña Luis Cabrera en la isla de Lanzarote. En la imagen pueden apreciarse siete zonas de desgaste de color algo más claro, creadas por el golpeo repetitivo de otras piedras percutoras.

Por otro lado, es de destacar que estos instrumentos han acompañado a la humanidad desde la prehistoria hasta la actualidad, representando una manifestación cultural constante en diversas civilizaciones. En el contexto específico de Canarias, estos litófonos poseen un valor singular, funcionando como un rasgo identitario de la cultura. Es fundamental aclarar que, aunque muchos de estos instrumentos se asocian a épocas prehispánicas, otros son de cronología mucho más reciente; por ello, este estudio otorga una relevancia equitativa a todos los hallazgos, priorizando su protección como patrimonio aún infravalorado.

La propiedad acústica de estos instrumentos, que recuerda al tañido de una campana, reside en su composición petrológica. En Canarias, los litófonos están integrados por rocas magmáticas de gran diversidad geoquímica y textural, cuya naturaleza está condicionada por las circunstancias de su génesis y su evolución geológica a lo largo del tiempo. Para su clasificación, se emplea el diagrama TAS (*Total Silica-Alcalis*) de Le Maitre (1984), que correlaciona la concentración de sílice (SiO_2) con rangos que oscilan entre <35% y hasta 75% y el contenido de álcalis (Na_2O+K_2O), fluctuando entre el 1% y el 16% (Fig. 2). Bajo este criterio, las rocas ígneas se dividen en cuatro categorías según su sílice (ultrabásicas, básicas, intermedias y ácidas) y dos tipos según su tendencia alcalina. El archipiélago se caracteriza por una prevalencia de rocas de carácter alcalino, abarcando desde variedades ultramáficas hasta ácidas.

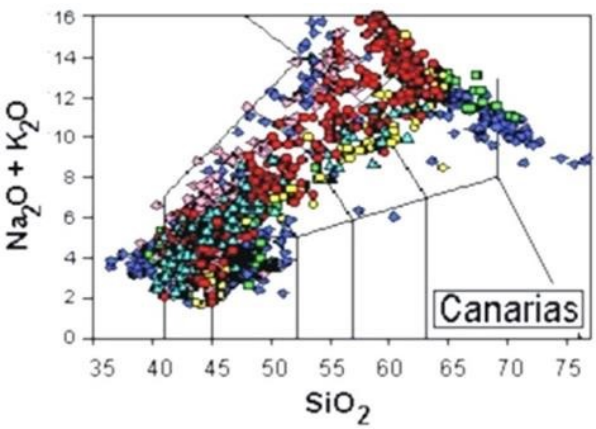


Fig. 2. Análisis de las rocas volcánicas en las islas Canarias con datos de la bibliografía y según Ancochea *et al*. (2004).

Aunque es cierto que no se han realizado análisis químicos específicos en los enclaves estudiados, la cartografía del plan MAGNA del Instituto Geológico y Minero de España (IGME) permite inferir que predominan dos grupos principales: (a) rocas ultrabásicas y máficas, descritas como basanitas

y basaltos, caracterizados por su baja concentración de sílice y un alto contenido en hierro y magnesio; y (b) rocas intermedias y félsicas, catalogadas como fonolitas y traquitas, con una mayor presencia de sílice, sodio y potasio, pero con menor proporción de elementos máficos.

El comportamiento acústico de estas rocas deriva de procesos geológicos como erupciones explosivas, flujos lávicos o enfriamientos intrusivos (diques, domos). La transición térmica, desde los 1400ºC hasta la temperatura ambiente, provoca fracturas específicas durante la consolidación del magma, generando estructuras planas, prismáticas o compactas que favorecen la resonancia. Ejemplos paradigmáticos son las fonolitas (etimológicamente «roca sonora») y las sienitas.

Existe una correlación frecuente entre la ubicación de estos instrumentos y la toponimia local. Nombres como «Montaña de La Campana», «Laja de Campana» o «Tablero de la Piedra Campana», sugieren que el uso de estos litófonos o las ceremonias vinculadas a ellos fueron el origen de tales denominaciones (Álvarez-Martínez & Siemens-Hernández, 2005). No obstante, es un fenómeno variable; muchos enclaves presentan nombres distintos (Montañón, Peña, etc.), lo que indica que, si bien la toponimia es una herramienta de localización, la ubicación de estos enclaves va mucho más allá de las referencias explícitas en el mapa.

Objetivos y metodología

El propósito fundamental de este estudio es realizar un inventario y descripción detallada de los enclaves de interés litofónico localizados en las islas orientales del archipiélago canario (Gran Canaria, Lanzarote y Fuerteventura). La investigación se centra en analizar cómo diversas formaciones rocosas, con propiedades petrográficas y texturales diferenciadas, han funcionado históricamente como instrumentos musicales, identificando al mismo tiempo nuevas áreas con potencial arqueológico donde podrían localizarse ejemplares adicionales.

En cuanto a la estrategia metodológica de esta investigación se fundamenta en los precedentes establecidos por Manuel González Ortega y Francisco Javier García Miranda en sus estudios sobre los litófonos de Fuerteventura y Tenerife (González Ortega, 1992; García Miranda, 2011), combinando un enfoque cualitativo, propio de la etnografía, con el método científico, esencial para la correcta caracterización acústica de los hallazgos. En la primera parte de la investigación se realizó una búsqueda exhaustiva de bibliografía, para continuar posteriormente con la fase de localización toponímica, tomando como referencia el Mapa Geológico de España (Balcells & Barrera, 1990; Balcells, Barrera & Gómez, 1990; Balcells, Barrera & Ruiz García, 1990); y utilizando las plataformas digitales *Toponimia ULPGC* y el Visor *IDECanarias-GRAFCAN.* En la siguiente fase,

se realizó el trabajo de campo distribuyéndose según la complejidad orográfica y la densidad de yacimientos de cada isla, siendo Gran Canaria el foco de mayor dedicación, frente a Lanzarote, cuya menor extensión facilitó una exploración algo más sencilla. En todo momento, se aplicó una observación participante activa, lo que implicó no solo la toma de registros visuales (fotografía) y espaciales (GPS), sino también la interacción directa con los instrumentos líticos y con la población local. Esta técnica permitió obtener datos cuantitativos y cualitativos, mediante la grabación de las distintas respuestas acústicas de cada roca.

Por otra parte, es de resaltar que para obtener información que la observación física no puede revelar, especialmente en enclaves carentes de toponimia, pero con arraigo en la memoria colectiva, se integró el formato de entrevista. Siguiendo el modelo propuesto por Folgueiras Bertomeu (2016), se diseñó un guion estructurado centrado en la recolección de datos sociodemográficos básicos de los informantes clave; si conocían enclaves cercanos y sus posibles usos.

En lo que respecta a la metodología de análisis acústico se adoptó la metodología establecida por Ulbrich (2003), quien sentó las bases con el primer análisis de frecuencias en el archipiélago. La metodología consiste en grabar los distintos puntos de percusión para procesar las señales mediante el software *WavePad FFT Sound Analyzer*, *Sonic Vizualaiser* y *Audacity.* Este proceso permite extraer métricas precisas sobre frecuencias y periodos, dotando al catálogo de una dimensión técnica que facilita la comparación científica entre los distintos litófonos documentados.

Antecedentes

El estudio científico de los litófonos tiene sus raíces en la segunda mitad del siglo XX, destacando los trabajos pioneros de Fagg (1956) en el continente africano. Esta línea de investigación fue extendida por autores como Goddwin (1957) y King (1961), quienes documentaron las denominadas «rocas gong» en Nigeria. Décadas más tarde, la investigación sobre estos instrumentos se amplió geográficamente hacia Nubia, en la región fronteriza entre Egipto y Sudán, gracias a los hallazgos descritos por Kleinitz (2010). Asimismo, en el ámbito europeo, sobresalen las aportaciones de Lund (2009) sobre la tradición litofónica en Escandinavia.

En Canarias, la atención académica hacia este patrimonio comenzó en los años 80 del pasado siglo. En este periodo inicial, investigadores como Antonio Tejera, Lothar Siemens y Rosario Álvarez destacaron la conexión entre el uso de estas rocas y las prácticas culturales o lúdicas de las poblaciones relacionadas con los antiguos canarios, estableciendo analogías con las funciones funerarias sugeridas para las «rocas gong» africanas (Álvarez-Martínez & Siemens-Hernández, 1985-1987; Fernández-Miranda

et al., 1985-1987). Una perspectiva más reciente, aportada por el arqueólogo Iván González (Gobierno de Canarias, 2022), plantea la hipótesis de que estos instrumentos pudieron cumplir una función comunicativa; su ubicación estratégica y sus propiedades acústicas permitirían la propagación del sonido a largas distancias.

Respecto a la catalogación de los instrumentos, a Manuel González Ortega (1992), se debe la redacción del primer inventario de la isla de Fuerteventura. En cuanto a la isla de Gran Canaria, Ángel Rodríguez Fleitas (1999), realizó la primera contribución científica al describir el litófono de la Montaña de La Campana (Lomo Magullo, Telde). En la isla de Tenerife, Francisco García Miranda (2011) consolidó el estudio de estos instrumentos en la isla con su obra monográfica sobre los litófonos tinerfeños, en la que se describen también las diferentes tipologías de estos instrumentos pétreos.

Para el análisis acústico la primera aportación se debe a Hans-Joachim Ulbrich (2003), quien analizó el enclave de Peña Luis Cabrera en Guatiza, Lanzarote. Su metodología de trabajo ha servido de base para estudios posteriores. Rodríguez-Rubio (2023) aplicó este mismo enfoque en el litófono de la Montaña de La Campana, y, en el análisis del conjunto litofónico hallado en Santa Lucía de Tirajana, sureste de Gran Canaria (Rodríguez-Rubio & Mayor-González, 2024).

Cabe señalar que, aunque el Gobierno de Canarias ha realizado diversas publicaciones divulgativas sobre esta materia supervisadas por Iván González, la gran mayoría están restringidas a la provincia de Santa Cruz de Tenerife, por lo que existe un amplio campo para la investigación en la provincia de Las Palmas.

Zona de estudio

Las islas Canarias constituyen un sistema insular integrado por ocho islas principales y diversos islotes, localizados en el Atlántico Norte, entre los paralelos 27° y 30° N, frente a la costa noroeste africana. Desde una perspectiva geológica, el archipiélago se dispone sobre corteza oceánica del Jurásico (aproximadamente 165 Ma, según Steiner *et al*., 1998), enmarcada en la placa tectónica africana. La actividad magmática regional ha generado estructuras volcánicas y montes submarinos durante al menos 142 millones de años (Van den Bogaard, 2013).

La génesis de estas islas continúa siendo un tema de debate científico, ya que se barajan hipótesis que van desde la existencia de un punto caliente (*hotspot*) localizado bajo el archipiélago hasta la influencia de un penacho mantélico de escala continental que abarcaría desde Europa central hasta el Atlántico (Ancochea *et al*., 2004; Schmincke & Sumita, 2010; Troll & Carracedo, 2016; Anguita *et al*., 2025). Esta génesis del archipiélago hace posible que exista una variedad geológica a lo largo de todo el archipiélago.

En el caso de Fuerteventura, la isla presenta las erupciones submarinas más remotas (cerca de 35 Ma, Eoceno). No obstante, en la base de la secuencia se han hallado fragmentos de litosfera oceánica (lavas y depósitos abisales) que datan del Cretácico superior y Jurásico, alcanzando los 110 Ma (Robertson & Bernouilli, 1982). Sin embargo, la historia de la construcción de la isla de Fuerteventura se remonta al menos al Oligoceno (hace unos 35 Ma). Si bien los vestigios superficiales, caracterizados por coladas submarinas almohadilladas (*pillows*), brechas volcánicas y hialoclastitas, sitúan los inicios de su emersión en este periodo, el edificio submarino basal es considerablemente más antiguo, aunque se mantiene oculto a la observación directa. Este complejo basal está compuesto por una amalgama de materiales sedimentarios marinos y rocas plutónicas, tales como sienitas, gabros, peridotitas y carbonatitas (Hausen, 1958, 1967; Stillman *et al*., 1975; Ancochea *et al*., 2004), los cuales experimentaron procesos posteriores de alteración y metamorfismo. La morfología actual de la zona oeste de la isla guarda la impronta de un intenso episodio vulcano-tectónico temprano, evidenciado por un denso enjambre de diques subverticales de composición variada (desde basaltos hasta fonolitas). Durante el Mioceno, la isla experimentó un ciclo de edificación subaérea (Coello *et al*., 1992; Ancochea *et al*., 1996) mediante la construcción de tres grandes estratovolcanes en escudo: los macizos Norte, Central y Sur-Jandía, con dataciones entre 22,5 y 12,8 Ma (Fig. 3).

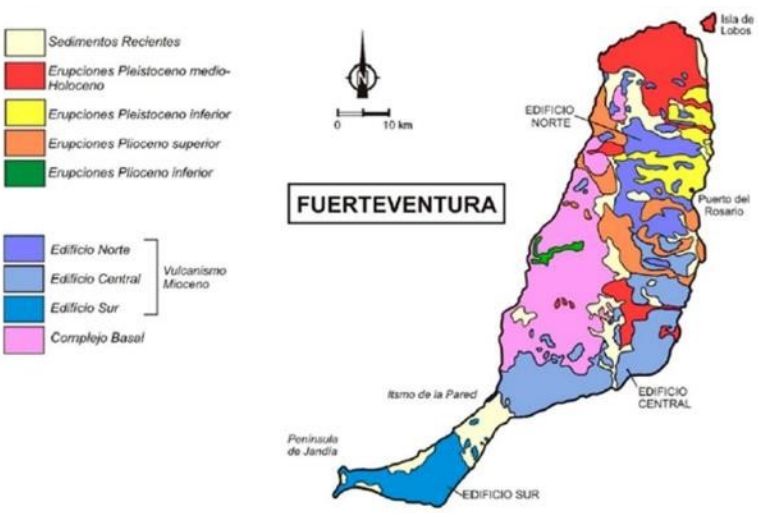


Fig. 3. Mapa Geológico de la isla de Fuerteventura (Fuente: Ancochea *et al*. 2004).

Tras este apogeo, la actividad volcánica cesó durante varios millones de años, cediendo el protagonismo a procesos erosivos que suavizaron el

relieve, transformando el paisaje en una característica penillanura. El ciclo geológico culmina en el Plioceno y el Cuaternario (5,1 a 0,13 Ma) con una fase de reactivación volcánica (Ancochea *et al*., 2004; Pérez-Torrado *et al*., 2023). Este periodo se define por episodios eruptivos aislados que dieron lugar a conos estrombolianos, coladas basálticas y depósitos de piroclastos. De manera paralela a estas últimas etapas magmáticas, las oscilaciones climáticas globales, marcadas por la alternancia entre periodos glaciares e interglaciares, dictaron los ritmos de erosión y sedimentación. Esta dinámica ambiental favoreció la creación de un registro sedimentario diverso, constituido fundamentalmente por aeolianitas, paleosuelos y paleoplayas.

En lo que respecta a la isla de Lanzarote, geológicamente cuenta con tres etapas volcánicas fundamentales, según coinciden diversas investigaciones (Coello *et al*., 1992; Ancochea *et al*., 2004; Galindo *et al*., 2019; Pérez-Torrado *et al*., 2023). El primer episodio, que se remonta al Mioceno medio, dio lugar a los relieves de los Ajaches, situados en el extremo meridional, donde afloran pilas de coladas lávicas atravesadas por enjambres de diques de composición mayoritariamente ultramáfica y máfica, con una presencia más escasa de materiales félsicos; estos depósitos presentan dataciones comprendidas entre los 15,5 y los 12,3 millones de años (Fig. 4).



Fig. 4. Mapa Geológico de la isla de Lanzarote (Fuente: Ancochea *et al*. 2004).

Posteriormente, durante el Mioceno superior y el Plioceno, se formó el complejo de Famara en el norte de la isla, constituido por un apilamiento de

rocas volcánicas también de carácter ultramáfico y máfico, con un rango temporal de 10,2 a 3,66 millones de años. Ambos edificios miocenos muestran en la actualidad una huella erosiva muy profunda debido a su prolongada exposición a los agentes externos. Con el transcurso del tiempo, el foco de la actividad magmática se desplazó hacia la región central, iniciando una segunda fase durante el Pleistoceno inferior. En este periodo, se produjeron nuevas emisiones volcánicas con una orientación predominante noreste-suroeste, cuya función principal fue conectar los dos grandes bloques volcánicos que hasta entonces permanecían aislados en los extremos de la isla. Finalmente, el proceso de construcción insular culminó en épocas geológicamente recientes, comprendidas entre el Pleistoceno superior y el Holoceno, mediante la ocurrencia de erupciones de menor tamaño. Estos eventos finales, aunque no supusieron un incremento sustancial en el volumen estructural global de Lanzarote, han sido determinantes para perfilar el paisaje actual, dejando tras de sí materiales notablemente bien conservados que definen el paisaje contemporáneo.

En el caso de la isla de Gran Canaria, su historia geológica abarca un amplio espectro temporal que se inicia en el Mioceno medio, hace aproximadamente 14,5 millones de años, y persiste hasta nuestros días, configurándose a través de una alternancia entre episodios de intensa actividad magmática y procesos erosivos (Ancochea *et al*., 2004; Troll & Carracedo, 2016; Mangas, 2020). El origen de la isla se vincula a un ciclo inicial de vulcanismo efusivo que erigió un gran escudo volcánico, compuesto por potentes acumulaciones de lavas ultramáficas y máficas, tales como basanitas, tefritas y basaltos. Se estima que durante este periodo se emitieron cerca de 1000 km³ de material, cuyas estructuras son visibles actualmente en el sector occidental insular (McDougall & Schmincke, 1976; Schmincke & Sumita, 2010). Tras este ciclo primario, sobrevino una etapa denominada de declive alcalino, caracterizada por el colapso del escudo volcánico y la formación de la caldera de Tejeda. Este evento dio lugar a la emisión de volúmenes equivalentes a los anteriores, esta vez dominados por lavas e ignimbritas de naturaleza traquítica-riolítica y traquítica-fonolítica, rocas que hoy se encuentran extendidas por el centro y los márgenes de la isla (Fúster *et al*., 1968; Freundt & Schmincke, 1995; Schmincke & Sumita, 2010). Posteriormente, entre hace 7,3 y 5,3 millones de años, Gran Canaria atravesó una fase marcada por la incisión de cauces y la erosión mio-pliocena, periodo en el que se depositaron potentes niveles de sedimentos aluviales y marinos. Un ejemplo significativo de este proceso es la Formación Detrítica de Las Palmas, que alcanza cientos de metros de espesor en las desembocaduras de los barrancos de Arguineguín y Guiniguada (Ancochea *et al*., 2004). La dinámica insular cambió de nuevo hace 5,3 millones de años con el inicio de una reactivación volcánica plio-cuaternaria. En este lapso destacó el crecimiento del estratovolcán Roque Nublo, seguido

por una serie de erupciones englobadas en el Grupo Post-Roque Nublo, las cuales aportaron un volumen aproximado de 210 km³ de material, distribuido principalmente a través de la zona centro-norte (Pérez-Torrado *et al*., 1995; Guillou *et al*., 2004). Todo este devenir geológico ha estado permanentemente supeditado a la constante interacción entre la construcción volcánica y la modelación erosivo-sedimentaria, factores que, de manera conjunta y sincrónica, han esculpido la morfología que observamos hoy en la isla (Fig. 5).

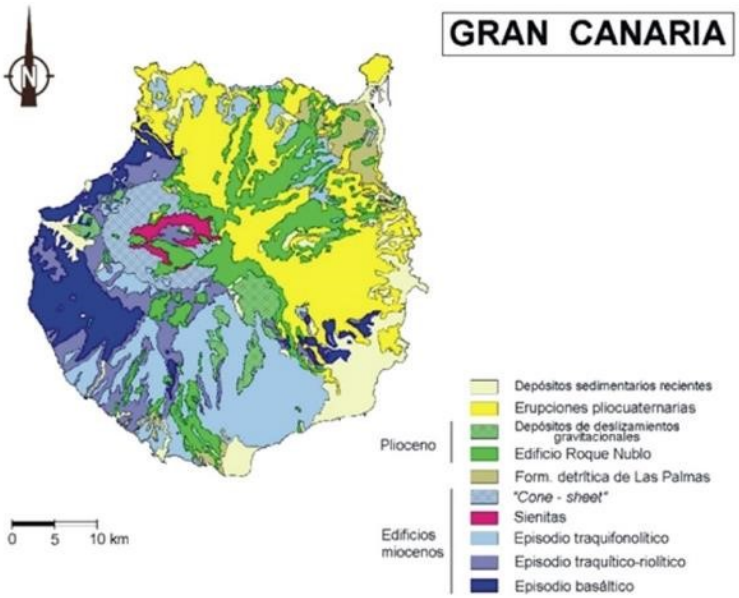


Fig. 5. Mapa Geológico de la isla de Gran Canaria (Fuente: Ancochea *et al*. 2004).

Tipos de litófonos

La categorización de los instrumentos líticos presentes en Canarias fue establecida originalmente por García Miranda (2011). Su propuesta organiza el registro arqueológico basándose en criterios de morfología, constitución geológica y emplazamiento, definiendo las siguientes tipologías:

- **Categoría A:** Se refiere a estructuras basálticas de gran envergadura (frecuentemente superan el metro de longitud). Su rasgo principal es la emisión de una nota acústica clara y prolongada, con una resonancia que recuerda a una campana. Casos representativos de esta tipología se observan en el litófono de Lomo Magullo (Gran Canaria) y en el de Malpaso (Tenerife).

- **Categoría B:** Guardan una apariencia física similar a los del grupo anterior, si bien su respuesta sonora es ostensiblemente distinta: producen tonos mates, secos y carentes de una altura tonal definida. Pueden presentarse como monolitos exentos o integrados en formaciones rocosas más amplias. El yacimiento de Soo, en Lanzarote, es un enclave idóneo para el estudio comparativo entre esta variante y la de tipo A.
- **Categoría C:** Compuesta por fragmentos de menor tamaño, generalmente lajas de fonolita, aunque ocasionalmente fabricadas en sienita o basalto. Se distinguen por su sonoridad aguda y metálica. Su reducida escala y carácter portátil han comprometido su preservación a largo plazo; no obstante, aún se conservan ejemplares significativos en la Cueva de La Campana (Gran Canaria) y en el Risco de Las Campanas (Fuerteventura).
- **Categoría D (Raspaderas):** Esta tipología incluye rocas que presentan surcos o incisiones sobre su superficie. A diferencia de los modelos de percusión, generan un sonido sostenido mediante la fricción, rememorando la sonoridad de los cuencos tibetanos. Se han registrado especímenes en localizaciones como el Risco de Las Campanas y el Tagoro del Rey (Tenerife).
- **Categoría E (Instrumentos portátiles):** Se define por ejemplares de dimensiones reducidas cuya principal ventaja es la movilidad. Son objetos que no están anclados a un lugar específico por toponimia y que permiten ser manipulados fácilmente por una o varias personas.
- **Categoría F (De oscilación):** Identificados en 2022 por la Dirección General de Patrimonio Cultural, estos objetos producen sonido mediante el balanceo o movimiento pendular de la masa rocosa. Hasta la fecha, este tipo de artefacto cuenta con un único caso de estudio localizado en la isla de El Hierro.
- **Categorías G y H (Naturales):** Se caracterizan por ser instrumentos pétreos en los que su resonancia es activa por fuentes naturales. En el caso de la categoría G por el mar y el H por el viento, denominándose bucios.

Litófonos de Gran Canaria

En Gran Canaria se han identificado siete enclaves litofónicos principales. Desde una perspectiva geológica, la muestra se divide entre rocas volcánicas máficas (basaltos efusivos) y materiales intermedios (fonolitas, tanto en coladas como en domos subvolcánicos). Estos elementos, que destacan en el paisaje a menudo por su exposición erosiva en barrancos o divisorias, poseen contextos arqueológicos heterogéneos.

Montaña de La Campana

Descrito originalmente por Rodríguez Fleitas (1999), este litófono de categoría A, localizado en el municipio de Telde, presenta doce marcas de percusión. Geológicamente, el enclave se sitúa en un afloramiento de basalto olivínico-piroxénico, asociado al ciclo Post-Roque Nublo (Pleistoceno inferior y medio, 1,8-0,13 Ma) según la cartografía del IGME (Balcells & Barrera, 1990). Este resto erosivo, situado a 420 metros sobre el nivel del mar, consiste en una colada masiva de textura afanítica y microporfídica. Su capacidad sonora deriva de una fracturación compleja que ha dejado bloques métricos suspendidos, creando cavidades basales y laterales que actúan como cajas de resonancia natural (Fig. 6).



Fig. 6. Vista general del litófono de la Montaña de La Campana en el Lomo Magullo, Telde.

Los Morretillos

Este conjunto representa uno de los enclaves de mayor magnitud en el archipiélago (Rodríguez-Rubio & Mayor-González, 2024). Situado en el sureste insular (Santa Lucía de Tirajana), se compone de tres sectores que albergan una amplia variedad tipológica de litófonos (Fig. 7). Destaca un complejo central con una pieza de doce puntos de percusión, con posibilidad de interpretación colectiva. El emplazamiento se asocia igualmente al vulcanismo del Pleistoceno inferior y medio (Balcells, Barrera & Gómez, 1990). Se trata de basaltos que rellenan un antiguo paleobarranco, caracterizados por una textura porfídica con fenocristales de clinopiroxeno y olivino (frecuentemente alterado a iddingsita). Estructuralmente, la colada

destaca por una disyunción columnar radial o en abanico resultante del enfriamiento rápido. Esta fracturación vertical ha fragmentado la roca en bloques de distintos volúmenes (desde 0,5 a 2 m^3), muchos de los cuales han quedado posicionados de manera idónea para la resonancia, formando un canchal en las laderas y cerros testigos que conforman el yacimiento.



Fig. 7. Vista del segundo y tercer sector (al fondo), este último con la disposición de disyunción columnar en abanico.

Cueva de La Campana

Este litófono se localiza en una colada fonolítica perteneciente a la etapa de declive alcalino de Gran Canaria, vinculada a la Formación Fonolítica del Mioceno (aprox. 12 Ma) originada en la caldera de Tejeda. Según la cartografía del IGME (hoja 1:25000 de Arucas), se clasifica como lavas fonolítico-nefelínicas (Balcells, Barrera & Ruiz-García, 1990). La roca presenta una textura afanítica y, microscópicamente, traquítica (cristales <1 mm con orientación fluidal), compuesta principalmente por sanidina y nefelina, acompañadas de clinopiroxeno (egirina), anfíbol, biotita y apatito, con ausencia habitual de óxidos de hierro y titanio. Aunque no existen análisis geoquímicos específicos de este enclave en Gáldar, los datos de la zona de Arucas (clasificación de Le Maitre, 1984) definen estas rocas como intermedias, con un 61% de sílice, alto contenido en aluminio y niveles muy bajos de hierro (3%), titanio (1%) y magnesio (0,5%). Geológicamente, el litófono se integra en una colada compacta de unos 10 metros de espesor en Buenavista, Gáldar. Mientras que la base es escoriácea, la parte superior es

una roca masiva gris-verdosa. El enfriamiento del magma (desde 1000ºC hasta temperatura ambiente) generó una fracturación por contracción, creando bloques ciclópeos. Los fragmentos de dimensiones inferiores a 0,5 m^3 han sido empleados como instrumentos sonoros (tipología C) (Fig. 8). Esta accesibilidad ha facilitado su vulnerabilidad; de hecho, parte del material fue extraído hace años para construir un muro cercano.



Fig. 8. Vista de una de las rocas del litófono de La Cueva de La Campana en Buenavista, Gáldar.

El Montañón

A diferencia del caso anterior, el litófono de El Montañón (Fig. 9), se encuentra en la montaña homónima en el municipio de Gáldar y se identifica dentro de un domo fonolítico, el cual es una estructura magmática consolidada en profundidad. Geomorfológicamente, destaca en el paisaje con una forma elipsoidal y una gran resistencia a la erosión, presentando bloques redondeados que recuerdan a los berrocales graníticos, resultado de la meteorización prolongada sobre fracturas ortogonales previas.

La roca muestra una notable cristalización, observable a simple vista en los feldespatos y feldespatoides de los cortes frescos, mientras que las superficies externas presentan tonalidades marrones con presencia de líquenes y musgos. Aunque falta un análisis microscópico para confirmar si su textura es totalmente holocristalina (plutónica/subvolcánica), su composición fonolítica sugiere propiedades mineralógicas y geoquímicas análogas a las descritas por Balcells, Barrera & Ruiz-García (1990) para la

Cueva de La Campana. Este litófono, de aproximadamente 1,5 metros de largo por 0,5 metros de ancho, cuenta con tres puntos de percusión, clasificándose como tipología A.



Fig. 9. Litófono fonolítico del Montañón en el término municipal de Gáldar.

Degollada de La Piedra Campana

Situado en el municipio de Mogán, sobre una meseta próxima a la Playa de Veneguera, se localiza un yacimiento que alberga diversos restos arqueológicos, destacando la presencia de pequeñas estructuras de piedra dispersas por la zona. En este enclave se encuentra un litófono de balanceo (Fig. 10), cuya configuración inestable permite su oscilación; este ejemplar guarda similitudes con los instrumentos de balanceo hallados en la isla de El Hierro, aunque presenta unas dimensiones más reducidas. Debido a estas características, se clasifica como tipología F. Asimismo, en el entorno se han identificado otras piezas litofónicas de menores dimensiones pertenecientes a la tipología E, todas ellas elaboradas en roca fonolítica con composición similar a los anteriores.

Los Andenes

Litófono situado cerca del Juncal de Tejeda, cuenta con una composición geológica asociada al vulcanismo del Pleistoceno inferior y medio (Balcells, Barrera & Gómez, 1990). Se compone de diversas rocas de tamaño similar a un metro, la zona destaca por contar con diversos yacimientos arqueológicos de distinta índole. La tipología de este instrumento es la A, con



Fig. 10. Litófono de balanceo, municipio de Mogán.

una descripción similar al instrumento de Montaña de La Campana en el Lomo Magullo, sin embargo, el de Los Andenes cuenta con un mayor número de rocas independientes (Fig. 11).



Fig. 11. Litófono de Los Andenes dentro del marco del Paisaje Cultural de Risco Caído, Patrimonio Mundial.

Litófonos de Fuerteventura

A comienzos de los años noventa, González Ortega (1992) elaboró el primer catálogo de litófonos para la isla de Fuerteventura, sentando una base de valor indiscutible sobre la que se fundamenta la presente investigación. Este trabajo ha tomado como punto de partida dicha recopilación, permitiendo ampliar el inventario mediante la incorporación de nuevos ejemplares hallados recientemente, además de caracterizarlo geológicamente. Cabe señalar que, además de catalogar nuevas estaciones, este estudio ha permitido identificar puntos adicionales en emplazamientos ya conocidos. Por ejemplo, en el Morro del Castillete (Cueva de La Campana), el catálogo previo solo mencionaba una pieza de reducidas dimensiones, mientras que nuestra investigación ha localizado una unidad de gran tamaño. Situaciones comparables se han presentado en la Laja del Tambor y en el Risco de Las Campanas.

Majada del Jinojo

Este yacimiento destaca por albergar el litófono de mayores dimensiones documentado en la isla hasta el momento (Fig. 12). Su ubicación se sitúa en una de las laderas del Barranco de Las Peñitas, en Vega de Río Palmas, integrado en el afloramiento sienítico de la zona. Geológicamente, este cuerpo ígneo ha sido datado en unos 20,1 Ma (Mioceno), vinculándose temporalmente con la fase de construcción del edificio volcánico poligénico del centro insular, concretamente con el complejo central intermedio definido por Ancochea *et al*. (2004).



Fig. 12. Litófono de la Majada del Jinojo, litófono sienítico (imagen obtenida durante la toma de muestras acústicas).

Desde el punto de vista petrológico, esta sienita se interpreta como una antigua cámara magmática de composición intermedia, caracterizada por concentraciones de sílice de entre el 52% y el 62% y un contenido moderado en álcalis (inferior al 13%). Dicho magma félsico, ya evolucionado, fue el responsable de alimentar las coladas traquíticas superficiales del entorno. La estructura se consolidó en profundidad, desarrollando un sistema complejo de fracturas por enfriamiento con diversas orientaciones e inclinaciones. La erosión prolongada durante millones de años terminó por descubrir este cuerpo magmático.

El instrumento lo conforman varios bloques rocosos de gran escala que emiten una resonancia característica, similar a una campana, lo que lo clasifica dentro de la tipología A. Su formación es el resultado directo de la fracturación de una de las grandes masas rocosas del barranco; tras el desprendimiento, el material se depositó de manera natural sobre otros bloques preexistentes, creando la configuración inestable necesaria para su sonoridad al ser percutido.

La Campana

Este instrumento es uno de los más singulares dentro del catálogo de instrumentos litofónicos de Fuerteventura, ya que se trata de una pieza de dimensiones reducidas (Fig. 13) cuyo emplazamiento actual resulta de interés al estar compuesto por traquita, una roca de carácter intermedio, que contrasta drásticamente con el entorno volcánico de naturaleza máfica (basáltica) que caracteriza al Malpaís Chico de Tuineje, lo que confirma que fue trasladado intencionadamente desde su zona de extracción.



Fig. 13. Litófono de La Campana con su percutor en la parte superior, cuenta con un tamaño de 1 metro de diámetro aproximadamente.

La roca madre, identificada mediante la cartografía de *IDECanarias-GRAFCAN* (unidades nº 48 y 49), se localiza a unos 200 metros de distancia y corresponde a una intrusión sálica. Petrográficamente, se define como una traquita de textura afanítica o levemente porfídica, en la que destaca la presencia de fenocristales de feldespato dispersos en la matriz. En cuanto a su apariencia, estas intrusiones muestran tonos beige o crema en superficie debido a procesos de meteorización, mientras que los cortes frescos presentan tonalidades verdosas; su espesor varía típicamente entre uno y dos metros. Cronológicamente, este material se sitúa en el Mioceno, siendo contemporáneo a la edificación volcánica poligénica del centro de la isla (aprox. 22,5 a 14,5 Ma). Por otro lado, dado que este bloque rocoso permitía ser movilizado con relativa facilidad por dos individuos, su clasificación tipológica corresponde a la categoría E.

Cueva de La Campana

De acuerdo con el estudio elaborado por González-Ortega (1992), existe un ejemplar litofónico ubicado en la cumbre del Morrete del Castillete, Tuineje, consistente en una pequeña cavidad de apenas 1,30 metros de altura y 1,10 metros de anchura. No obstante, este estudio ha permitido documentar una segunda pieza de gran relevancia en las laderas del mismo monte (Fig. 14).



Fig. 14. Cueva de La Campana. **A**: Detalle de los puntos de percusión con desgaste. **B**: Resonadores naturales en la parte superior de la cueva. **C**: Vista general del litófono.

Este segundo hallazgo destaca por sus dimensiones, superando los 2 metros de ancho, y se define como una cueva de formación intermedia provista de múltiples puntos hábiles para la percusión. El Morrete del Castillete se caracteriza por una orografía abrupta que se alza notablemente sobre los edificios volcánicos circundantes, cuya formación data de aproximadamente 14,5 millones de años. La roca presenta una alteración superficial que le confiere tonos claros, aunque al observar cortes recientes se aprecia una coloración verde oscuro. Este litófono se clasifica como tipo B, dado que su registro sonoro se define principalmente por tonalidades graves, secas y roncas. Un aspecto distintivo de este enclave es su integración estructural que, a diferencia de la Cueva de La Campana en Gran Canaria, donde los litófonos son bloques exógenos o independientes, aquí las unidades resonantes forman parte intrínseca de la propia geología de la cueva.

Risco de La Campana

En el municipio de Antigua se documenta el topónimo «Risco de Las Campanas», lugar que albergó históricamente un importante litófono, el cual fue destruido tras la apertura de una cantera hace varias décadas. Según el trabajo de campo y las entrevistas realizadas por González-Ortega (1992), las características acústicas y morfológicas de aquel ejemplar guardaban una notable semejanza con las observadas en la Majada del Jinojo. A pesar de la pérdida de este instrumento, en el área se realizó el hallazgo de una raspadera (Fig. 15), constituyendo el único ejemplar de esta clase identificado en Fuerteventura hasta la fecha.



Fig. 15. Litófonos del Risco de La Campana. **A**: Raspadera. **B**: Vista general del litófono que se encuentra en la falda del risco.

Se trata de una pieza de dimensiones reducidas, elaborada en material basáltico, que por sus particularidades funcionales se clasifica como tipología D. El hallazgo se ubica en la cima de un antiguo cono volcánico y en las faldas se encuentra otro litófono formado por rocas de tamaño inferior al metro con las tipologías C y E. La litología del entorno está constituida por coladas máficas que afloran en los restos de ladera, cuya datación, según los datos cartográficos de *IDECanarias-GRAFCAN*, se sitúa en un rango cronológico de entre 5 y 5,8 millones de años. Petrográficamente, se distinguen por una matriz de textura afanítica en la que resaltan fenocristales de olivino que conservan un buen estado de preservación.



Fig. 16. Vista general de La Laja del Tambor. **A**: Litófono con la peculiaridad de interpretarse sin percutores de piedra. **B**: Litófono descrito por González Ortega en 1992.

Laja del Tambor

En el contexto geológico y geográfico de la Majada del Jinojo se encuentra este instrumento (Fig. 16). Si bien González Ortega documentó en su momento la presencia de un instrumento sonoro próximo a la Ermita de la Virgen de las Peñitas, nuestro trabajo de campo ha permitido identificar dos ejemplares distintos en este mismo paraje. Ambas piezas se clasifican bajo la tipología B debido a la emisión de tonos graves y roncos. Sin embargo, uno

de estos instrumentos presenta una característica técnica excepcional y singular, puesto que su ejecución se realiza exclusivamente mediante la percusión manual, utilizando las palmas directamente sobre la superficie lítica.

Barranco de Las Campanas

El último emplazamiento identificado en esta isla se ubica en el extremo sur, específicamente dentro de la península de Jandía. El topónimo «Barranco de Las Campanas» sugería la posible existencia de instrumentos litofónicos en la zona; ante ello, se efectuó un reconocimiento exhaustivo del cauce. Durante la inspección, aunque no se hallaron litófonos en el entorno natural, sí se descubrieron vestigios de estructuras arquitectónicas antiguas en el sector bajo del barranco. Entre estas ruinas se identificó un pequeño instrumento de 40 cm de longitud de tipología E, el cual presenta señales de uso evidentes y perfectamente distinguibles (Fig. 17). Geológicamente este barranco es parte de la intrusión sálica del Cuchillo de Palo identificada mediante la cartografía de *IDECanarias-GRAFCAN* (con el nº 81) con una edad aproximada entre los 15 y 14 Ma, son traquitas de color grisáceo y amarillento, con textura afanítica.



Fig. 17. Litófono portátil del Barranco de Las Campanas, con 4 marcas de golpeo.

Litófonos de Lanzarote

Esta isla fue el escenario del primer descubrimiento de un instrumento litofónico en el archipiélago, hito ocurrido durante la década de los ochenta gracias a los trabajos dirigidos por Antonio Tejera Gaspar (Fernández-

Miranda *et al.,* 1985-1987) seguidos por los de Álvarez-Martínez & Siemens-Hernández (1985-1987). En un primer momento, se registraron las marcas de golpeo como posibles grabados, y posteriores investigaciones confirmaron la existencia de litófonos en el resto de las islas Canarias.

Peña Luis Cabrera

Este enclave constituye, hasta la actualidad, el instrumento litofónico con mayor trayectoria de estudio y reconocimiento dentro del archipiélago canario (Fig. 18). Situado en las proximidades de Guatiza, se integra en los restos de una antigua colada basáltica caracterizada por la presencia de tres pequeñas cárcavas resultantes del fracturamiento del material lávico. Los bloques formados por estas fisuras producen, al ser percutidos, una resonancia metálica. Debido a las dimensiones de las cavidades, el espacio permite una cómoda interacción de uno o dos ejecutantes simultáneos, pudiendo llegar a albergar, en un escenario de uso colectivo, a una docena de personas de forma funcional. Asimismo, la cara superior del flujo lávico conserva evidencias de haber sido sometida a labores de percusión.



Fig. 18. Detalle de una de las cárcavas del litófono de Peña Luis Cabrera; solo esta cárcava cuenta con más de media docena de marcas de golpeo.

Por sus características acústicas y físicas, se clasifica en los tipos A y B. Desde una perspectiva geológica, los datos de *IDECanarias-GRAFCAN* identifican esta unidad como material nº 41, consistente en coladas de basaltos y basaltos olivínicos datadas entre 1,13 y 1,2 millones de años. Este flujo constituye el único vestigio en el área de la actividad volcánica asociada a la alineación Montaña Gritana – Montaña Bermeja, encontrándose

circundado por depósitos de piroclastos. Se trata de basaltos olivínicos y olivínico-piroxénicos que presentan una textura definida por fenocristales con tamaños que oscilan entre 0,2 y 2 mm. En el caso de la augita, esta suele aparecer bajo una morfología subidiomorfa, distinguiéndose por bordes oscuros enriquecidos en titanio y, en ocasiones, núcleos de carácter acmítico de tonalidad más clara.

La Guenia

Entre los hallazgos más destacados de este estudio se encuentra un litófono de grandes dimensiones (Fig. 19), clasificado como tipo B, dada la predominancia de respuestas sonoras secas tras su ejecución. Una de las características más relevantes de este ejemplar es la cantidad de grabados que presenta en su superficie. Situado en las inmediaciones del litófono de Peña Luis Cabrera, comparte la misma unidad geológica basáltica que el anterior. El instrumento se ubica en un entorno agrícola y, gracias a su configuración, permite la interpretación simultánea de un grupo numeroso, estimado entre 5 y 10 personas. Esta capacidad se explica por la existencia de cinco áreas diferenciadas de percusión, las cuales exhiben numerosas muescas y señales derivadas del uso intensivo y reiterado en periodos históricos.

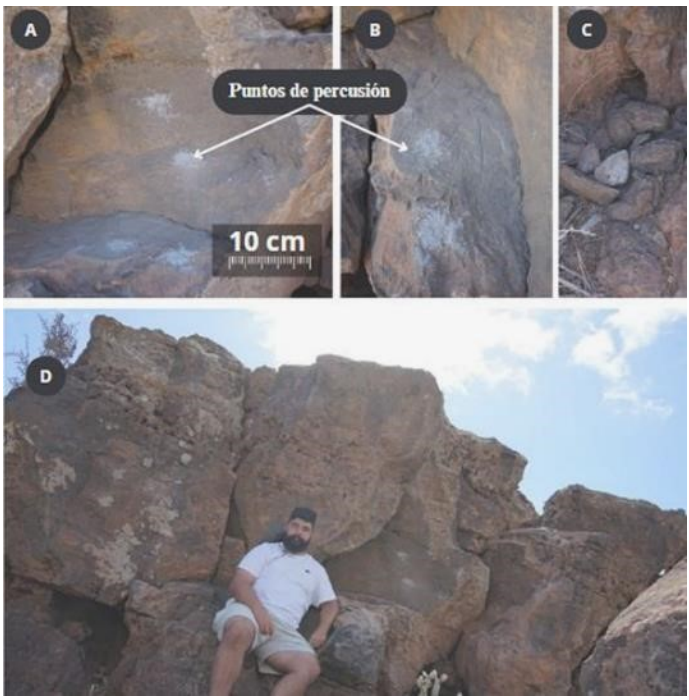


Fig. 19. Litófono de La Guenia. **A**: Detalle de los diferentes puntos de percusión. **B**: Vista general de grabados y puntos de percusión. **C**: Percutores. **D**: Vista general del litófono.

Soo

Localizado en las proximidades de la localidad de Soo, integrado en el conjunto arqueológico del Pico Colorado, este instrumento presenta una característica morfológica análoga a la Cueva de La Campana en Fuerteventura, donde los puntos de percusión se encuentran integrados directamente en la pared de una colada basáltica antigua que conforma el relieve de la montaña, extendiéndose a lo largo de aproximadamente 7 metros (Fig. 20). La disposición de los centros de percusión permite que hasta seis intérpretes puedan ejecutar simultáneamente. Aunque predominan las cualidades sonoras de la tipología B, el conjunto se clasifica fundamentalmente como tipo C. Según la cartografía de *IDECanarias-GRAFCAN,* el soporte geológico corresponde a la unidad nº 57, constituida por coladas basálticas del Pleistoceno (aprox. 0,92 Ma). La superficie de estas rocas presenta una meteorización avanzada que les confiere tonalidades marrones. Desde el punto de vista del origen volcánico, si bien estas coladas podrían estar asociadas a diversas fuentes, los centros de emisión más próximos se identifican en la Fisura de Tinajo y el Morro de San Roque. Petrográficamente, el material se define como basalto afanítico vesicular, el cual contiene en su matriz una serie de fenocristales de olivino de pequeñas dimensiones.



Fig. 20. Litófono de Soo en la Caldera de El Aljibe. **A**: Detalle de una de las piedras sonoras tipo C. **B**: Vista general de la cárcava central con piedras tipo B. **C**: Vista general de la cárcava más al norte con piedras tipo B. **D**: Vista general del litófono.

Peña Juan del Hierro

Cercana a la ubicación anterior y en el mismo contexto geológico anterior, el presente instrumento (Fig. 21) destaca por un interés histórico excepcional, ya que podría tratarse de uno de los instrumentos litofónicos más antiguos de todo el archipiélago. Esta hipótesis se sustenta en su estrecha vinculación con el yacimiento del Jable, donde se han registrado algunas de las dataciones cronológicas más tempranas de Canarias, situadas entre el 207 y el 260 d.C. (Pallarés, 2017). Desde una perspectiva tipológica, el instrumento combina predominantemente la categoría A con ciertos focos de percusión pertenecientes al tipo B. Es preciso señalar que, en investigaciones previas, este enclave había sido catalogado únicamente como un conjunto de grabados rupestres, omitiendo su función sonora. Sin embargo, nuestro trabajo de campo permitió identificar evidencias claras de percusión continuada, lo que justifica su descripción como litófono. Resulta pertinente recordar que Antonio Tejera Gaspar, en su estudio sobre el litófono de Soo, ya aludió a la existencia de una pieza cuyo paradero se desconocía en aquel entonces (Fernández-Miranda *et al.,* 1985-1987). A la luz de los nuevos datos, es altamente probable que el ejemplar objeto de este estudio sea el mismo.



Fig. 21. Litófono de Peña Juan del Hierro.

Litófonos naturales

Para finalizar este inventario, es preciso recordar la existencia de litófonos naturales. Estos instrumentos los hemos descrito en la isla de Gran Canaria, sin embargo, es más que probable que en el resto de las islas existan

estos instrumentos. Las tipologías de estos instrumentos son la G y la H, en estos casos lo que favorece la resonancia no es la geología o posicionamiento inestable sino su geomorfología. En la costa de Gáldar se encuentra una pequeña bahía con el nombre de La Campana (Fig. 22), en la que cuando existe fuerte oleaje sucede el fenómeno acústico que recuerda una campana de grandes dimensiones. Además de este caso, existen otros que cuentan con diversas oquedades en roques o riscos, que hacen que el aire se excite al pasar por ellos, haciendo de bucio o instrumento aerófono de grandes dimensiones. En Gran Canaria se han descrito dos, uno en Santa Lucía de Tirajana en el Risco de La Campana y el otro en Tejeda, en los Llanos de los Bucios.



Fig. 22. Bahía de La Campana en la costa norte del municipio de Gáldar, Gran Canaria.

Análisis acústico

Aunque se han tomado muestras de todos los litófonos mencionados exceptuando los naturales, solo se ha procedido a analizar algunos ejemplos de la isla de Gran Canaria y Lanzarote hasta el momento. De igual modo, con las muestras obtenidas se ha realizado algunas recreaciones musicales. En cuanto a las variables de análisis es de interés la duración y calidad del decaimiento sonoro (resonancia) de cada punto de percusión. Durante el análisis, se identificaron dos tipologías acústicas predominantes: sonidos de tipo «campana» y sonidos de carácter «seco». Mientras que los primeros permiten establecer intervalos y, por ende, abordar fines melódicos, los segundos se limitan a funciones estrictamente percusivas. Para establecer una

distinción técnica precisa, se ha fijado un umbral de resonancia en el que las emisiones con una duración inferior a los 0,12 segundos se han clasificado como sonidos secos. Por el contrario, todo registro que supere este intervalo se categoriza como sonido de campana. Adicionalmente, cuando la situación lo ha requerido, se ha aplicado una distinción complementaria para identificar aquellos sonidos que, a pesar de presentar una resonancia prolongada, exhiben una tesitura extremadamente grave en contraste con el resto del espectro sonoro registrado.

Los datos derivados del estudio acústico del litófono de La Campana, ubicado en Lomo Magullo (Telde, Gran Canaria), se detallan en la figura 23, donde el diagrama TFFT permite identificar la frecuencia específica de cada punto de percusión. Para una revisión exhaustiva de este análisis, se puede consultar el recurso disponible en el siguiente enlace: https://dogartes.es/project/analisis-acustico-del-litofono-de-la-campana-del-lomo-magullo-telde-este-de-gran-canaria/.

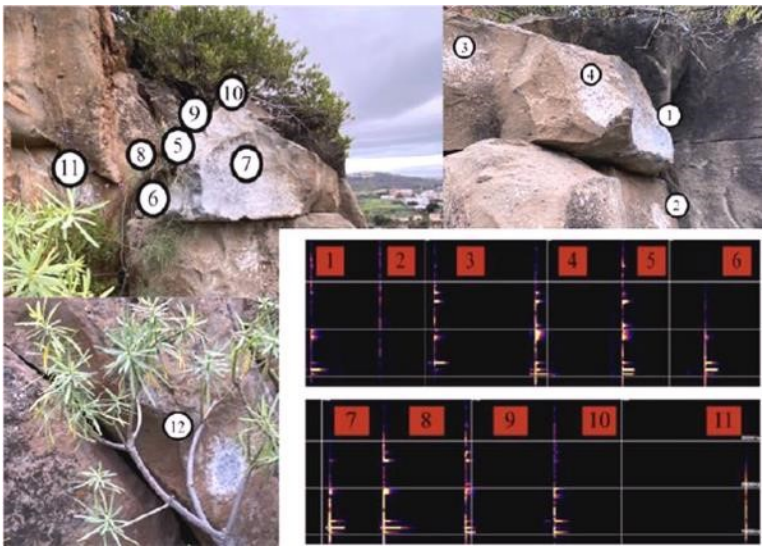


Fig. 23. Visión general de los puntos de percusión estudiados y el diagrama TFFT resultante.

Los sonidos de los doce puntos difieren considerablemente en sus resonancias, destacando algunos puntos (2 y 11) en los que son completamente secos.

Por otra parte, el litófono de Los Morretillos cuenta con doce puntos de percusión (Fig. 24), en los que los análisis acústicos revelan que el instrumento presenta una alta proporción de puntos de percusión con escasa resonancia, identificándose ocho puntos que apenas generan resonancia. Para

profundizar en el detalle de estos resultados, se sugiere consultar la investigación completa realizada por Rodríguez Rubio y Mayor González disponible en el siguiente enlace: https://www.spacustica.pt/acustica2024/pdf/papers/ID172.pdf.



Litófono Los Morretillos				
Puntos de Percusión N°.	F_R Hz	F_M Hz	F_N Hz	Duración Seg.
1	6500-7000	1732	97, 178, 1371, 2632	0,11
2	8500-9000	2541	113, 149, 230, 5114	0,17
3	8000-8500	192	153, 356, 1658, 2395	0,09
4	13000-13700	238	154, 356, 2312, 3585	0,07
5	9000-9500	2485	430,1660, 2307, 3284	0,13
6	9000-9500	335	147, 223, 1503, 2464	0,08
7	9000-9500	2384	234, 355, 502, 640	0,09
8	9000-9500	2382	157, 370, 634, 2172	0,18
9	10000-11000	141	330, 523, 3017, 3637	0,06
10	10000-11000	2262	193, 589, 831,1501	0,05
11	7000-7500	2754	253, 539, 1507, 3146	0,10
12	4500-5000	2732	48, 88, 107, 266	0,20

Fig. 24. Imagen con los puntos de percusión y la tabla con los resultados obtenidos en el análisis acústico del litófono de Los Morretillos (Fuente: Rodríguez-Rubio & Mayor-González, 2024).

En el caso de la isla de Lanzarote, el instrumento estudiado es el de Peña Luis Cabrera (Fig. 25), en el que se examinaron siete puntos de percusión obteniendo dos puntos de menor resonancia y cinco con resonancia similar

al sonido de campana. Este análisis lo realizó Ulbrich (2003), el cual sentó las bases para el resto de los análisis.



Schlagstelle Nr.	F_R Hz	F_M Hz	F_X Hz	Dauer in Sek.
1	6400-6700	1620	952	0,068
2	6400-6700	1640	780, 2161, 2756	0,17
3	6400-6700	818	632, 1270, 1620, 2756	0,193
4	6400-6700	2097	880, 1480, 2478, 2756	0,167
5	6400-6700	2003	997, 2760	0,118
6	6400-6700	1435	843	0,042
7	6400-6700	1392	1914, 2400, 3065, 3967	0,231

Erläuterungen zur Tabelle:
F_R = Resonanzfrequenz des lokalen Basalts
F_M = Frequenz mit der größten Lautstärke (Maximum)
F_X = weitere Frequenz-Maxima, aber leiser als F_M
Mehr Maxima bedeuten komplexeren Klang; mit diesem Merkmal unterscheiden sich die klangvolleren Schlagstellen (2, 3, 4, 7) deutlich von den klangarmen (1, 5, 6). Stellen, die länger vibrieren, haben auch mehr Klangfarbe.

Fig. 25. Puntos de percusión y resultados obtenidos en Peña Luis Cabrera (Fuente: Ulbrich, 2003).

Respecto a la recreación musical, gracias a los registros acústicos capturados en los diferentes puntos de percusión, se han llevado a cabo dos reconstrucciones musicales originales, compuestas por Alejandro Jesús Rodríguez Rubio. En una de estas piezas, se integraron elementos inspirados en las danzas de lluvia, incorporando lírica en lengua *amazigh*. Para la elaboración de estos trabajos se seleccionaron dos ejemplares distintos, por una parte, el litófono de fonolita de la Cueva de La Campana y por otro el litófono de basalto de Los Morretillos. La composición vinculada a la Cueva de La Campana puede consultarse en el siguiente enlace (https://youtu.be/saDUQi8Oc64). Por otro lado, la pieza dedicada a Los Morretillos presenta una mayor complejidad técnica, fruto de la riqueza tímbrica que ofrece dicho enclave (https://youtu.be/XOKDHNv73ec).

Patrimonio asociado

Debido a la escasez de estudios realizados, no existe bibliografía extensa sobre el patrimonio asociado a estos instrumentos. No obstante, durante esta investigación se ha procedido a realizar una recopilación de manifestaciones rupestres, fiestas y tradiciones relacionadas con los litófonos. En la década de los noventa, González Ortega (1992) realizó la primera recopilación de un cuento de Fuerteventura en el que se nombraba un litófono, el cuento es el siguiente:

> *Se decía en el pueblo que un vecino fue a regar de madrugada unas tierras que tenía junto a la «Majada»; al llegar al lugar se encontró a una mujer desnuda sentada debajo de una higuera que allí*

había. El campesino le preguntó que de dónde venía, respondiéndole ella que regresaba de un baile celebrado en Ternemoy y que las compañeras con las que había ido la habían abandonado allí en ese estado. La mujer le rogó que golpeara la piedra que más arriba hemos descrito. Él así lo hizo, aunque cuando volvió hasta donde ella estaba, ésta había desaparecido.

La mayor parte de los litófonos no cuentan con tradición oral de ningún tipo. Así que es de destacar este enclave la Majada del Jinojo presenta una clara diferencia al contar con un cuento propio. Por otro lado, la Montaña de La Campana en el Lomo Magullo cuenta con repique tradicional en las fiestas locales (Fig. 26). Además de esta particularidad, este litófono cuenta con la tradición local en la que cuando fallece un vecino y después del funeral, justo antes de depositar el ataúd en el coche fúnebre, se realiza un pequeño repique con el litófono.



Fig. 26. Cartel del replique de la campana, fiesta de la Virgen de las Nieves 2023 (Fuente: Asociación Cultural Alcorac 1968).

Dentro del patrimonio arqueológico asociado a estos instrumentos, destacan algunos litófonos de Gran Canaria y Lanzarote, siendo el de Los Morretillos catalogado como el enclave con mayor densidad y variedad de representaciones rupestres (Fig. 27). En este sitio se ha documentado un conjunto diverso que incluye dameros, grabados geométricos y cruciformes, así como inscripciones líbico-bereberes.

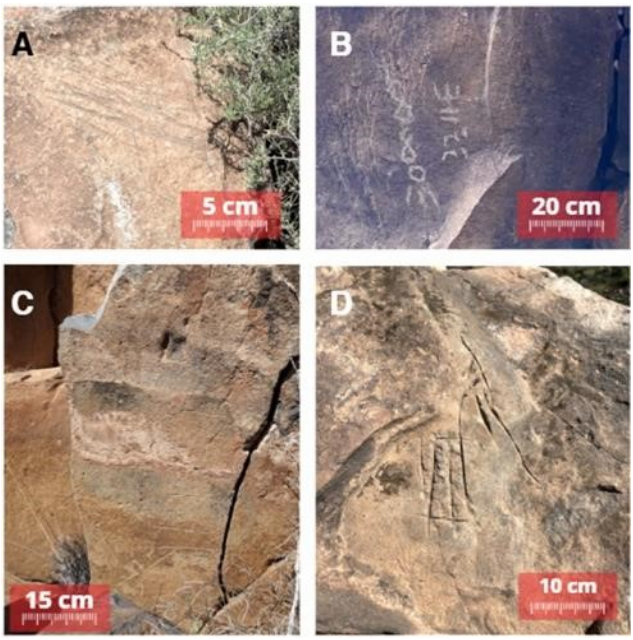


Fig. 27. Visión general de los diferentes grabados en el litófono de Los Morretillos. **A**: Grabado de incisión geométrico. **B**: Alfabético Líbico-Bereber. **C**: Inscripciones alfabéticas. **D**: Grabado de Incisión profunda geométrico.

Conclusiones

Para finalizar, es importante documentar que la presente investigación ha permitido inventariar doce nuevos litófonos en la provincia de Las Palmas, lo que evidencia que el potencial de descubrimiento en esta provincia permanece vigente. Más allá del inventario, este estudio ha buscado poner en valor la riqueza cultural y natural de estos enclaves, subrayando la importancia de su conservación. No obstante, los resultados alcanzados sugieren que es fundamental prolongar esta línea de trabajo durante los próximos años para explorar con mayor profundidad las diversas aristas que plantea este fenómeno.

En cuanto al componente técnico, el análisis de las frecuencias acústicas realizado en Gran Canaria y Lanzarote abre la puerta a una comparativa interinsular, permitiendo buscar patrones sonoros y analogías petrológicas en el resto del archipiélago. Sin embargo, a medida que avanzaba la investigación, surgieron más interrogantes que certezas, especialmente en torno a la funcionalidad original de estos instrumentos. Aunque la bibliografía existente propone diversos usos potenciales, la distancia temporal impide una validación empírica definitiva. Asimismo, si bien

ciertos grupos del norte de África preservan tradiciones ancestrales que podrían guardar relación con estas prácticas, es arriesgado extrapolar tales costumbres de manera directa a los litófonos canarios. A pesar de estas limitaciones, el estudio permite concluir que la práctica de la percusión lítica es un rasgo cultural transversal y distintivo de todo el archipiélago; la presencia recurrente de estos instrumentos y sus manifestaciones asociadas en cada una de las islas habitadas confirma su relevancia como elemento cohesionador del patrimonio prehistórico canario.

El presente capítulo recopila las principales ideas que presentamos en el Instituto de Estudios Hispánicos de Canarias durante la Semana Científica Telesforo Bravo que tenía como temática la geodiversidad y perseguía poner en valor y divulgar el patrimonio geológico (Afonso-Carrillo, 2026).

AGRADECIMIENTOS: Quisiera expresar mi más sincero agradecimiento al Dr. José Mangas Viñuelas y al Prof. Rubén Mayor González por sus apoyos y acompañamiento durante el desarrollo de esta investigación.

Bibliografía

AFONSO-CARRILLO, J. (Ed.) (2026). *Patrimonio Geológico. La memoria de la Tierra*. XXI Semana Científica Telesforo Bravo, Instituto de Estudios Hispánicos de Canarias, Puerto de la Cruz.

ÁLVAREZ-MARTÍNEZ, R. & L. SIEMENS-HERNÁNDEZ (1985-1987). La utilización litofónica de grandes rocas naturales por los habitantes prehistóricos de las Islas Canarias. *Tabona* 6: 285-289.

ÁLVAREZ-MARTÍNEZ, R. & L. SIEMENS-HERNÁNDEZ (2005). La música en la sociedad canaria a través de la historia, I – Desde el período aborigen hasta 1600. Madrid. El Museo Canario y Cosimte. 344 pp.

ANCOCHEA, E., J.L. BRÄNDLE, C.R. CUBAS, F. HERNÁN & M.J. HUERTAS (1996). Volcanic complexes in the eastern ridge of the Canary Islands: The Miocene activity of the island of Fuerteventura. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 70(3): 183-204.

ANCOCHEA, E., J.L. BARRERA, F. BELLIDO, R. BENITO, J.L. BRÄNDLE, J. CEBRIÁN, J. COELLO, C.R. CUBAS, J. DE LA NUEZ, M. DOBLAS, J.A. GÓMEZ, F. HERNÁN, R. HERRERA, M.J. HUERTAS, J. LÓPEZ RUIZ, J. MARTÍ, M. MUÑOZ & J. SAGREDO (2004). Canarias y el vulcanismo neógeno peninsular. En: J.A. Vera (Ed.): *Geología de España*. Instituto Geológico y Minero de España (IGME) y Sociedad Geológica de España (SGE), Madrid: 637-682.

ANGUITA, F., C. FERNÁNDEZ, Á. MÁRQUEZ, R. LEÓN & R. CASILLAS (2025). The Canary hotspot revisited: Refutation of the Hawaii paradigm and an alternative, plate-based hypothesis. *Earth-Science Reviews* 261: 105038.

BALCELLS, R. & J.L. BARRERA (1990). Mapa Geológico de España a escala 1:25.000 de Gran Canaria (Plan MAGNA). Mapa y memoria de la Hoja de Telde 1109-II (84-84). Instituto Tecnológico Geominero de España (ITGE). 101 pp.

BALCELLS, R., J.L. BARRERA & J.A. GÓMEZ (1990). Mapa Geológico de España a

escala 1:25.000 de Gran Canaria (Plan MAGNA). Mapa y memoria de la Hoja de Agüimes 1114-I (84-85). Instituto Tecnológico Geominero de España (ITGE), Madrid. 74 pp.

BALCELLS, R., J.L. BARRERA & M.T. RUIZ GARCÍA (1990). Mapa Geológico de España a escala 1:25.000 de Gran Canaria (Plan MAGNA). Mapa y memoria de la Hoja de Arucas 1101-III-IV (84-85). Instituto Tecnológico Geominero de España (ITGE), Madrid. 114 pp.

COELLO, J., J.M. CANTAGREL, F. HERNÁN, J.M. FÚSTER, E. IBARROLA, E. ANCOCHEA, C. CASQUET, J.R. JAMOND & A. CENDRERO (1992). Evolution of the eastern volcanic ridge of the Canary Islands based on new K-Ar data. *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 53: 251-274.

FAGG, B. (1956). The Discovery of Multiple Rock Gongs in Nigeria. *African Music* 1(3): 6-9.

FERNÁNDEZ-MIRANDA, M., R. DE BALBÍN BEHRMANN & A. TEJERA GASPAR (1985-1987). Los litófonos prehistóricos de Lanzarote y Tenerife. Estudio arqueológico. *Tabona* 6: 279-284.

FOLGUEIRAS BERTOMEU, P. (2016). Técnica de recogida de información: La entrevista. *Mètodes d'Investigació i Diagnòstic en Educació*. https://diposit.ub.edu/dspace/handle/2445/99003

FREUNDT, A. & H.U. SCHMINCKE (1995). Eruption and emplacement of a basaltic welded ignimbrite during caldera formation on Gran Canaria. *Bull. Volcanol.* 56: 640-659.

FÚSTER, J.M., A. HERNÁNDEZ-PACHECO, M. MUÑOZ, E. RODRÍGUEZ BADIOLA & L. GARCÍA CACHO (1968). Geology and vulcanology of the Canary Islands, Gran Canaria. En: Instituto Lucas Mallada (Ed.): *International Symposium on Volcanology*, Tenerife, Sept. 1968. CSIC, Madrid: 243.

GALINDO, I., J. VEGAS, C. ROMERO, M. LLORENTE, E. MARTÍN-GONZÁLEZ, J.C. RUBIO, G.A. DÍAZ, J. MANGAS, E. MATEO & N. SÁNCHEZ (2019). Geoheritage Inventory of the Lanzarote and Chinijo Islands UNESCO Global Geopark. En: E. Mateo *et al.* (Eds.): *Lanzarote and Chinijo Islands Geopark: From Earth to Space, Geoheritage, Geoparks and Geotourism*. Springer, Nature Switzerland AG: 31-45.

GARCÍA MIRANDA, F.J. (2011). *Los litófonos de Tenerife*. Ediciones Idea, 92 pp.

GOBIERNO DE CANARIAS (2022). Catalogación de los litófonos de Tenerife. https://www.youtube.com/watch?v=VfeGG99yGYA

GONZÁLEZ ORTEGA, M. (1992). Hallazgos sobre la utilización litofónica de rocas naturales en Fuerteventura. *El Museo Canario* XLIX: 225-237.

GOODWIN, A.J.H. (1957). Rock gongs, chutes, paintings and fertility. *The South African Archaeological Bulletin* 12(45): 37-40.

GUILLOU, H., F.J. PÉREZ-TORRADO, A.R. HANSEN-MACHIN, J.C. CARRACEDO & D. GIMENO (2004). The Plio-Quaternary volcanic evolution of Gran Canaria based on new K-Ar ages and magnetostratigraphy. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 135: 221-246.

HAUSEN, H. (1958). Contribución al conocimiento de las formaciones sedimentarias de Fuerteventura (Islas Canarias). *Anuario de Estudios Atlánticos* 4: 37-84.

HAUSEN, H. (1967). Sobre el desarrollo geológico de Fuerteventura (Islas Canarias). *Anuario de Estudios Atlánticos* 13: 11–37.

KING, A. (1961). A report on the use of stone clappers for the accompaniment of sacred songs. *African Music* 2(4): 64-71.

KLEINITZ, C. (2007). Rock art and Archaeology: The Hadiab survey. *Sudan and Nubia, African Music* 11: 34-42.

KLEINITZ, C. (2008). Soundscapes of the Nile valley: 'Rock music' in the Fourth Cataract region. En: A.A. Both, R. Eichmann, E. Hickmann & L. Koch (Eds.): *Studies in Music Archaeology VI. Challenges and Aims in Music Archaeology*. Verlag Marie Leidorf, Rahden: 131-146.

KLEINITZ, C. (2010). Acoustic elements of (pre)historic rock art landscapes at the fourth Nile cataract. *Polish Archaeology in the Mediterranean, Supplement Series* 2(2) fasc. 1. Warsaw University Press, Warsaw.

LE MAITRE, R.W. (1984). A proposal by the IUGS subcomission of the systematics of igneous rocks for a chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali silica (TAS) diagram. *Australian Journal of Earth Sciences* 31: 243-255.

LUND, C. (2009). Early percussion stones in Scandinavia: finds and traditions. *Studia instrumentorum musicae popularis* I: 129-150.

MANGAS VIÑUELA, J. (2020). Génesis y evolución geológica de Gran Canaria: un buen ejemplo de la geodiversidad de una isla volcánica intraplaca oceánica. En: *Gran Canaria: las huellas del tiempo. Actas XV Semana Científica Telesforo Bravo*. Instituto de Estudios Hispánicos de Canarias: 61-113.

MCDOUGALL, I. & H.U. SCHMINCKE (1976). Geochronology of Gran Canaria, Canary Islands: Age of shield building volcanism and other magmatic phases. *Bulletin of Volcanology* 40(1): 57-77.

PALLARÉS, A. (2017). Prehistoria de Lanzarote. *Crónicas remotas*: 179-187.

PÉREZ-TORRADO, F.J., J.C. CARRACEDO & J. MANGAS (1995). Geochronology and stratigraphy of the Roque Nublo Group, Gran Canaria, Canary Islands. *Journal of the Geological Society* 152(5): 807-818.

PÉREZ-TORRADO, F.J., J.C. CARRACEDO, H. GUILLOU, A. RODRÍGUEZ-GONZÁLEZ & J.L. FERNÁNDEZ-TURIEL (2023). Age, duration and spatial distribution of ocean shields and rejuvenated volcanism: Fuerteventura and Lanzarote, Eastern Canaries. *Journal of the Geological Society* 180(3): jgs2022-112. https://doi.org/10.1144/jgs2022-112

PORTAL DE NOTICIAS DEL GOBIERNO DE CANARIAS (2022). Documentada una nueva tipología de litófonos en El Hierro. https://www3.gobiernodecanarias.org/noticias/documentada-una-nueva-tipologia-de-litofonos-en-el-hierro/

ROBERTSON, A.H.F. & B. BERNOUILLI (1982). Stratigraphy, facies and significance of Late Mesozoic and Early Tertiary sedimentary rocks of Fuerteventura (Canary Islands) and Maio (Cape Verde Islands). En: V.U. Rad et al. (Eds.): *Geology of the Northwest African Continental Margin*. Springer-Verlag, Berlin: 498-525.

ROBERTSON, A.H.F. & C.J. STILLMAN (1979). Submarine volcanic and associated sedimentary rocks of the Fuerteventura Basal Complex, Canary Islands. *Geol. Mag.* 116: 203-214.

RODRÍGUEZ FLEITAS, A. (1999). Hallazgo de un litófono en Gran Canaria. *El Museo*

Canario LIV-1: 23-31.

RODRÍGUEZ-RUBIO, A.J. (2023). Análisis acústico del litófono de la «La Campana» del Lomo Magullo, Telde (este de Gran Canaria). DogArtes. https://dogartes.es/project/analisis-acustico-del-litofono-de-la-campana-del-lomo-magullo-telde-este-de-gran-canaria/

RODRÍGUEZ-RUBIO, A.J. & R. MAYOR-GONZÁLEZ (2024). Análisis de frecuencias de un litófono en el sur de Gran Canaria (Islas Canarias). En: *Proc. Acústica 2024 – TecniAcústica 2024*. Faro, Portugal. https://www.spacustica.pt/acustica2024/pdf/papers/ID172.pdf

SCHMINCKE, H.U. & M. SUMITA (2010). *Geological Evolution of the Canary Islands: A young volcanic archipelago adjacent to the old African continent*. Görres-Verlag, Germany. 200 pp.

STEINER, C., A. HOBSON, P. FAVRE & G.M. STAMPLI (1998). Early Jurassic seafloor spreading in the central Atlantic – The Jurassic sequence of Fuerteventura (Canary Islands). *Geol. Soc. Am. Bull.* 110: 1304-1317.

STILLMAN, C.J., M.J. BENNELL-BAKER, J.D. SMEWING, J.M. FÚSTER, M. MUÑOZ & J. SAGREDO (1975). Basal complex of Fuerteventura (Canary Islands) is an oceanic intrusive complex with rift-system affinities. *Nature* 257(5526): 469-471.

TROLL, V.R. & J.C. CARRACEDO (2016). The Geology of Fuerteventura. En: *The Geology of the Canary Islands*. Elsevier: 531-582.

ULBRICH, H.J. (2003). Frequenzanalyse eines Lithophons auf Lanzarote (Kanarische Inseln). *Almogaren* XXXIV: 25-36.

VAN DEN BOGAARD, P. (2013). The origin of the Canary Island seamounts province: new ages of old seamounts. *Sci. Rep.* 3: 2107.

WALKER, G.P.L. (1990). Geology and volcanology of the Hawaiian Islands. *Pacific Sc.* 44: 315-347.

Patrimonio Geológico. La memoria de la Tierra
XXI Semana Científica Telesforo Bravo
Instituto de Estudios Hispánicos de Canarias

4. Archipiélago de Cabo Verde: ciento cuarenta millones de años de diversidad geológica

José Madeira

Profesor Asociado jubilado.
Departamento de Ciências da Terra e Energia e Instituto Dom Luiz, Universidade de Lisboa

El archipiélago de Cabo Verde presenta una enorme geodiversidad relacionada con diferentes composiciones magmáticas, estilos eruptivos, historia evolutiva y varios grados de disección erosiva, además de diversos tipos de rocas sedimentarias. En este texto se presenta una visión general de la diversidad geológica de Cabo Verde, en términos de morfologías, estructuras, productos eruptivos y sedimentarios.

Más allá del contexto geodinámico del archipiélago, la actividad volcánica histórica y la geomorfología de las islas, este trabajo presenta brevemente aspectos relacionados con la ocurrencia de afloramientos de fondo oceánico de edad Cretácica, complejos antiguos volcánicos y plutónicos, discordancias en secuencias volcánicas que revelan diferentes fases de construcción volcánica, los principales tipos de edificios volcánicos y sus respectivos productos eruptivos, incluyendo productos silicatados y rocas volcánicas exóticas de composición carbonatada, y también los diferentes tipos de rocas sedimentarias que ocurren. El texto está abundantemente ilustrado con imágenes que exponen esta extraordinaria geodiversidad.

Introducción – marco geológico

El archipiélago de Cabo Verde, conjuntamente a los de Açores, Madeira, Selvagens y Canarias, pertenece a un conjunto de islas clásicamente

designadas como Macaronesia, las «Islas Afortunadas». Desde el punto de vista geodinámico las Açores están localizadas sobre la junción triple entre las placas tectónicas Norte Americana, Eurasiática y Nubia (o Africana) (Madeira & Ribeiro, 1990), mientras los restantes archipiélagos están ubicados en el interior de la placa tectónica Nubia, sobre su porción oceánica. Su edificación está asociada a la actividad volcánica resultante de la acción de plumas mantélicas.

El archipiélago de Cabo Verde, situado a 570 km de la costa oeste africana, está formado por 10 islas principales y varios islotes formando un arco abierto hacia el oeste (Fig. 1). El archipiélago generalmente se divide en islas de Barlovento (Santo Antão, S. Vicente, Santa Luzia, S. Nicolau, Sal y Boa Vista) y en islas de Sotavento (Maio, Santiago, Fogo y Brava) en relación con los vientos alisios que soplan casi todo el año desde el nordeste.

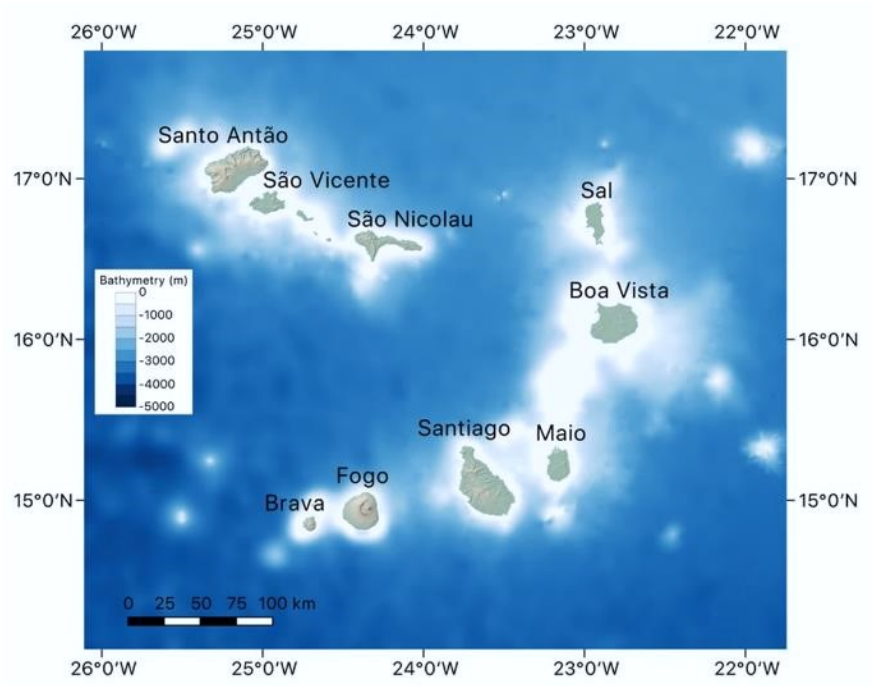


Fig. 1. Mapa del archipiélago de Cabo Verde y batimetría circundante. El archipiélago se divide en islas de barlovento (Santo Antão, S. Vicente, Santa Luzia, S. Nicolau, Sal y Boavista) e islas de sotavento (Maio, Santiago, Fogo y Brava).

Los edificios volcánicos de las islas están erigidos sobre fondo oceánico de edad cretácica (Hayes & Rabinowitz, 1975; Azéma *et al.*, 1990) y sobre una importante anomalía térmica, de gravedad y topográfica (con un

diámetro de 1500 km y una altura de 2 km – *Cabo Verde Rise;* Fig. 2) considerada la mayor anomalía batimétrica oceánica intra-placa (Dash *et al.*, 1976; Cortney & White, 1986; Pim *et al.*, 2008; Wilson *et al.*, 2010), atribuida a la acción de una pluma mantélica (Helffrich *et al.*, 2010; Vinnik *et al.*, 2012). Las edades publicadas sugieren que las islas más antiguas podrían haber emergido durante el Mioceno (Mitchell *et al.*, 1983; Torres *et al.*, 2002; Holm *et al.*, 2008). Existe una progresión de edad de este a oeste, con las islas más recientes al oeste.

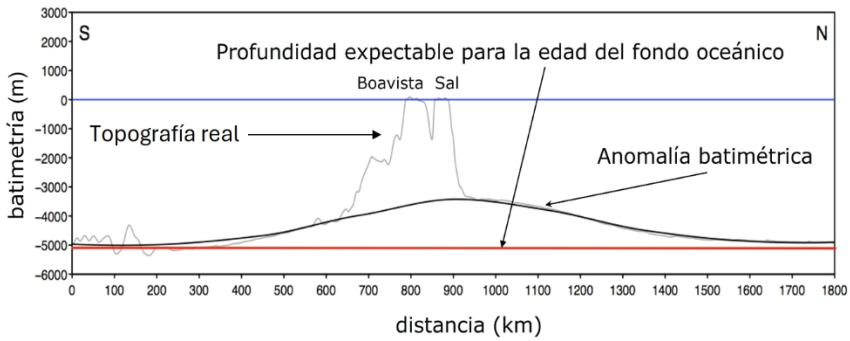


Fig. 2. Perfil topográfico a través de la anomalía topográfica de Cabo Verde (*Cape Verde Swell*). En gris, la topografía real, en negro, la anomalía batimétrica, y en rojo, la topografía esperada dada la edad del fondo marino. Por encima de la anomalía topográfica se elevan los edificios volcánicos de las islas de Sal y Boa Vista (adaptado de Ramalho, 2011).

Vulcanismo activo y erupciones históricas

La isla de Fogo se encuentra en la rama sur del archipiélago y es la cuarta isla más grande en términos de área, con una superficie de 476 km², culminando en el Pico do Fogo a 2829 m sobre el nivel del mar, el punto más alto del archipiélago y el segundo más alto del Atlántico. Fogo es la única isla con volcanismo histórico, con 27 erupciones registradas desde la colonización del archipiélago (Ribeiro, 1954; Torres *et al.*, 1998; Mata *et al.*, 2017). Las referencias más antiguas son registros en diarios de a bordo de navíos que pasaron cerca, pero sin detalles suficientes para identificar los centros eruptivos que estaban en actividad. Solo a partir de mediados del siglo XVII existen textos suficientemente detallados que permitieron localizar esas erupciones (Fig. 3). A partir de 1721 ocurrieron 11 erupciones en la isla de Fogo, la más reciente de las cuales empezó en noviembre de 2014 y duró aproximadamente 3 meses (González *et al.*, 2015; Mata *et al.*, 2017). No obstante, las islas de Santo Antão y Brava presentan volcanismo holoceno, por lo que deben considerarse potencialmente activas.

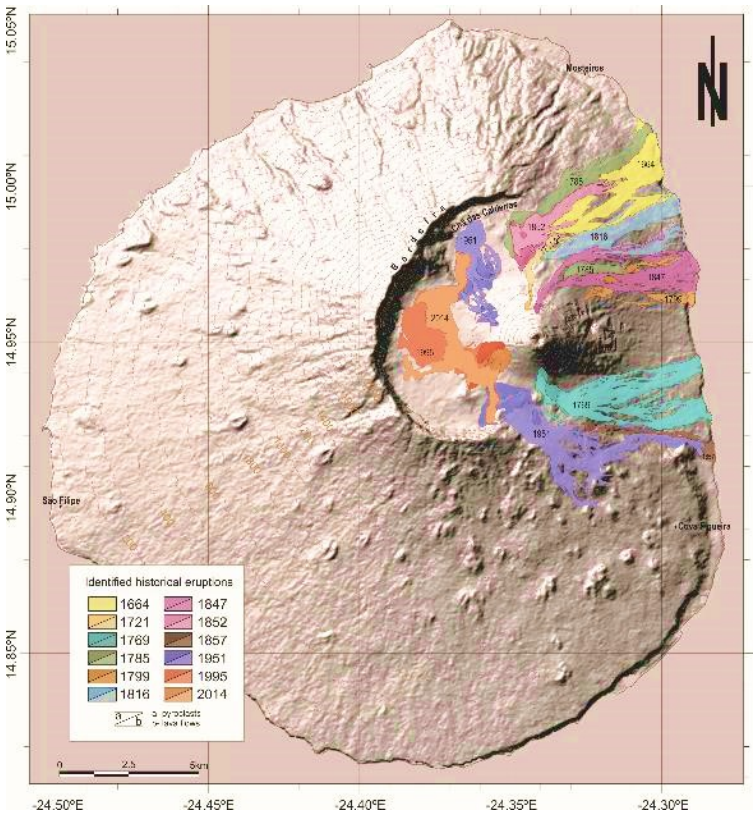


Fig. 3. Modelo digital de terreno de la isla de Fogo, con la cartografía de las erupciones históricas que han podido ser identificadas (adaptado de Mata *et al.*, 2017).

La erupción de 1995 de la isla de Fogo, con características hawaianas-estrombolianas, causó poca destrucción. Además de una cisterna, la carretera de acceso y el pequeño edificio de la cooperativa vinícola, el principal efecto fue el recubrimiento por la lava de tierras agrícolas. Sin embargo, esta erupción se convirtió en un atractivo turístico, lo que propició la creación de alojamientos locales en la caldera, una creciente actividad de guías de montaña y la construcción de una moderna cooperativa vinícola (contribución de un proyecto de cooperación italiano). El impulso económico y el aumento de la riqueza provocaron un aumento de la población residente dentro de la caldera, que prácticamente se había triplicado en 2014. En consecuencia, aumentó la exposición al riesgo. La erupción de 2014-2015, aunque muy similar a la de 1995, tuvo efectos devastadores en las dos aldeas principales (Portela y Bangaeira). El centro eruptivo de 2014 se ubicó a 200 m al sureste del de 1995, y las coladas lávicas deberían haber quedado limitadas al lado sur de la caldera, donde no hay población, contenidas por el

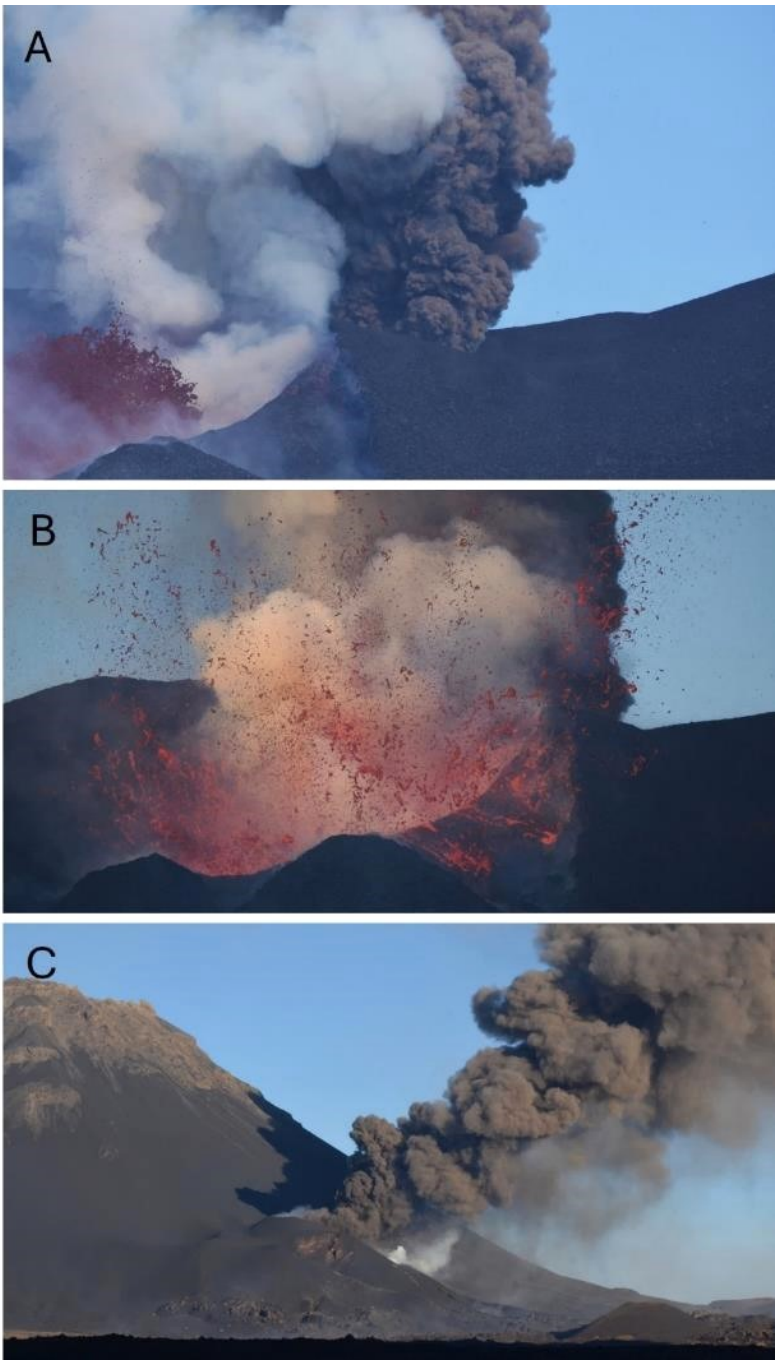


Fig. 4. Aspectos de la actividad explosiva durante la erupción de 2014-15 en la isla de Fogo. **A** y **B**: actividad vulcaniana en el cráter superior y estromboliana en los cráteres centrales; **C**: actividad vulcaniana en la cratera superior con actividad reducida en las crateras centrales, vista desde el norte.

alto relieve de los flujos de lava de 1995 (Fig. 3). Sin embargo, la reconstrucción, mediante excavación, de la carretera de acceso a los pueblos permitió que los flujos de 2014 franqueasen los de 1995 hacia el norte, dirigiendo la lava directamente hacia las zonas habitadas, que quedaron prácticamente destruidas.

La erupción duró tres meses y se caracterizó por actividad hawaiana, estromboliana y vulcaniana alterna o simultánea (Fig. 4). Los diversos cráteres alineados sobre la fisura eruptiva inicial exhibieron distintos estilos eruptivos, con actividad vulcaniana en el cráter más alto (probablemente como resultado de interacción freatomagmática), actividad estromboliana en los cráteres centrales y actividad hawaiana en la boca eruptiva más meridional (Figs. 5A,B), desde donde se salieron los flujos de lava. La actividad vulcaniana emitió volúmenes significativos de ceniza muy fina. La emisión de una gran cantidad de bombas y lapilli en los cráteres centrales originó un corto flujo clastogénico, resultado de la aglutinación de grandes bombas muy plásticas que cayeron en los bordes del cráter. La actividad efusiva se caracterizó por la emisión de un gran flujo *a'a*, que alcanzó un espesor medio de 10 m (Fig. 5C). El flujo lávico avanzó por inflación. El flujo de lava aumentaba gradualmente de espesor hasta que la masa de lava desencadenaba la activación del frente, lo que resultó en un avance intermitente. Cuando la lava alcanzó el escalón topográfico de 50 m que separa los pueblos de Portela y Bangaeira, el frente de la colada, formado por *clinker* (fragmentos irregulares de lava solidificada), se rompió, derramando grandes volúmenes de lava muy caliente y fluida que rápidamente sumergieron el pueblo de Bangaeira.

La colada alcanzó una longitud total de 5,2 km. En total, los flujos de lava resultantes cubrieron un área de 4,8 km², con volúmenes extruidos estimados en ~45 × 10^6 m³, a una tasa de emisión media de 6,8 m³ s^{-1} (Bagnardi *et al*., 2016). Richter *et al.* (2016) describieron espesores de flujos de lava de hasta 35 m cerca de la boca eruptiva, o de 25 m al oeste de Portela. Véase también Cappello *et al*. (2016) para más información sobre la erupción.

A pesar de la extensa destrucción, no hubo víctimas y la población reconstruyó rápidamente sus asentamientos.

Geomorfología del archipiélago

La morfología de las islas está relacionada con su edad, por lo que las islas más jóvenes, situadas al oeste (particularmente Santo Antão, São Nicolau, Fogo y Santiago), presentan morfologías elevadas, constructivas, aún poco erosionadas.

En contraste las islas más antiguas (S. Vicente, Santa Luzia, Sal, Boa Vista y Maio) exhiben una topografía muy erosionada, esencialmente por

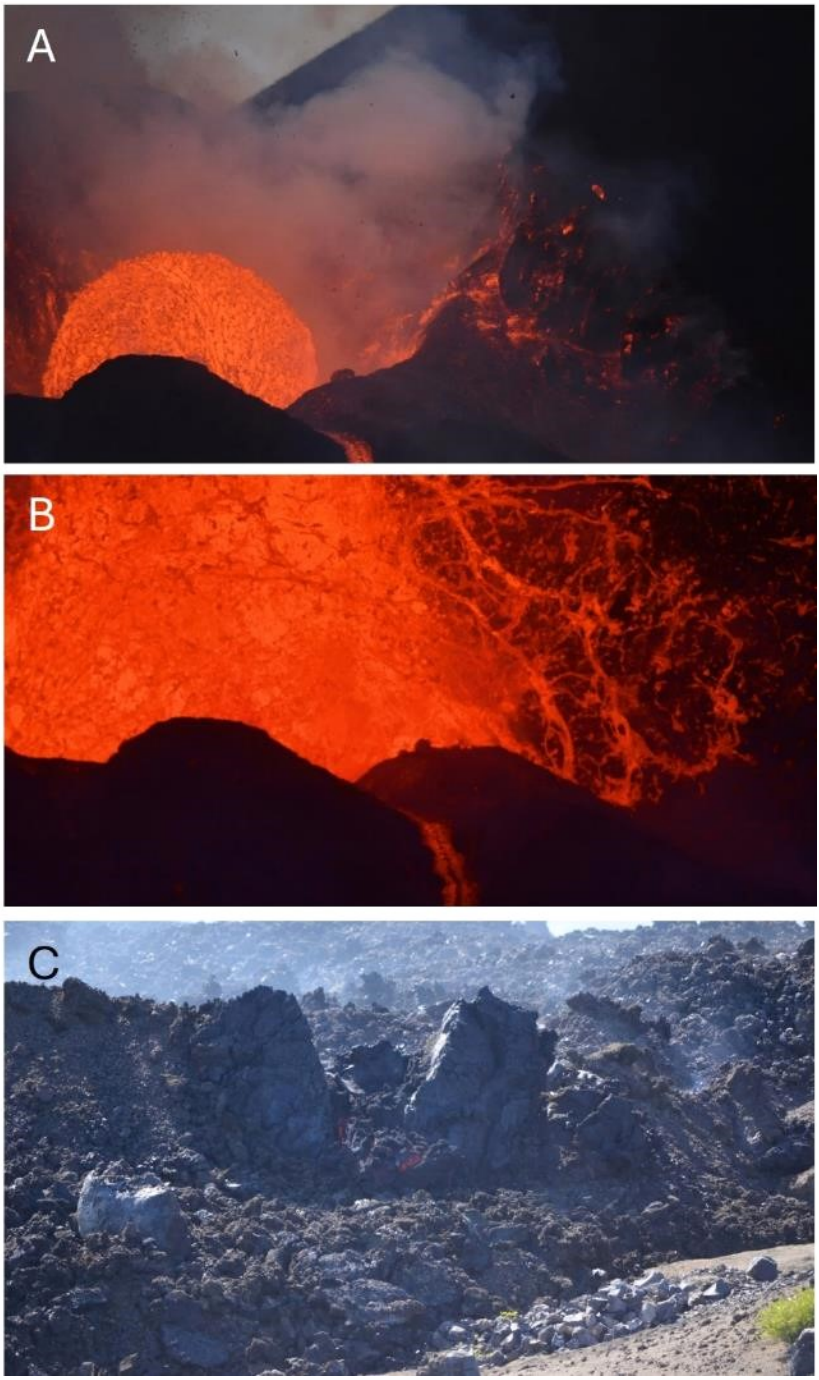


Fig. 5. Aspectos de la erupción de 2014-15 en la isla de Fogo. **A**: globo de lava con 10 a 15 m de diámetro formado en el lago de lava de la cratera inferior; **B**: detalle de la explosión de un globo de lava; **C**: frente NO de la colada *a'a*.

abrasión marina, con plataformas bajas envolviendo relieves residuales (Figs. 6A,B). Sin embargo, incluso estas islas pueden presentar evidencias de vulcanismo reciente (Cuaternario) post-erosivo, como es el caso de S. Vicente, Santa Luzia y Sal. Este vulcanismo cuaternario está representado por algunos conos estrombolianos y sus respectivas coladas lávicas.

La isla Brava es un caso especial, ya que su fuerte relieve es el resultado de un importante levantamiento (*uplift*), de al menos 400 a 500 m (Fig. 6C), durante el Cuaternario, que elevó una superficie erosiva posteriormente cubierta por intenso vulcanismo reciente (Madeira *et al*., 2010).

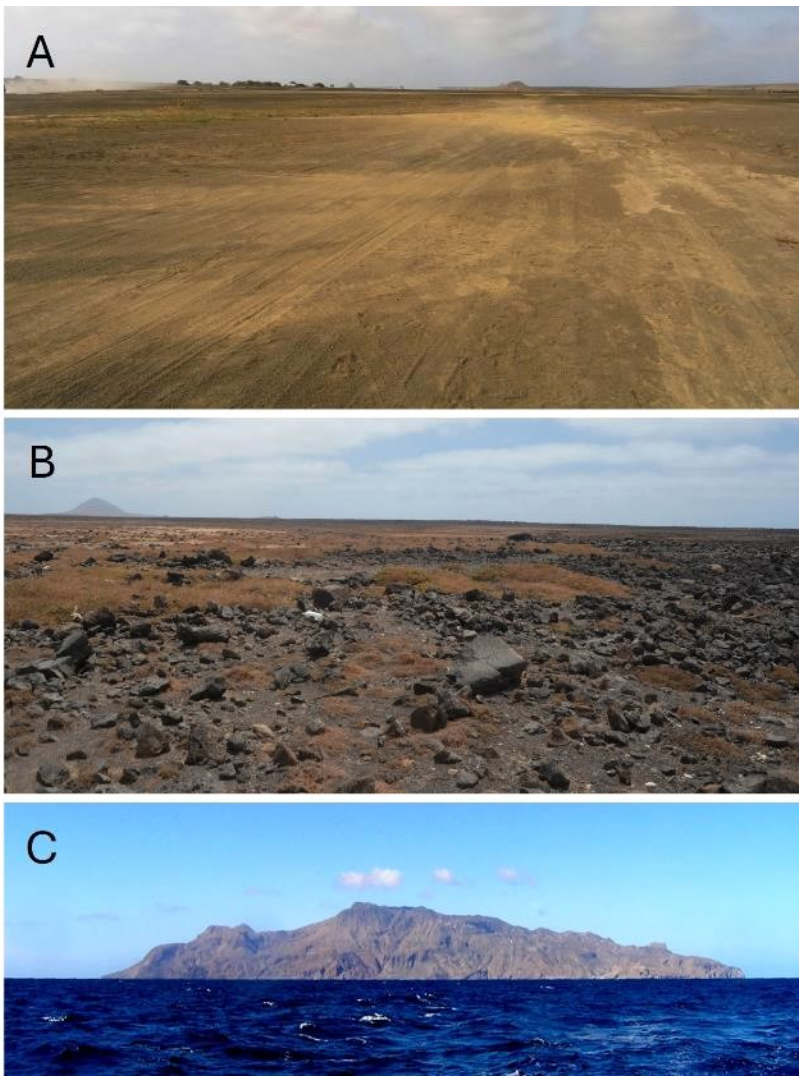


Fig. 6. Ejemplo de morfologías de las islas bajas de Sal (**A**) y Maio (**B**); isla Brava, cuya morfología es el resultado de *uplift* de más de 400 m (**C**).

Fondo oceánico exhumado

En varias islas del Atlántico se conocen afloramientos de porciones del fondo oceánico que afloraron a la superficie mediante procesos magmáticos. Uno de los casos más espectaculares es la presencia de rocas cretácicas de fondo oceánico de la isla de Fuerteventura (Ajuy); también en el centro de la isla de Santo Tomé (archipiélago de Santo Tomé y Príncipe) se encuentran areniscas, probablemente del Cretácico (Munhá *et al*., 2007).

En Cabo Verde, se conocen afloramientos de rocas de fondo oceánico en dos islas, Santiago y Maio. En Santiago (Gerlach *et al*., 1988) el afloramiento es muy reducido, pero en la isla de Maio, la elevación (*uplift*) y erosión exponen vastos afloramientos de fondo oceánico de edad Cretácica (140 Ma) transportados por procesos magmáticos hasta la superficie; incluyen lavas almohadilladas (*pillow lavas*, Fig. 7A), brechas de *pillows* y hialoclastitas (Fig. 7B) con composición MORB (*Mid Ocean Ridge Basalts* – Basaltos de la Cresta Media Oceánica), rocas calcáreas compactas con sílex (Fig. 7C) y argilitas (Paepe *et al*., 1974; Stillman *et al*., 1982; Fourcade *et al*., 1990; Represas *et al*., 2012; Casson *et al*., 2020; Moreira *et al*., 2025).

Complejos antiguos y cámaras magmáticas exhumadas

Cuando la erosión penetra lo suficiente en el edificio insular, puede exponer la estructura profunda del edificio volcánico. Esto incluye partes del edificio volcánico submarino, cámaras o bolsas magmáticas, o secuencias de lava intensamente intruidas por complejos filonianos.

En Cabo Verde, varias islas presentan afloramientos de este tipo de estructuras (Villaseca *et al.*, 2025). En la isla de Santo Antão, aunque la isla aún presenta una forma de volcán escudo bien conservada, algunos valles penetran profundamente en la zona axial del edificio volcánico, exponiendo secuencias lávicas tan intensamente intruidas por diques que resulta difícil distinguir la roca encajante (Fig. 8A). En el caso de la isla de Maio, en el centro de la isla se encuentran rocas plutónicas (piroxenitas, gabros, sienitas), que corresponden a cámaras magmáticas exhumadas por el levantamiento de la isla y por la erosión de las partes superiores del edificio volcánico (Represas *et al*., 2012; Samrock *et al*., 2022). En la isla Brava, el levantamiento y erosión permiten observar no sólo cámaras magmáticas exhumadas (piroxenitas, sienitas y carbonatitas plutónicas; Fig. 8B), sino también rocas de la fase de monte submarino de la isla (lavas almohadilladas, brechas de *pillows* y hialoclastitas; Fig. 8C) a altitudes superiores a los 400 m sobre el nivel actual del mar (Madeira *et al*., 2010).

También en la isla de Fogo hay un pequeño afloramiento de carbonatitas plutónicas, y en Santiago se pueden observar extensos afloramientos del sustrato más antiguo de la estructura del edificio insular (Serralheiro, 1976).

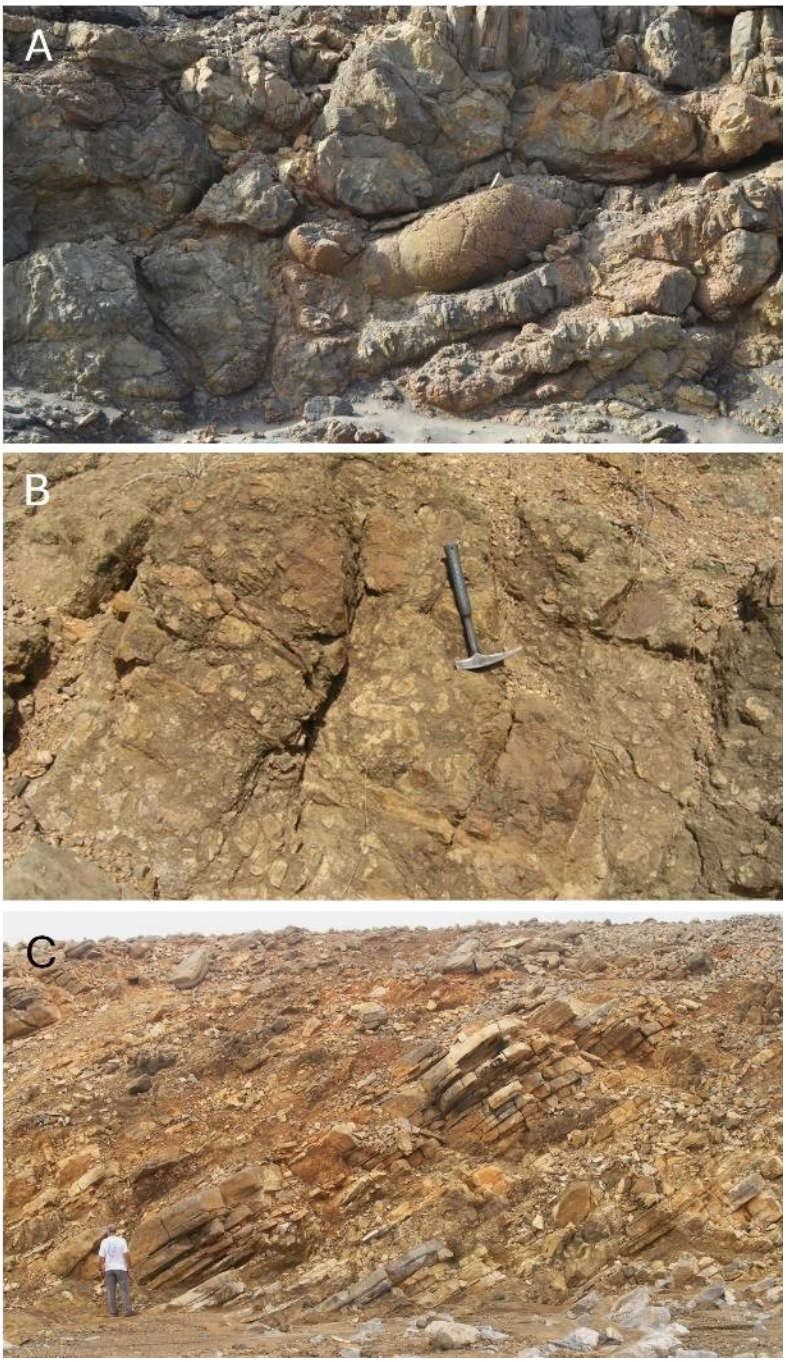


Fig. 7. Afloramientos de fondo oceánico en la isla de Maio. **A**: lavas almohadilladas en Baía de Dom João; **B**: brechas de lava almohadillada en matriz de hialoclastita en Monte Batalha; **C**: capas de rocas calcáreas compactas cretácicas en la zona de Monte Branco.

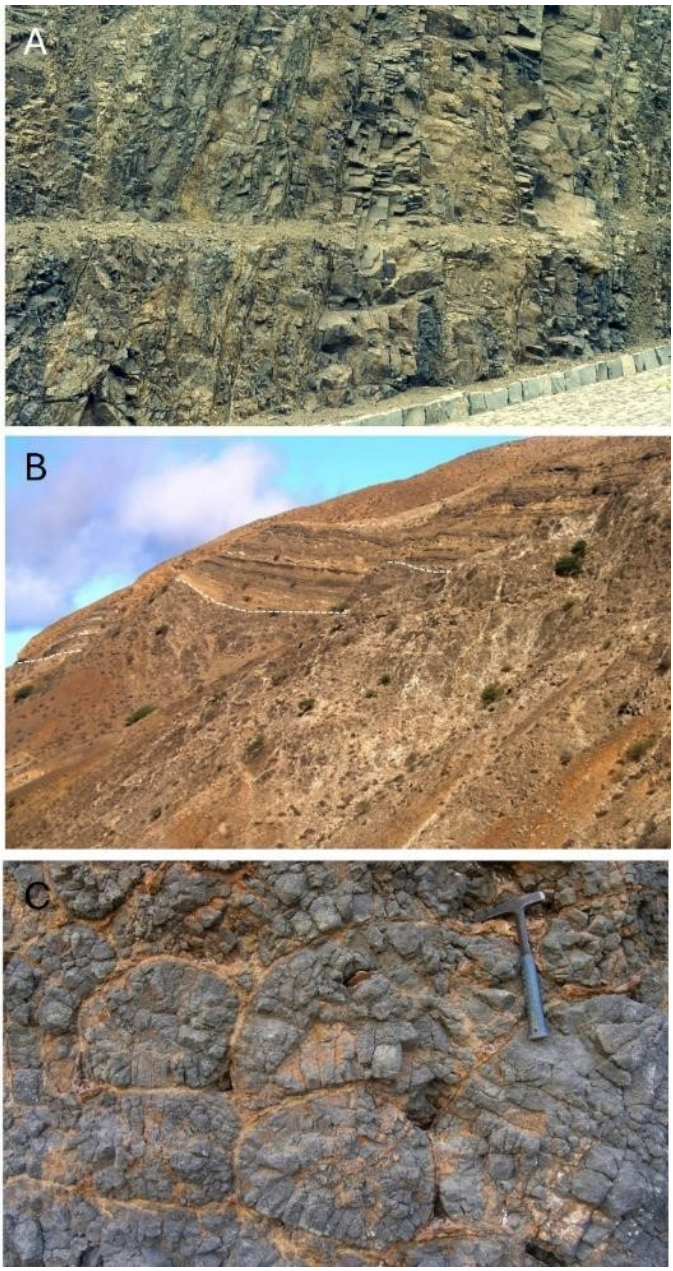


Fig. 8. Aspecto de complejos volcánicos antiguos, cámaras magmáticas exhumadas y secuencias de monte submarino. **A**: complejo antiguo en la cabecera de Ribeira das Patas, isla de Santo Antão, atravesado por numerosos diques; **B**: cámara magmática exhumada constituida por piroxenitas atravesadas por venas de carbonatita en la mitad sur de la isla Brava y cubierta por la unidad volcánica más reciente; **C**: afloramiento de lavas almohadilladas de la fase de monte submarino de la isla Brava en Fajã d'Água.

Discordancias e inconformidades

El estudio de la estratigrafía de las islas oceánicas depende en gran medida de la identificación de discordancias o inconformidades importantes en las secuencias volcánicas. Estas superficies de discontinuidad marcan hiatos temporales en la construcción de los edificios volcánicos insulares y permiten identificar importantes períodos de erosión que pueden corresponder a intervalos de tiempo bastante largos. De este modo, es posible identificar diferentes fases en su construcción y seleccionar muestras de roca para la datación de estas mismas fases.

Discontinuidades de este tipo se encuentran en todas las islas de Cabo Verde. Algunas separan productos volcánicos de fases post-erosivas más recientes, rellenando valles excavados en secuencias de fases anteriores, como en la isla de São Nicolau (Fig. 9A). En los altos acantilados de la costa oeste de Santiago, se observa una importante discordancia angular entre secuencias volcánicas submarinas y lavas subaéreas (Fig. 9B). En la isla Brava, una importante superficie erosiva separa las secuencias del edificio submarino y cámaras magmáticas exhumadas de los productos volcánicos más recientes del Pleistoceno Superior (Fig. 9C; Madeira *et al*., 2010).

Tipos de edificios volcánicos

En Cabo Verde, encontramos diversos tipos de estructuras volcánicas, desde grandes volcanes poligenéticos, formados por múltiples erupciones a lo largo de períodos dilatados, hasta estructuras monogenéticas más pequeñas, creadas por erupciones singulares.

La isla de Santo Antão es un gran volcán escudo de dirección NE-SO, con 40 km de longitud y con una altitud de 1979 m sobre el nivel del mar. La isla de Fogo puede considerarse un volcán compuesto, en el que la estructura insular sufrió colapsos, tanto eventos de formación de caldera como colapsos de flanco, que generaron una gran depresión somera (Fig. 10A), dentro de la cual se formó posteriormente el estratovolcán de Pico do Fogo, que alcanza los 2829 m (Fig. 10B).

En casi todas las islas se observan conos monogenéticos de cenizas y escorias, producidos por erupciones hawaianas-estrombolianas, que suelen constituir conos adventicios de las estructuras mayores o integrarse en la actividad cuaternaria post-erosiva en las islas más erosionadas (Fig. 10C). La excepción es la isla de Maio, donde el vulcanismo más reciente data del Mioceno (Stillman *et al*., 1982; Moreira *et al*., 2025) y los edificios volcánicos originales están prácticamente desmantelados.

Otro tipo de edificio volcánico que se puede observar en Cabo Verde son los cráteres freatomagmáticos de tipo *maar*. Estas estructuras, resultantes de la interacción entre el magma y aguas subterráneas, son poco comunes dadas

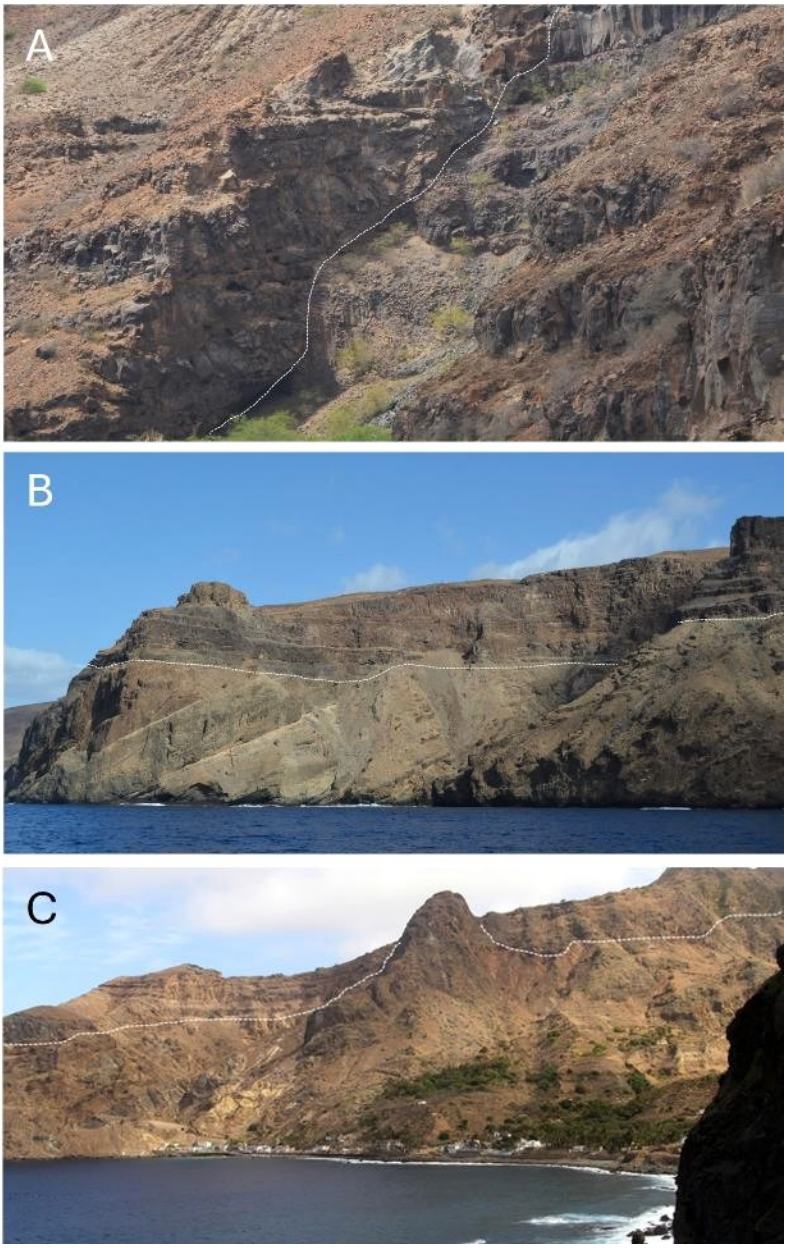


Fig. 9. Ejemplos de inconformidades. **A**: coladas de la fase volcánica post-erosiva rellenando un valle excavado en lavas de secuencia anterior en la zona oriental de la isla de S. Nicolau; **B**: secuencia lávica subaérea cubriendo en discordancia angular una secuencia submarina inclinada hacia el NO en el acantilado de Baía do Inferno, costa occidental de la isla de Santiago; **C**: secuencia de lavas almohadilladas, brechas de *pillows* y hialoclastitas de la fase de monte submarino de la isla Brava en Fajã d'Água levantada por *uplift* hasta 400 m por encima del nivel del mar; la línea marca la discordancia con la unidad volcánica superior.

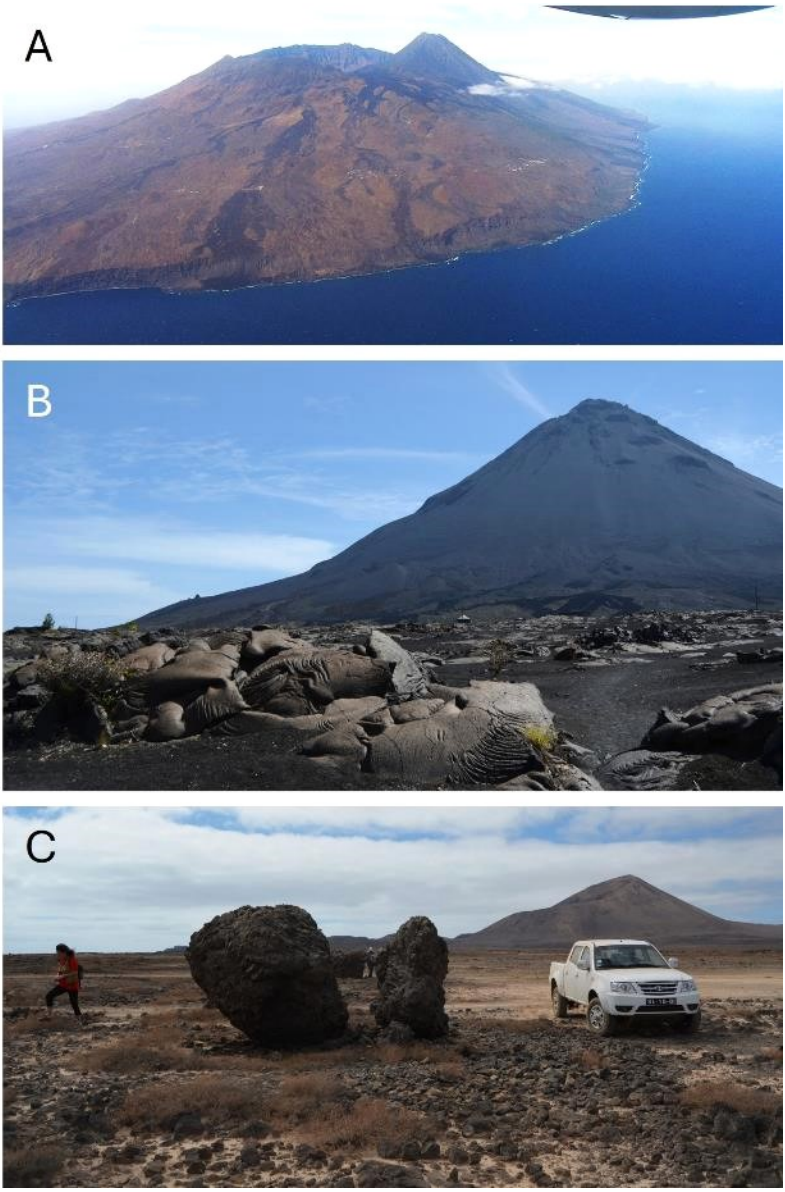


Fig. 10. Edificios volcánicos en Cabo Verde. **A**: volcán compuesto poligenético de la isla de Fogo; la depresión de la cumbre está parcialmente rellenada por el estratovolcán de Pico do Fogo; **B**: el estratovolcán de Pico do Fogo, con cerca de 1100 m de altura, visto desde el noroeste; **C**: cono monogenético estromboliano de la fase post-erosiva de la isla de Sal.

las condiciones climáticas áridas del archipiélago, pero se pueden encontrar en la isla de Santo Antão (por ejemplo, el cráter freatomagmático de Cova,

con aproximadamente 1 km de diámetro y una profundidad media de 100 m), en S. Nicolau (el *maar* de Caldeira do Morro Alto con cerca de 1 km de diámetro y más de 70 m de profundidad; Fig. 11A) y en la isla de Sal, donde el *maar* de Pedra Lume (de 1200 m de diámetro y con el fondo al nivel del mar; Fig. 11B) surgió de la interacción del magma con la cuña subterránea de agua marina dada la proximidad a la costa. Sus salinas naturales dieron el nombre a la isla de Sal. Pero donde los cráteres freatomagmáticos son realmente comunes es en la isla Brava (Fig. 11C), especialmente en su mitad norte, donde hay unos 30 *maares* (Madeira *et al*., 2010). Esta abundancia se relaciona con las condiciones climáticas más lluviosas de la isla, que dieron origen a los acuíferos con los que interactuó el magma.

Otro tipo de estructura relacionada con interacción agua-magma son las producidas por erupciones surtseyanas, erupciones costeras que ocurren en fondos marinos de baja profundidad. En Cabo Verde son menos comunes que en otros archipiélagos macaronésicos, pero un ejemplo es el cono submarino de Sambango en Fajãzinha, isla de Fogo. El cono se formó a unos 350 m mar adentro del antiguo acantilado litoral, sufrió alguna erosión marina, pero posteriormente fue rodeado por flujos de lava procedentes de conos ubicados en tierra, que crearon una fajana lávica (*delta*) que fosilizó el acantilado y el edificio surtseyano.

En tres de las islas del archipiélago se conocen calderas volcánicas, resultantes del colapso de las cumbres de los edificios volcánicos tras erupciones paroxismales. El estratovolcán de Tope de Coroa, en Santo Antão, puede haberse formado dentro de una caldera o, alternativamente, dentro de una cicatriz de colapso de flanco. La isla Brava también cuenta con una caldera con un diámetro de 1,5 km. Sin embargo, la caldera más espectacular es la de la isla de Fogo (Fig. 12A). La depresión cimera se formó por la intersección de dos calderas de subsidencia, una al sur con casi 5,5 km de diámetro y otra al norte con unos 3 km. A estos eventos le siguió el colapso del flanco oriental, que abrió la caldera hacia el este (Martínez-Moreno *et al*., 2018). La pared alcanza 1 km de altura en su punto más alto, pero una parte significativa de la caldera ya está rellenada con unos 800 m de espesor de flujos de lava posteriores, por lo que la depresión original habría tenido una profundidad de unos 1800 m.

El colapso de los flancos de grandes edificios volcánicos insulares es un proceso bien conocido desde hace varias décadas. Se identificó inicialmente en el archipiélago hawaiano y posteriormente en múltiples archipiélagos, como en las islas Canarias. En Cabo Verde, se sabe que tanto la isla de Fogo como la de Santo Antão sufrieron grandes colapsos de flanco (Figs. 12B,C), pero otras islas muestran evidencias morfológicas que sugieren procesos idénticos, como en la isla de São Nicolau. En la isla de Fogo, se estima que el colapso afectó entre 110 y 120 km³ de material rocoso que entró repentinamente en el mar, provocando un megatsunami (Day *et al*., 1999;

Paris *et al*., 2011; Martínez-Moreno *et al*., 2018). La isla de Maio muestra evidencia de cuatro inundaciones por tsunami, una asociada al colapso de la isla de Fogo y otras dos cuyos depósitos presentan edades consistentes con la presunta edad de los colapsos de flanco de Santo Antão (Madeira *et al*., 2020).

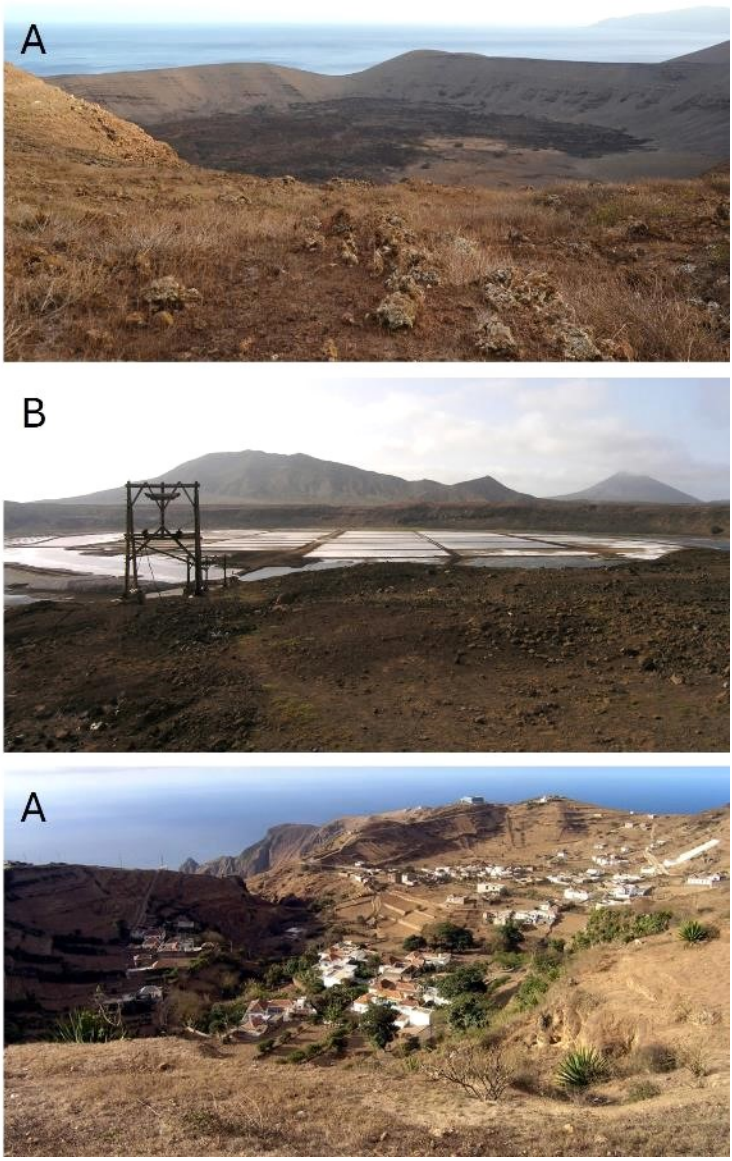


Fig. 11. Ejemplos de *maares* (o cráteres freato-magmáticos) en Cabo Verde. **A**: *maar* de la Caldeira do Morro Alto en la isla de S. Nicolau; **B**: *maar* de Pedra Lume y sus salinas en la isla de Sal; **C**: *maar* de Cova Joana en el NE de la isla Brava donde muchos de los pueblos se localizan dentro de estos cráteres.

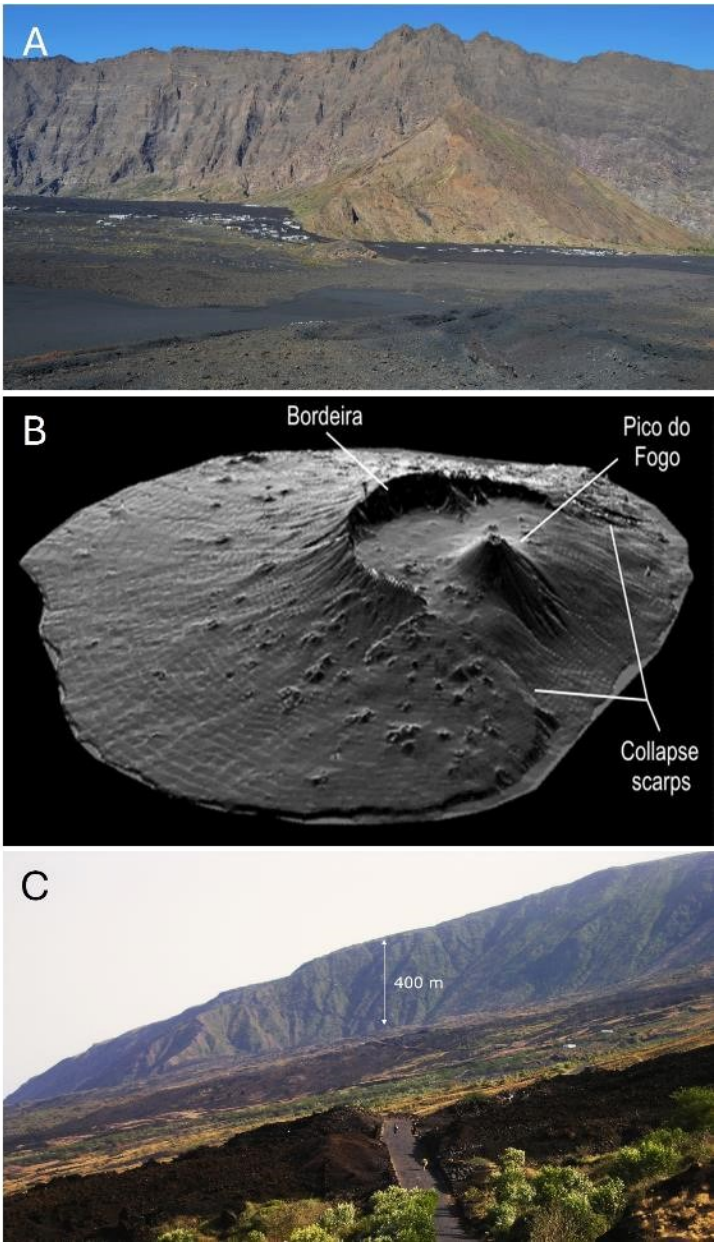


Fig. 12. Estructuras de colapso en la isla de Fogo. **A**: aspecto parcial de las calderas de colapso vertical de la cumbre de la isla de Fogo; la pared tiene 1000 m de altura en la parte más alta; nótese el escalón de 50 m entre la caldera sur (a la izquierda) y la caldera norte (a la derecha) con los dos pueblos de Portela y Bangaeira, destruidos por la erupción de 2014-15; **B**: modelo digital de terreno de la isla de Fogo donde se puede ver la pared de la caldera (Bordeira), el estratovolcán de Pico de Fogo y los escarpes laterales del colapso de flanco; **C**: fotografía del escarpe sur del colapso de flanco de la isla de Fogo (parcialmente rellenado por coladas posteriores).

Productos volcánicos silicatados y de composición carbonatítica

Los productos volcánicos que se pueden observar en Cabo Verde incluyen no solo lavas silicatadas, sino también rocas carbonatíticas (formadas por más de 50% de carbonatos), muy raras sobre todo en ambientes oceánicos. En cuanto ambiente deposicional, existen productos subaéreos y submarinos emitidos de forma efusiva y explosiva. Por lo tanto, se reconoce una gran variedad de productos volcánicos, en cuanto a composición, ambiente de emisión y modo de extrusión.

Entre los productos lávicos silicatados emitidos efusivamente en ambiente subaéreo, se encuentran coladas *a'a, pahoehoe* (Figs. 13A,B) y morfologías intermedias, domos (Fig. 13C) y *coulées* (potentes coladas ácidas), de composición que va desde basanitas hasta fonolitas. Entre los materiales subaéreos emitidos de forma explosiva, se pueden mencionar productos de caída, como bombas y bloques, lapilli, cenizas (Figs. 14A,B,C) y piedra pómez, y productos de flujos piroclásticos, como ignimbritas (Fig. 15A) y depósitos de oleada (*surge*; Figs. 15B,C).

Los productos submarinos presentan una composición predominantemente máfica, aunque se conocen ejemplos de lavas submarinas fonolíticas. Estos materiales incluyen coladas de *pillows* (lavas almohadilladas; Fig. 16A), *mega-pillows* y *sheet-flows* (coladas submarinas coherentes; Fig. 16B), así como productos autoclásticos como brechas de *pillows* y hialoclastitas. Se pueden observar lavas almohadilladas fonolíticas en la isla Brava, y *pillows* y *sheet-flows* de la misma composición aparecen en la isla de Santiago (Fig. 16C). Secuencias de lavas submarinas máficas están presentes en casi todas las islas, en mayor o menor proporción, dependiendo del grado de *uplift* que hayan experimentado. Ocurren lavas máficas submarinas en Santo Antão, Santa Luzia, São Nicolau, Sal, Maio, Santiago, Fogo y Brava.

Además de las rocas ígneas silicatadas, se encuentran productos carbonatíticos en varias islas de Cabo Verde. Algunos son rocas plutónicas, solidificadas en profundidad y con textura holocristalina, mientras que otros son rocas extrusivas emitidas explosivamente, es decir, productos piroclásticos carbonatíticos. Las carbonatitas intrusivas también se presentan en forma de diques (Mourão *et al*., 2010).

En la isla de Fogo, se reconocieron carbonatitas plutónicas en un afloramiento en el lecho del arroyo Ribeira do Pico, al noroeste de la ciudad de São Filipe (Fig. 17A). Dataciones K/Ar indican una edad de entre 3 y 5 Ma (millones de años). Se encuentran atravesando secuencias de lava de la unidad estratigráfica más antigua y están cortadas por numerosos diques. También en la isla Brava, al este de la desembocadura del arroyo Ribeira de Ferreiros, se encuentran carbonatitas plutónicas asociadas a la unidad

estratigráfica intermedia, un complejo alcalino-carbonatítico constituido por piroxenitas, sienitas nefelínicas y carbonatitas, datada de entre 1,9 y 1,3 Ma (Madeira *et al*., 2010).

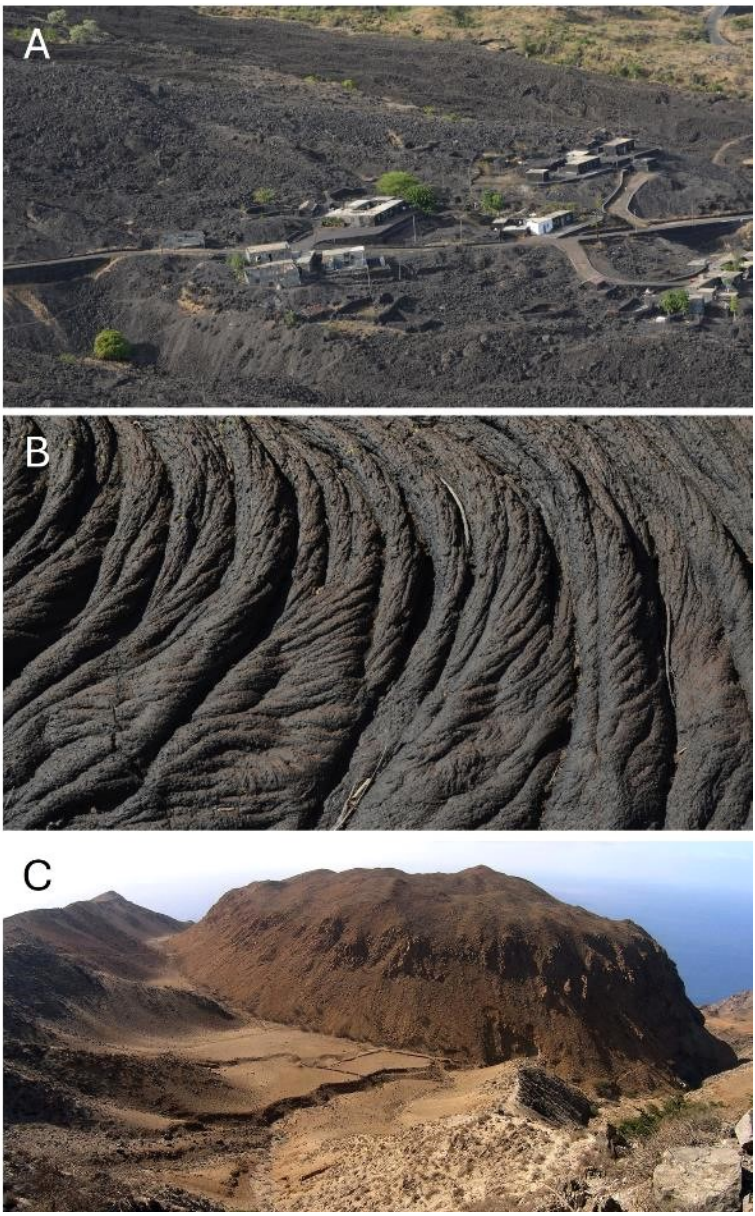


Fig. 13. Productos efusivos silicatados subaéreos de composición máfica y ácida. **A**: colada *a'a* de la erupción de la isla de Fogo de 1951 en Cova Matinho; **B**: colada *pahoehoe* cordada de la erupción de 1995 de la isla de Fogo; **C**: domo fonolítico holoceno del Morro das Pedras en el sur de la isla Brava.

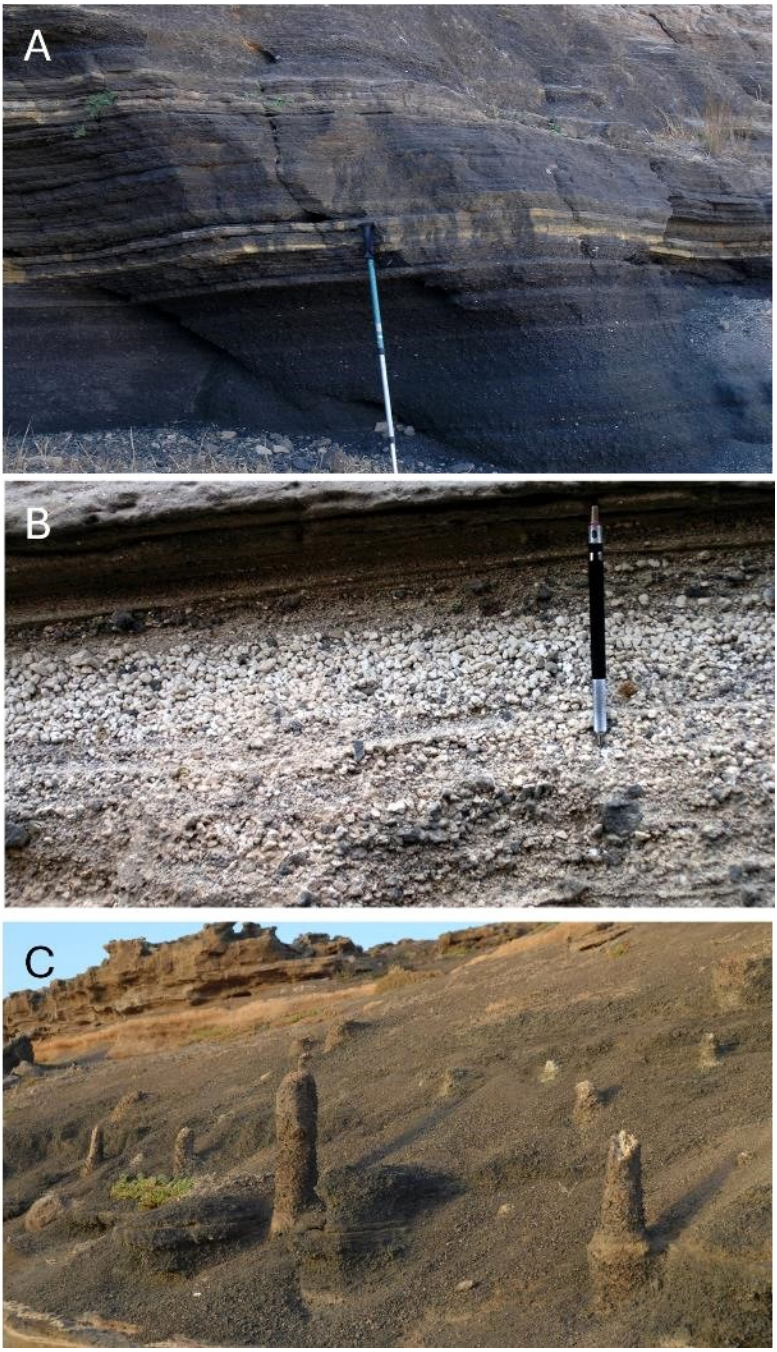


Fig. 14. Productos piroclásticos de caída de composición máfica y ácida. **A**: depósitos de lapilli y cenizas de una erupción estromboliana en la isla Brava; **B**: depósito de lapilli y cenizas pumíticas de erupción pliniana en la isla Brava; **C**: chimeneas fumarólicas en depósito de lapilli de erupción surtseyana en la isla de S. Nicolau.

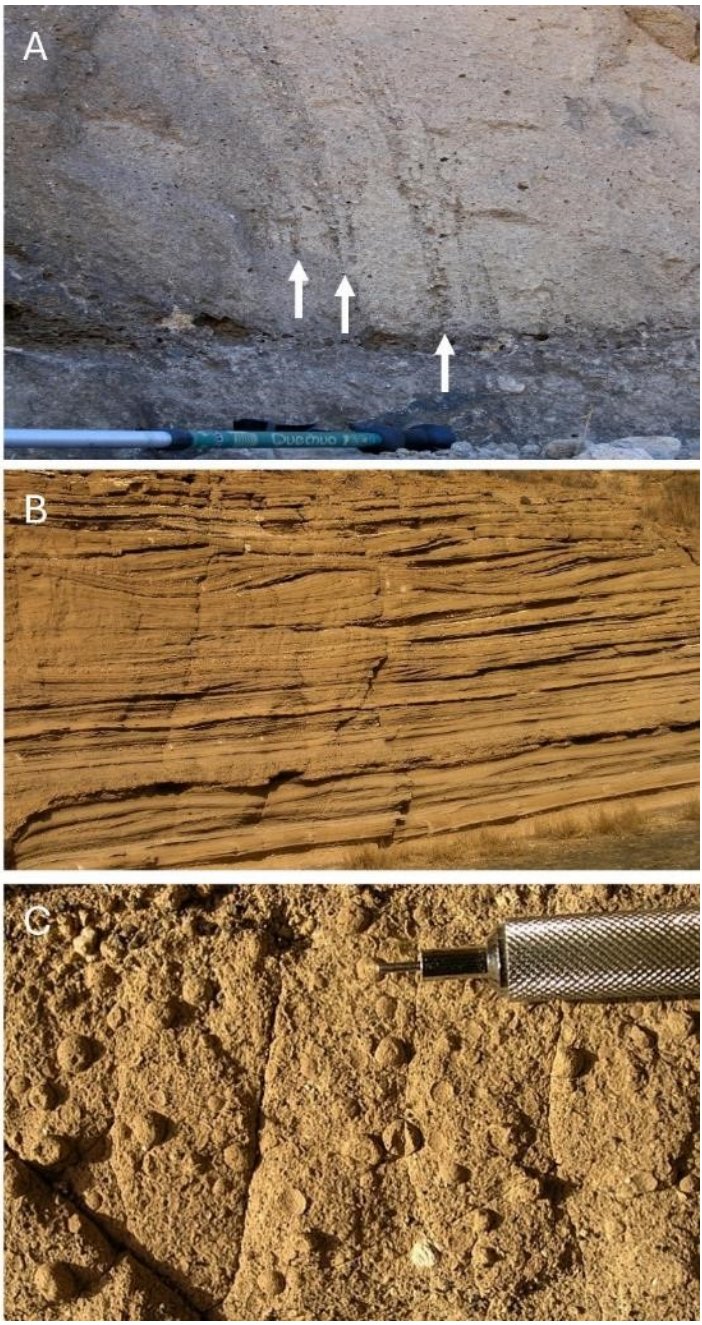


Fig. 15. Productos piroclásticos de flujo de composición ácida. **A**: depósito de ignimbrita fonolítica en la isla Brava; nótese las chimeneas fumarólicas de escape de gases (flechas blancas); **B**: depósito de oleada (*surge*) fonolítica de erupción freato-magmática en la isla Brava; **C**: lapilli de acreción (indicativo de interacción con agua) en depósito de *surge* fonolítico de erupción freato-magmática en la isla Brava.

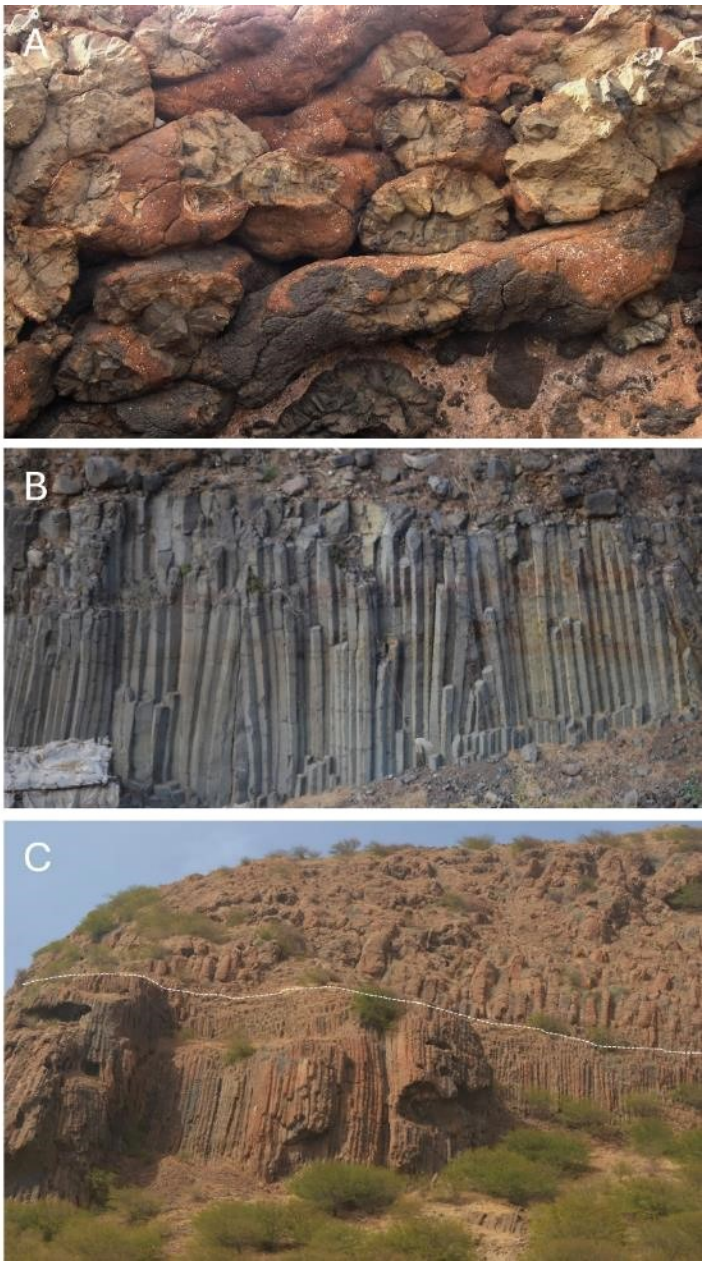


Fig. 16. Coladas submarinas de composición máfica y ácida. **A**: lavas almohadilladas basálticas en tres dimensiones en el litoral de la ciudad de Praia, en la isla de Santiago; **B**: colada submarina de tipo *sheet-flow*, con los típicos prismas finos y ondulados, en la isla de S. Nicolau; **C**: *coulée* fonolítica que ha entrado en el mar; la parte inferior submarina presenta prismas finos y ondulados, mientras la porción subaérea presenta prismas más espesos; la línea blanca marca el nivel del mar en el momento de la erupción, Tarrafal, isla de Santiago.

Además de las carbonatitas plutónicas, existen intrusiones carbonatíticas en forma de diques en las islas de São Vicente, Maio, Santiago y Brava. Estos diques podrían haber alimentado erupciones carbonatíticas cuyos productos pueden haber sido removidos por la erosión.

Las carbonatitas extrusivas son abundantes en la isla de Santiago, aunque restringidas a las unidades volcanoestratigráficas más antiguas (Silva *et al*., 1981). Sin embargo, la isla más espectacular es Brava (Figs. 17B,C; Figs. 18A,B,C), donde se han producido al menos cinco erupciones carbonatíticas recientes, probablemente del Holoceno (Mourão *et al*., 2010; Madeira *et al*., 2010). Este hecho sugiere que la isla podría ser el único volcán oceánico potencialmente activo con erupciones carbonatíticas. Los productos de estas erupciones consisten en escorias, lapilli, cenizas de caída y un flujo piroclástico.

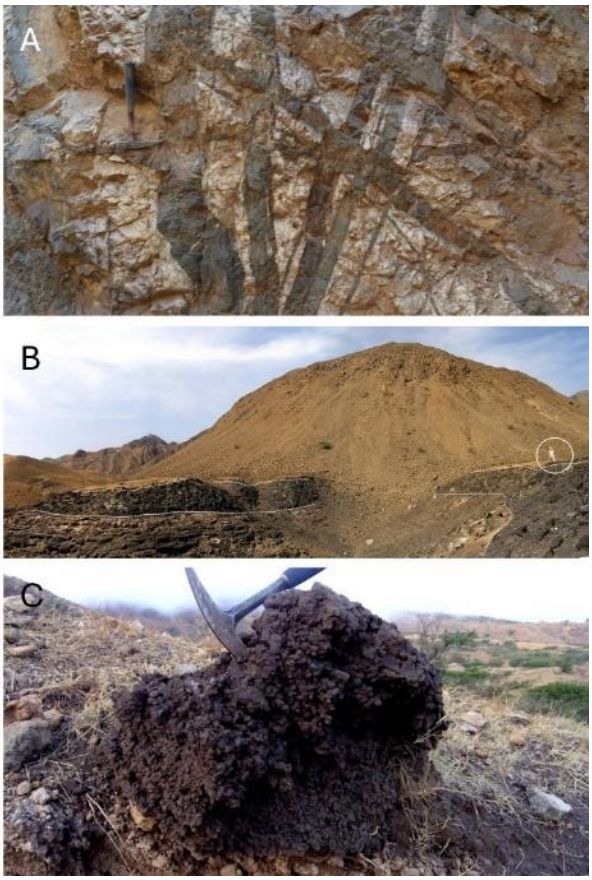


Fig. 17. Productos plutónicos y volcánicos de composición carbonatítica. **A**: carbonatitas calcíticas plutónicas cortadas por diques en la Ribeira do Pico, isla de Fogo; **B**: flujo de bloques y cenizas (ignimbrita) carbonatítico aflorando por bajo del domo del Morro das Pedras, en la isla Brava; **C**: depósito de aglutinado (*spatter)* carbonatítico en Cachaço, isla Brava.

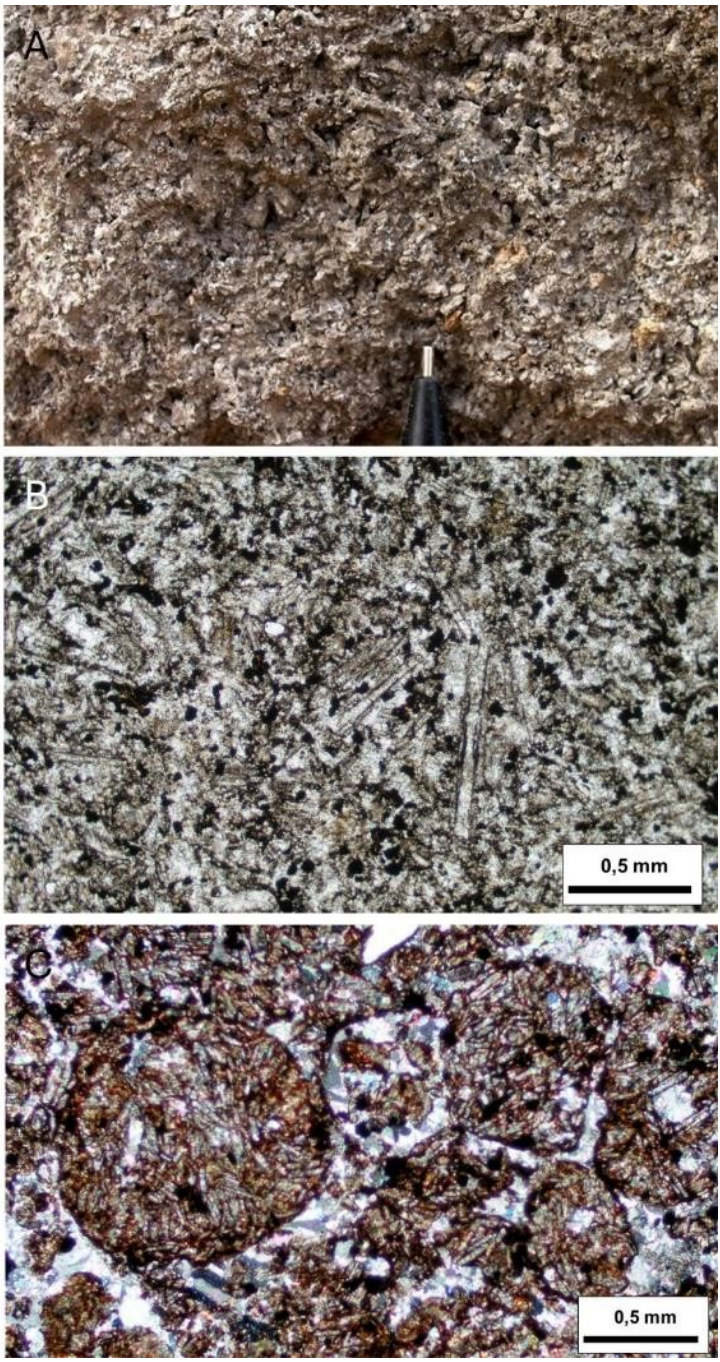


Fig. 18. Productos volcánicos de composición carbonatítica. **A**: toba de cristales de erupción holocénica carbonatítica, isla Brava; **B** y **C**: microfotografías de piroclastos carbonatíticos (**B** - toba de fenocristales de calcita; **C** – toba de lapilli vesiculado) en la isla Brava (tomado de Mourão *et al*., 2010).

Sedimentos y rocas sedimentarias

Las islas volcánicas no se componen únicamente de rocas ígneas. La erosión es constante, especialmente durante los periodos de menor actividad eruptiva, dando lugar a sedimentos y rocas sedimentarias. El principal proceso erosivo es la acción marina en el litoral de las islas, pero la erosión fluvial, la escorrentía difusa y el viento, también contribuyen significativamente. De este modo, se pueden encontrar sedimentos terrígenos y marinos, así como rocas sedimentarias. Otro proceso erosivo importante resulta de la inestabilidad gravitacional en regiones volcánicas con fuerte relieve, lo que ocasiona deslizamientos de distintos tamaños, desde pequeñas quebradas hasta grandes derrumbes de flancos, depositando los materiales deslizados en la base del relieve.

En Cabo Verde, la acción de la erosión marina se manifiesta en los sedimentos de playa actuales y por niveles de playas levantadas formadas en periodos interglaciares pasados. Los sedimentos de playa actuales suelen corresponder a gravas y arenas de playa, siendo estas últimas más abundantes en las islas más erosionadas. Las gravas están compuestas principalmente de rocas ígneas. Las arenas son predominantemente de origen volcánico, arenas negras formadas por granos de rocas volcánicas o minerales constituyentes de estas rocas, en las islas más recientes y con relieve pronunciado. En las islas más antiguas predominan las arenas claras, formadas principalmente por bioclastos, es decir, por fragmentos de conchas o de algas calcáreas (rodolitos).

Las islas de Sal, Boa Vista y Maio no solo cuentan con extensas playas de arena blanca, sino también con numerosos y extensos niveles de playas levantadas (Zazo *et al*., 2007; Ramalho *et al*., 2010). Las rocas sedimentarias que forman estas playas levantadas (Figs. 19A,B,C) corresponden a conglomerados y calcarenitas (areniscas bioclásticas) fosilíferos (Figs. 20A,B,C). Estos depósitos de rocas sedimentarias marinas son fundamentales para estudiar las faunas litorales de periodos anteriores al presente, para entender las condiciones climáticas durante dichos periodos y para deducir las migraciones faunísticas de organismos marinos durante las variaciones climáticas ocurridas cíclicamente durante el Cuaternario (últimos 2,6 Ma) en los archipiélagos (Reeb *et al*., 2024; Melo *et al*., 2026).

Debido a la acción constante de los vientos alisios, que soplan casi todo el año desde el noreste, la arena formada en las playas de las costas septentrionales de las islas es transportada por el viento a través del interior de las islas bajas, formando campos eólicos y eventualmente alimentando las playas de las costas de sotavento. Estos campos de dunas se pueden observar en las islas de Santo Antão (Fig. 21A), São Vicente y Sal, pero son especialmente importantes en las islas de Santa Luzia, Boa Vista (Fig. 21B) y Maio. Los antiguos campos de dunas pueden consolidarse dando lugar a

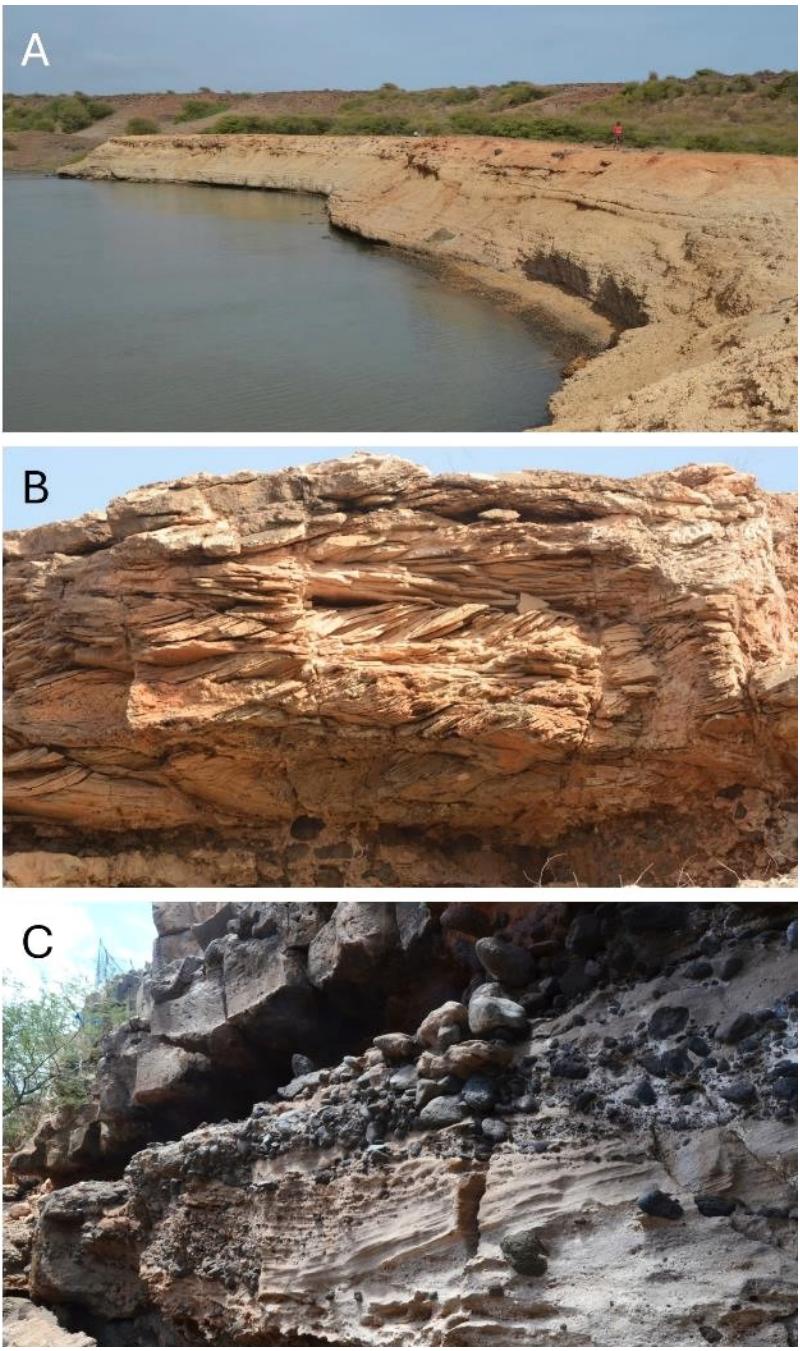


Fig. 19. Niveles de playas antiguas. **A**: depósitos de playa del MIS 11 (Marine Isotope Stage 11 - 374-424 mil años) en la Baía de Nossa Senhora da Luz, isla de Santiago; **B**: nivel de playa levantada de alta energía en Barreiro, isla de Maio; **C**: depósito de sedimentos de playa y de ribera cubiertos por colada lávica, isla de S. Nicolau.

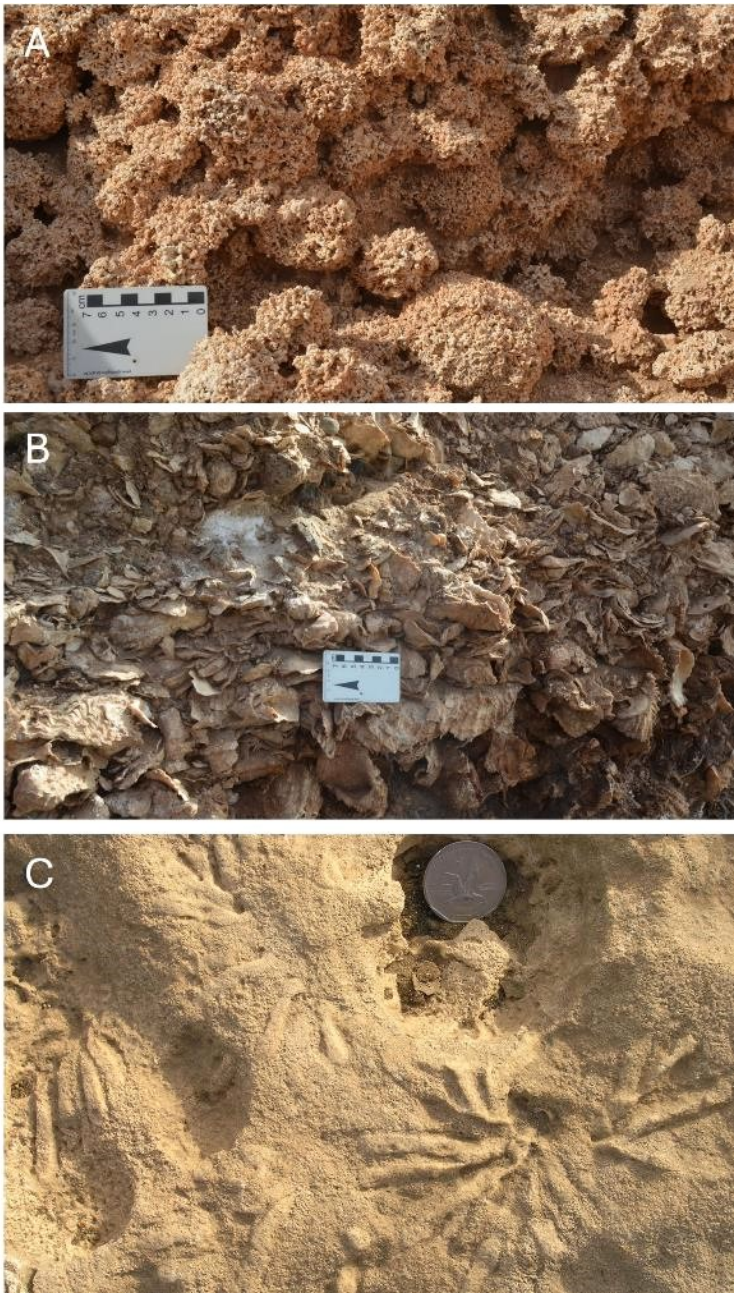


Fig. 20. Ejemplos de contenido fosilífero en depósitos de playa levantados. **A**: nivel de acumulación de rodolitos en la playa del MIS 11, Baía de Nossa Senhora da Luz, isla de Santiago; **B**: nivel de acumulación de ostras en la playa del MIS 11, Baía de Nossa Senhora da Luz, isla de Santiago; **C**: ejemplo de icnofósiles (icnogénero *Dactyloidites* atribuido a la actividad de un gusano poliqueto) en nivel de playa levantada de la isla de Maio.

dunas fósiles, presentando a menudo espectaculares campos de rizoconcreciones (Fig. 21C), estructuras calcificadas que corresponden a la consolidación de arenas alrededor de las raíces de la vegetación que fijó estas coberteras eólicas. Otro aspecto relacionado con la acción del viento es la formación de terrenos pedregosos, desiertos de tipo *reg*, en los que las partículas finas del suelo sufren deflación, dejando solo una superficie cubierta de cantos angulosos (Fig. 22A). Este aspecto es común en las zonas altas del sector suroeste de la isla de Santo Antão, que es muy árida debido a la pérdida total de humedad de los alisios en el sector de barlovento debido a la ascensión y precipitación orográfica.

Los sedimentos terrígenos más frecuentes corresponden a gravas y arenas fluviales actuales, las cuales al consolidarse dan lugar a conglomerados y areniscas de origen fluvial. Debido al régimen torrencial de las riberas de Cabo Verde, como resultado del clima semiárido, muchos de estos sedimentos forman abanicos aluviales. Las rocas sedimentarias terrígenas se encuentran no solo en la superficie, sino también intercaladas en secuencias volcánicas en diferentes posiciones de la estratigrafía de las islas.

Los barrancos, muy incisos, de la isla de Santo Antão presentan importantes y potentes rellenos sedimentarios de gravas que dan testimonio de las variaciones cíclicas del nivel del mar. Los valles excavados en el sustrato volcánico tienen su fondo por debajo del nivel actual del mar, lo que demuestra que fueron excavados durante períodos glaciares, cuando el nivel del mar era más bajo. Con el calentamiento global durante los períodos interglaciares y la consiguiente subida del nivel del mar, estos valles se rellenaron con sedimentos fluviales. La elevación de la isla y las posteriores variaciones del nivel de base (o nivel del mar, respecto del cual los ríos producen erosión) provocaron que los cursos de agua se encajaran en los propios sedimentos, creando gargantas estrechas y profundas y espectaculares terrazas de agradación (Fig. 22B).

Otro tipo de sedimento fluvial en terrenos volcánicos son los *lahares*. *Lahar* es un término indonesio para los flujos de fango y bloques rocosos producidos en terrenos volcánicos, asociados o no a erupciones. Estos catastróficos flujos resultan del relieve abrupto que presentan los edificios volcánicos y la gran cantidad de partículas sueltas de todos los tamaños que son fácilmente transportadas por la escorrentía superficial. Esta puede ser el resultado de la fusión de nieve durante una erupción, la ruptura de lagos volcánicos o simplemente de la precipitación orográfica. En Cabo Verde, se encuentran antiguos depósitos de *lahares* intercalados en secuencias volcánicas, como en la isla de São Nicolau, o *lahares* recientes y actuales, como en la isla de Fogo. Todo el sector al este del Pico do Fogo, con su pronunciada pendiente (~30°), está cubierto por numerosos depósitos de *lahar*, por lo que no hay asentamientos en esta área (Fig. 22C).

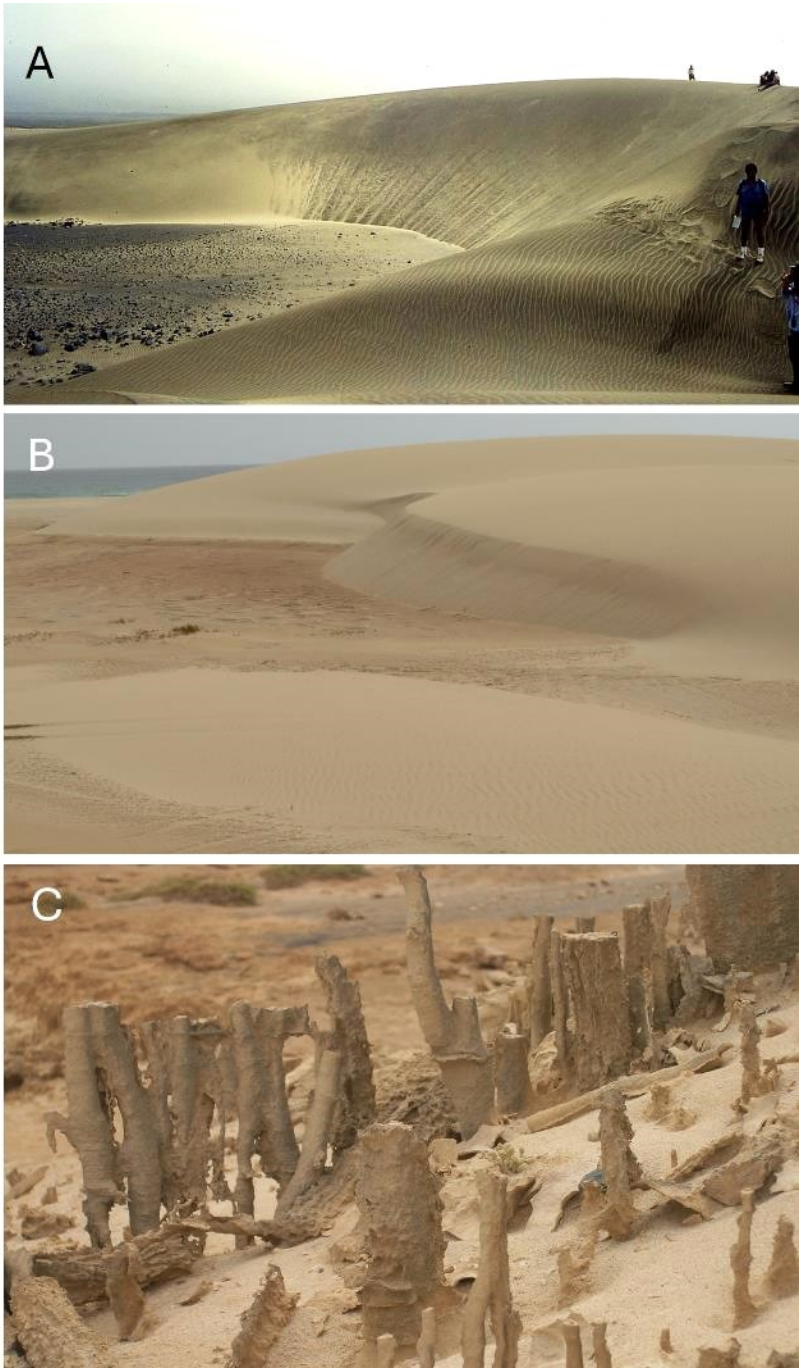


Fig. 21. Imágenes de campos dunares en Cabo Verde. **A**: duna de tipo barján en el litoral sureste de la isla de Santo Antão; **B**: campo de dunas en el sur de la isla de Boavista; **C**: rizoconcreciones en duna fósil en la isla de Maio.

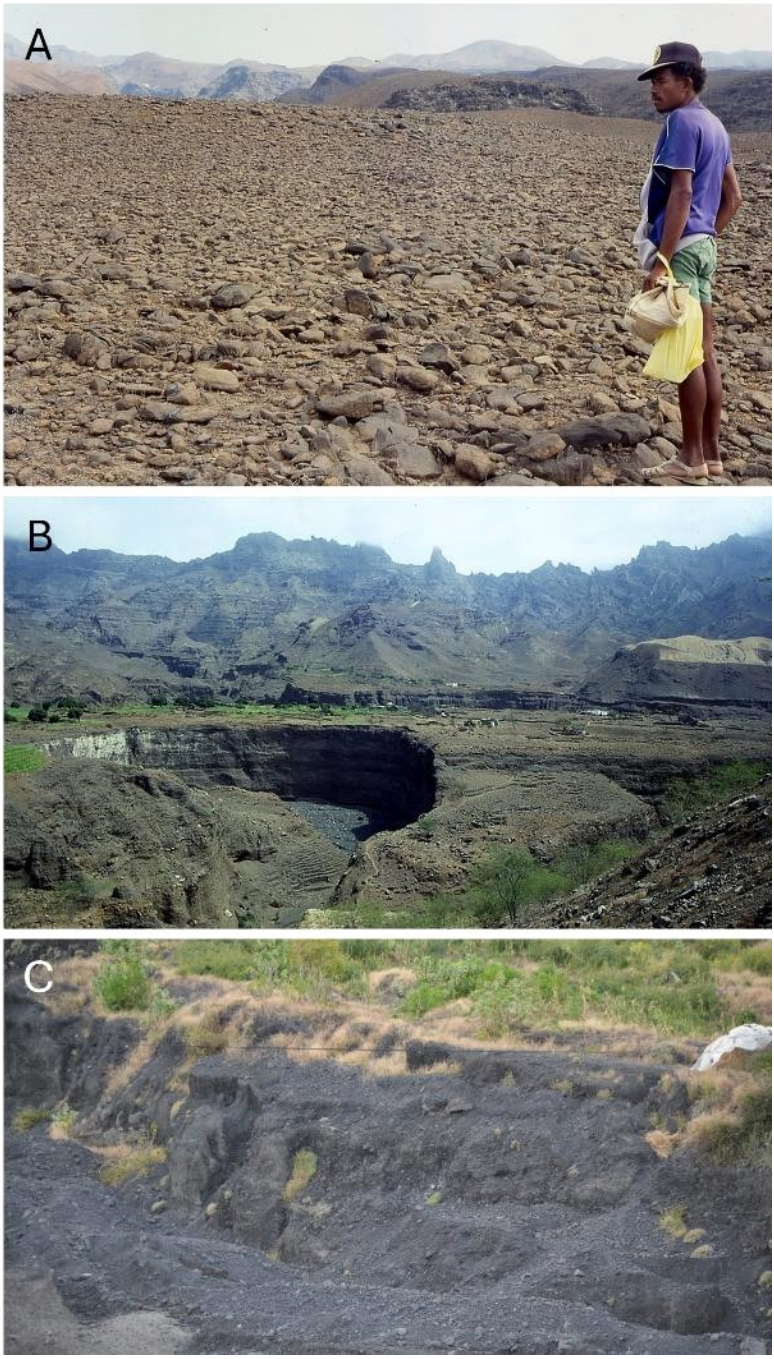


Fig. 22. Imágenes de sedimentos terrígenos. **A**: suelo pedregoso de tipo *reg* por deflación eólica en la meseta sur de Santo Antão; **B**: terrazas fluviales de agradación en Ribeira das Patas, isla de Santo Antão; **C**: depósitos de lahar actuales en la vertiente oriental de la isla de Fogo.

Los depósitos de deslizamiento son comunes, por ejemplo, en la isla Brava, ya sea en los altos acantilados costeros o en el interior de valles profundos. Algunos, donde el bloque deslizante no se desintegró, forman sectores planos en la ladera de los valles. Un ejemplo curioso se da en la isla de São Vicente, donde un depósito de piroclastos freatomagmáticos, probablemente no consolidado y plástico, se deslizó, dando lugar a un afloramiento bien estratificado, intensamente deformado por pliegues y fallas (Fig. 23A).

Otro tipo de depósitos no volcánicos son el resultado de la precipitación química de carbonatos, asociada a manantiales de alta mineralización. Se conocen ejemplos de travertinos en la isla de Santo Antão, en la Ribeira da Água Amargosa, pero son más abundantes en la isla Brava, sin duda relacionados con la presencia de rocas carbonatíticas en profundidad (Fig. 23B). Estos manantiales también son muy ricos en flúor, superando varias veces el valor máximo permitido por la Organización Mundial de la Salud. Como resultado, existe una prevalencia significativa de casos de fluorosis en la población de Brava (Fig. 23C), lo que constituye un grave problema de salud pública (Lopes *et al*., 2022).

Otro tipo de depósito sedimentario son las tsunamitas, sedimentos resultantes de inundaciones originadas por tsunamis. En las islas oceánicas, los tsunamis son principalmente el resultado de derrumbes de flancos de edificios volcánicos que, a medida que crecen, se tornan inherentemente inestables. Cuando grandes volúmenes de material rocoso entran al mar rápidamente, desencadenan grandes olas que alcanzan la costa de la propia isla y las de islas vecinas. Este proceso se conoce desde que los primeros trabajos publicados en la década de 1980 del siglo pasado revelaron la existencia de sedimentos marinos fosilíferos a altitudes superiores a 300 m en la isla de Lanai en Hawái (Moore & Moore, 1984), que se atribuyeron a una ola gigante desencadenada por un deslizamiento del flanco submarino de la isla. Posteriormente, desde principios de este siglo, el descubrimiento de depósitos similares en varios archipiélagos reveló que este tipo de evento es bastante frecuente en los archipiélagos volcánicos. En Cabo Verde, los primeros depósitos de tsunami fueron identificados en el área de Tarrafal, en la isla de Santiago, por Paris *et al*. (2011). Posteriormente, se reconocieron muchos otros afloramientos de depósitos de tsunami en la isla de Santiago (Ramalho *et al*., 2015; Fig. 24A), en la isla de Maio (Madeira *et al*., 2020; Fig. 24B), y en las de Boa Vista (Fig. 24C) y Sal, muchos de los cuales aún se encuentran en estudio. Otro aspecto importante revelado por estos trabajos es que no solo se produjo una, sino múltiples inundaciones tsunamigénicas en las islas de Santiago y Maio, como también se había reconocido en el valle de Agaete en Gran Canaria (Paris *et al*., 2018) tras la publicación del importante trabajo de Pérez-Torrado *et al*. (2006). En Santiago, hay evidencia de al menos tres tsunamis, uno de los cuales está asociado al colapso del

flanco de la isla de Fogo, y cuatro en la isla de Maio: uno asociado con el colapso de Fogo (hace 70 000 a 80 000 años), dos más antiguos atribuidos a colapsos de la isla de Santo Antão (479-390 ka y 360-304 ka), y un cuarto, más reciente y muy localizado, probablemente resultante de un pequeño deslizamiento submarino en la propia isla (Madeira *et al*., 2020). La datación de estos eventos muestra que su frecuencia es de alrededor de cien mil años.

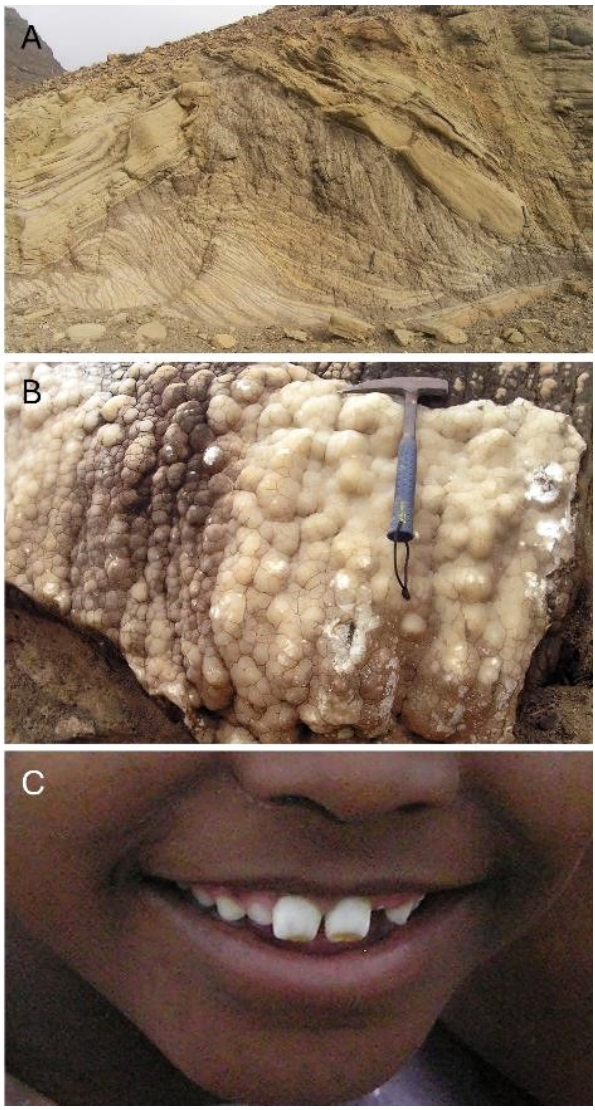


Fig. 23. A: depósito de deslizamiento de piroclastos freato-magmáticos intensamente deformados, carretera de Monte Verde, isla de S. Vicente; **B**: depósito de travertino asociado a manantiales muy mineralizados, Sorno, isla Brava; **C**: niño con evidencias de fluorosis en los dientes por exceso de flúor en el agua subterránea de la isla Brava.

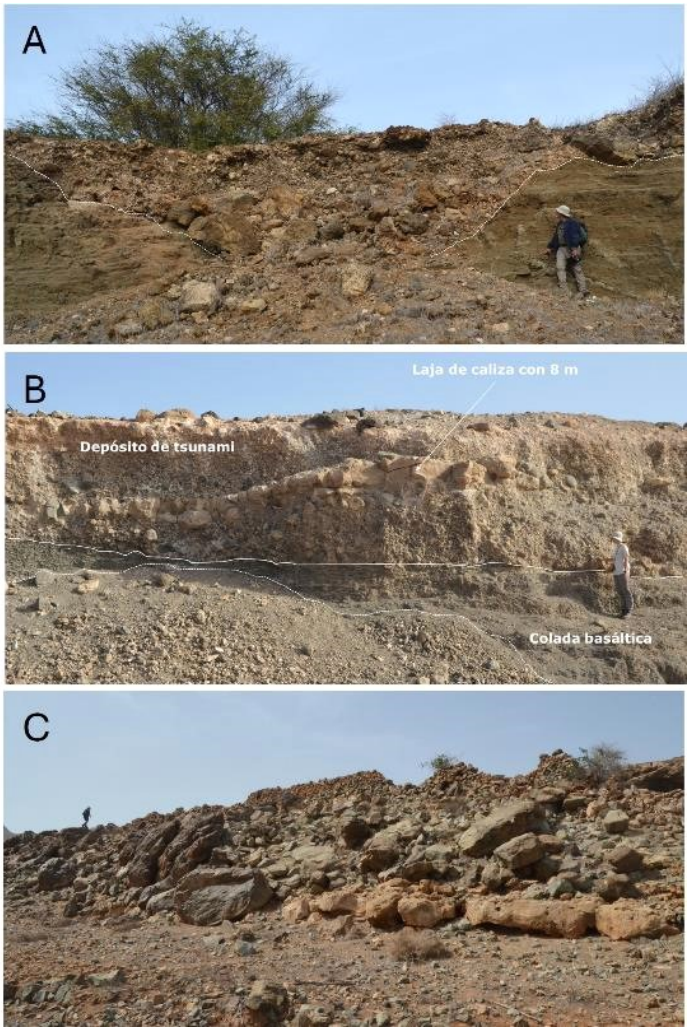


Fig. 24. Ejemplos de depósitos de tsunami en Cabo Verde. **A**: barranquera rellena por depósito de tsunami en el litoral norte de la isla de Santiago; nótese la gradación normal bien desarrollada y la base erosiva en tobas carbonatíticas; **B**: depósito de tsunami a 65 m por encima del mar y a 4 km del litoral en la isla de Maio; la laja de roca calcárea con 8 m de largo fue erosionada de los afloramientos del Cretácico y englobada en el depósito; **C**: depósito de conglomerado caótico de tsunami sobre nivel de playa levantada (nivel claro en la base) en la isla de Boavista; nótese la imbricación de los grandes bloques de fonolita.

Otro aspecto fundamental es la escala de estas inundaciones resultantes de grandes olas, que pueden tener amplitudes iniciales (en la fuente) de hasta 400 m), como había sido propuesto en la modelación numérica de un teórico colapso de la isla de La Palma (Ward & Day, 2001).

Estos depósitos se distinguen de los sedimentos de playa elevados por cubrir pendientes pronunciadas hasta altitudes muy superiores a los niveles del mar anteriores (incluso considerando el levantamiento de islas) y por penetrar varios kilómetros tierra adentro. Desde un punto de vista sedimentológico, estas tsunamitas a menudo corresponden a conglomerados con una estructura caótica, que abarca bloques de roca angulosos o redondeados en una matriz de arena marina (frecuentemente biogénica); los depósitos también pueden corresponder a capas de arena marina, muchas veces con una estructura de flujo laminar, que pueden contener bloques de roca en suspensión. El contenido fósil es generalmente abundante y consiste principalmente en fósiles de organismos marinos (Fig. 25A), pero también puede incluir fósiles terrestres. La base de las tsunamitas es erosiva del sustrato sobre el que se depositaron, ya sea un sustrato rocoso coherente o un sustrato friable (suelo, sedimentos eólicos, abanicos aluviales o sedimentos lagunares). Una de las pruebas más claras de la naturaleza de estos conglomerados es la presencia de fragmentos de material de sustrato friable incrustados dentro del conglomerado (*rip up clasts*; Fig. 25B), lo cual solo es posible mediante un rápido transporte en masa. La capacidad erosiva de los tsunamis también se demuestra por la inyección de sedimentos en el sustrato (Fig. 25C), incluso cuando este está formado por roca coherente, como coladas de lava o rocas sedimentarias compactas. Cada depósito de tsunami puede corresponder a varios niveles que representan las distintas olas de un tsunami. Generalmente se reconocen estructuras direccionales que indican la dirección de la inundación (paleocorrientes) y pueden mostrar influjo o reflujo. Uno de estos criterios es la presencia de bloques imbricados, pero existen varios otros (véase Madeira *et al*., 2020).

La formidable capacidad de estas inundaciones se ilustra con el transporte de enormes bloques que pueden alcanzar mil toneladas, como se verificó en dos campos de bloques transportados por tsunamis en la isla de Santiago (Ramalho *et al*., 2015).

Tectónica

Aunque la mayoría de los archipiélagos volcánicos se ubican en contextos geodinámicos intraplaca y, por lo tanto, lejos de los límites de placas con tectónica activa, aún pueden presentarse estructuras tectónicas en las islas. Estas están ciertamente relacionadas con procesos volcánicos, constituyendo así estructuras volcano-tectónicas. Además de pequeñas fallas resultantes de procesos gravitacionales, en Cabo Verde se encuentran importantes estructuras a escala insular. Este es el caso del sistema de fallas en la vertiente noroeste de la isla de Fogo, donde destaca el escarpe de falla de Galinheiros, de aproximadamente 100 m de altura. Sin embargo, el sistema tectónico más significativo es el que afecta a la isla Brava (Madeira

et al., 2010). La isla está atravesada por una fosa tectónica (*graben*) orientada en dirección NO-SE y formada por las fallas de Vigia (Fig. 26A) y Cachaço. Estas fallas tienen una gran expresión topográfica en forma de escarpes de falla con alturas decamétricas (Fig. 26B), que evidencian ruptura superficial reciente.

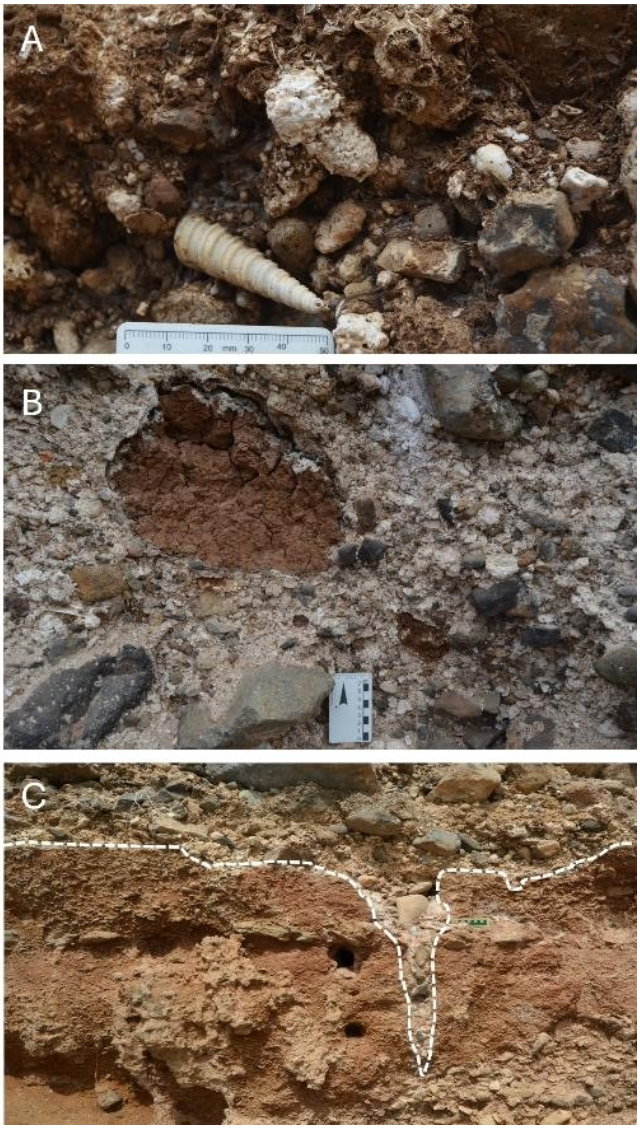


Fig. 25. Otros aspectos de los depósitos de tsunami en Cabo Verde. **A**: contenido fosilífero (gasterópodos, rodolitos, corales) de depósito de tsunami en el litoral norte de la isla de Santiago; **B**: *rip-up clast* de suelo incorporado en depósito de tsunami en Tarrafal, isla de Santiago; **C**: estructura de inyección de sedimento de tsunami en paleosuelo, isla de Santiago.

Otra estructura importante es la falla de Minhoto (Fig. 26C), que corta la isla en dirección NE-SO y separa las dos unidades estratigráficas más antiguas (la unidad inferior de la fase de monte submarino al NO y el complejo de cámaras magmáticas exhumadas al SE). Además, condiciona la presencia de importantes acuíferos al NO de la falla, mientras que al SE el agua subterránea es escasa. Este hecho explica que exista una significativa actividad volcánica freatomagmática al NO de la falla, mientras que está prácticamente ausente al SE de la misma. Además de estas fallas principales, existen otras asociadas con un sistema E-O en la zona de Sorno.

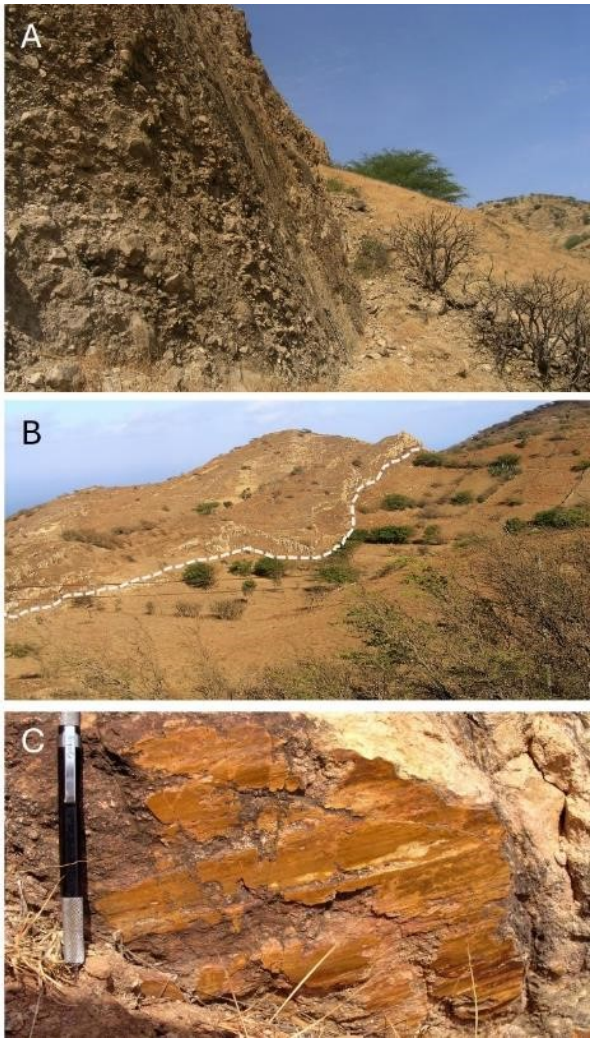


Fig. 26. Aspectos de la tectónica de la isla Brava. **A**: escarpe de la falla de Vigia; **B**: escarpe de la falla de Morro do Vento; **C**: plano de falla con estrías de movimiento de la falla de Minhoto.

Conclusiones

Los archipiélagos oceánicos son fantásticos repositorios de geodiversidad, un verdadero tesoro geológico. La geología del archipiélago de Cabo Verde no es una excepción. Su diversidad geológica se remonta a los inicios de la apertura del Atlántico, representada por fragmentos de secuencias de fondo oceánico que datan de aproximadamente 140 millones de años, hasta los productos volcánicos de las erupciones más recientes en la isla de Fogo. Su morfología representa millones de años de evolución, desde la emergencia de montes submarinos que dieron origen a las islas, hasta su destrucción casi total por la acción de procesos erosivos marinos y subaéreos. Los productos volcánicos expuestos en la superficie representan erupciones de estilos muy diversos y composiciones variadas, incluyendo rocas de composición extremadamente rara, como carbonatitas plutónicas y extrusivas. Los afloramientos de estos productos merecen ser clasificados como monumentos geológicos debido a su extrema rareza a la escala mundial.

Las rocas sedimentarias encontradas en estas islas, especialmente las de origen marino, son testigos fundamentales para comprender las faunas costeras de tiempos pasados. Su estudio nos permite deducir aspectos relacionados con la evolución y extinción de especies marinas y sus migraciones, asociadas a las variaciones climáticas cíclicas ocurridas durante el Cuaternario. Estas variaciones climáticas pasadas nos permiten estimar lo que ocurrirá como resultado del cambio climático actual.

Los abundantes depósitos de tsunamis que se encuentran en el archipiélago, algunos depositados durante periodos glaciares, constituyen una fuente excepcional de información para estudiar la fauna de los periodos de clima frío, ya que los sedimentos formados durante estos periodos glaciares se encuentran actualmente por debajo del nivel del mar o han sido erosionados durante la posterior subida del nivel del mar.

El presente artículo es una síntesis de la conferencia que impartimos en el Instituto de Estudios Hispánicos de Canarias en noviembre de 2025, dentro del programa de la XXI Semana Científica Telesforo Bravo diseñada con el propósito de divulgar y poner en valor el Patrimonio Geológico (Afonso-Carrillo, 2026).

Bibliografía

AFONSO-CARRILLO, J. (Ed.) (2026). *Patrimonio Geológico. La memoria de la Tierra*. XXI Semana Científica Telesforo Bravo, Instituto de Estudios Hispánicos de Canarias, Puerto de la Cruz.

ÁVILA, S.P., R. PARIS, R.S. RAMALHO, C.S. MELO, E. MARTÍN GONZÁLEZ, E. ROLÁN, P. MADEIRA, G.C. ÁVILA, J.M. PORTEIRO, A.M. MEDEIROS, F. NAUGHTON, F. ABRANTES, G.M. MARTINS, M. JOHNSON & J. MADEIRA (2025). Megatsunami

deposits and range expansion of cold-temperate marine species towards the tropics in glacial times. *Frontiers of Biogeography* 18: e138319. https://doi.org/10.21425/fob.18.138319

AZEMA, J., E. FOURCADE & P. DE WEVER (1990). Découverte de Valanginien inférieur à Calpionelles à Maio (République du Cap Vert): discussion de l'âge des sédiments associés aux laves de type MORB de ce secteur de l'Atlantique Central. *Comptes Rendues de l'Academie de Sciences de Paris* 310: 277-283.

BAGNARDI, M., P.J. GONZALEZ & A. HOOPER (2016). High-resolution digital elevation model from tri-stereo Pleiades-1 satellite imagery for lava flow volume estimates at Fogo volcano: tri-stereo Pleiades DEM of Fogo volcano. *Geophysical Research Letters* 43: 6267-6275. https://doi.org/10.1002/2016GL069457.

CAPPELLO, A., G. GANCI, S. CALVARI, N.M. PEREZ, P.A. HERNANDEZ, S.V. SILVA, J. CABRAL & C. DEL NEGRO (2016). Lava flow hazard modeling during the 2014-2015 Fogo eruption, Cape Verde. *Journal of Geophysical Research*, Solid Earth 121: 1-14. https://doi.org/10.1002/2015JB012666

CASSON, M., L.G. BULOT, J. JEREMIAH & J. REDFERN (2020). Deep sea rock record exhumed on oceanic volcanic islands: the Cretaceous sediments of Maio, Cape Verde. *Gondwana Research* 81: 252-264. https://doi.org/10.1016/j.gr.2019.11.007

COURTNEY, R.C. & R.S. WHITE (1986). Anomalous heat-flow and geoid across the Cape-Verde Rise – evidence for dynamic support from a thermal plume in the mantle. *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society* 87: 815-867. https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1986.tb01973.x.

DASH, B.P., M.M. BALL, G.A. KING, L.W. BUTLER & P.A. RONA (1976). Geophysical investigation of the Cape Verde archipelago. *Journal of Geophysical Research* 81: 5249-5259. https://doi.org/10.1029/JB081i029p05249

DAY, S.J., S.I.N. HELENO DA SILVA & J.F.B.D. FONSECA (1999). A past giant lateral collapse and present-day flank instability of Fogo, Cape Verde Islands. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 94(1-4): 191-218. https://doi.org/10.1016/S0377-0273(99)00103-1

FOURCADE, E., J. AZEMA, P. DE WEVER & B. ROBERT (1990). Contribution à la datation de la croûte océanique de l'Atlantique central: age valanginien inférieur des basaltes océaniques et âge néocomien des calcaires Maiolica de Maio (Iles du Cap Vert). *Marine Geology* 95(1): 31-44. https://doi.org/10.1016/0025-3227(90)90018-F

GERLACH, D., R. CLIFF, G. DAVIES, M. NORRY & N. HODGSON (1988). Magma sources of the Cape Verde Archipelago: isotopic and trace element constraints. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 52(12): 2979-2992. https://doi.org/10.1016/0016-7037(88)90162-7

GONZÁLEZ, P.J., M. BAGNARDI, A.J. HOOPER, Y. LARSEN, P. MARINKOVIC, S.V. SAMSONOV & T.J. WRIGHT (2015). The 2014-2015 eruption of Fogo volcano: geodetic modeling of Sentinel-1 TOPS interferometry. *Geophysical Research Letters* 42: 9239-9246. http://doi.org/10.1002/2015GL066003

HAYES, D. & P. RABINOWITZ (1975). Mesozoic magnetic lineations and the magnetic quiet zone off northwest Africa. *Earth and Planetary Science Letters* 28: 105-115. http://doi.org/10.1016/0012- 821X(75)90217-4

HELFFRICH, G., B. FARIA, J.F.B.D. FONSECA, A. LODGE & S. KANESHIMA (2010). Transition zone structure under a stationary hot spot: Cape Verde, Earth and Planetary Science Letters 289: 156-161. https://doi.org/10.1016/j.epsl.2009.11.001

HOLM, P.M., T. GRANDVUINET, J. FRIIS, J.R. WILSON, A.K. BARKER & S. PLESNER (2008). An ^{40}Ar-^{39}Ar study of the Cape Verde hot spot: temporal evolution in a semistationary plate environment. *Journal of Geophysical Research* 113: B08201. https://doi.org/10.1029/2007JB005339.

LOPES, D., S. BARBOSA, N. CRUZ-PÉREZ, A. GARCÍA-GIL, M.A. MARAZUELA, J.S. RODRÍGUEZ-ALCÁNTARA & J.C. SANTAMARTA (2022). Excess of naturally occurring fluoride in groundwater discharge in Macaronesia: Brava Island, Cape Verde. *Water* 14: 3421. https://doi.org/10.3390/w14213421

MADEIRA, J. & A. RIBEIRO (1990). Geodynamic models for the Azores triple junction: a contribution from tectonics. *Tectonophysics* 184(3-4): 405-415. https://doi.org/10.1016/0040-1951(90)90452-E

MADEIRA, J., A. BRUM DA SILVEIRA, J. MATA, C. MOURÃO & S. MARTINS (2008). The role of mass movements on the geomorphologic evolution of ocean islands: examples from Fogo and Brava in the Cape Verde archipelago. *Comunicações Geológicas* 95: 99-112.

MADEIRA, J., J. MATA, C. MOURÃO, A. BRUM DA SILVEIRA, S. MARTINS, R. RAMALHO & D. HOFFMANN (2010). Volcano-stratigraphic and structural evolution of Brava Island (Cape Verde) based on $^{40}Ar/^{39}Ar$, U/Th and field constraints. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 196: 219-235. https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2010.07.010

MADEIRA, J., R. RAMALHO, D.L. HOFFMANN, J. MATA & M. MOREIRA (2020). A geological record of multiple Pleistocene tsunami inundations in an oceanic island: the case of Maio, Cape Verde. *Sedimentology* 67(3): 1529-1552. https://doi.org/10.1111/sed.12612

MARTÍNEZ-MORENO, F.J., F.A. MONTEIRO-SANTOS, J. MADEIRA, J. POUS, I. BERNARDO, A. SOARES, M. ESTEVES, F. ADÃO, J. RIBEIRO, A. BRUM DA SILVEIRA & J. MATA (2018). Investigating the collapse structures of Fogo Island (Cape Verde) by a magnetotelluric survey. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 357: 152-162. https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2018.04.028

MATA, J., S. MARTINS, N. MATTIELLI, J. MADEIRA, B. FARIA, P. SILVA, M. MOREIRA, R. CALDEIRA, M. MOREIRA, R. RAMALHO, J. RODRIGUES & L. MARTINS (2017). The 2014-15 eruption and the short-term geochemical evolution of the Fogo volcano (Cape Verde): evidence for small-scale mantle heterogeneity. *Lithos* 288-289: 91-107. https://doi.org/10.1016/j.lithos.2017.07.001

MELO, C.S., J. MADEIRA, R.S. RAMALHO, A.C. REBELO, M.W. RASSER, E.M. GONZÁLEZ, A. UCHMAN, P. MADEIRA, E. ROLÁN, L. SILVA, C.M. DA SILVA, J.A. STEWART, L.F. ROBINSON, D.D. RYAN, A. ROVERE, A. VOELKER, M. CACHÃO & S.P. ÁVILA (2026). Sedimentary facies and invertebrate faunal exchange in the tropical eastern Atlantic indicate humid conditions during Marine Isotopic Stage (MIS) 11c interglacial. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 684: 113505. https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2025.113505

MITCHELL, J.G., M.J. LE BAS, J. ZIELONKA & H. FURNES (1983). On dating the magmatism of Maio, Cape Verde Islands. *Earth and Planetary Science Letters* 64: 61-76. https://doi.org/10.1016/0012-821X(83)90053-5

MOORE, J.G. & G.W. MOORE (1984). Deposit from a giant wave on the island of Lanai, Hawaii. *Science* 226: 1312-15. https://doi.org/10.1126/science.226.4680.1312

MOREIRA, M., J. MATA, J. MADEIRA, P. REPRESAS & S. MARTINS (2025). Magnetic and geochemical characterization of dikes from the Island of Maio, Cabo Verde archipelago: age dependent variation of the magnetic fabric and implications for the volcanic structure. *Geophysical Journal International* 243(1): 1-24. https://doi.org/10.1093/gji/ggaf293

MOURÃO, C., J. MATA, R. DOUCELANCE, J. MADEIRA, A. BRUM DA SILVEIRA, L.C. SILVA & M. MOREIRA (2010). Quaternary extrusive calcio-carbonatite volcanism in Brava Island (Cape Verde): A nephelinite-carbonatite immiscibility product. *Journal of African Earth Sciences* 56: 59-74. https://doi.org/10.1016/j.afrearsci.2009.06.003

MUNHÁ, J., R. CALDEIRA, J. MADEIRA, J. MATA & R. AFONSO (2007). Geologia da Ilha de S. Tomé: Notícia explicativa da Carta Geológica na escala 1:25000. Edición del Instituto Português de Apoio ao Desenvolvimento (Cooperação Portuguesa): 41 pp.

PAEPE, P.D., J. KLERKX, J. HERTOGEN & P. PLINKE (1974). Oceanic tholeiites on the Cape Verde Islands: petrochemical and geochemical evidence. *Earth and Planetary Science Letters* 22: 347-354. https://doi.org/10.1016/0012-821X(74)90144-7

PARIS, R., T. GIACHETTI, J. CHEVALIER, H. GUILLOU & N. Frank (2011). Tsunami deposits in Santiago Island (Cape Verde archipelago) as possible evidence of a massive flank failure of Fogos volcano. *Sedimentary Geology* 239(3-4): 129-145. https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2011.06.006

PARIS, R., R.S. RAMALHO, J. MADEIRA, S.P. ÁVILA, S.M. MAY, G. RIXHON, M. ENGEL, H. BRÜCKNER, M. HERZOG, G. SCHUKRAFT, F.J. PÉREZ TORRADO, A. RODRÍGUEZ GONZÁLES, J.C. CARRACEDO & T. GIACHETTI (2018). Megatsunami conglomerates and flank collapses of ocean island volcanoes. *Marine Geology* 395: 168-187. https://doi.org/ 10.1016/j.margeo.2017.10.004

PÉREZ-TORRADO, F.J., R. PARIS, M.C. CABRERA, J.-L. SCHNEIDER, P. WASSMER, J.C. CARRACEDO, Á. RODRÍGUEZ-SANTANA & F. SANTANA (2006). Tsunami deposits related to flank collapse in oceanic volcanoes: The Agaete Valley evidence, Gran Canaria, Canary Islands. Marine *Geology* 227(1-2): 135-149. https://doi.org/10.1016/j.margeo.2005.11.008

PIM, J., C. PEIRCE, A.B. WATTS, I. GREVEMEYER & A. KRABBENHOEFT (2008). Crustal structure and origin of the Cape Verde Rise. *Earth and Planetary Science Letters* 272: 422–428. https://doi.org/10.1016/j.epsl.2008.05.012

RAMALHO, R., G. HELFFRICH, D. SCHMIDT & D. VANCE (2010). Tracers of uplift and subsidence in the Cape Verde Archipelago. *Journal of the Geological Society* 167(3): 519–538. https://doi.org/10.1144/0016-76492009-056

RAMALHO, R.A.S. (2011). Building the Cape Verde Islands. Springer Thesis, Springer Verlag, Heidelberg, 210 pp. https://doi.org/10.1007/978-3-642-19103-9

RAMALHO, R.S., G. WINCKLER, J. MADEIRA, G.R. HELFFRICH, A.R. HIPÓLITO, R. QUARTAU, K. ADENA & J.M. SCHAEFER (2015). Hazard potential of volcanic flank collapses raised by new megatsunami evidence. *Science Advances* 1: e1500456. https://doi.org/10.1126/sciadv.1500456

REEB, A.-S., A.C. REBELO, R.S. RAMALHO, J. MADEIRA & M.W. RASSER (2024). Systematics and Paleobiogeography of Quaternary Corals from Cabo Verde Archipelago. *Quaternary Research* 121: 94-108. https://doi.org/10.1017/qua.2024.20

REPRESAS, P., J. CATALÃO, F.G. MONTESINOS, J. MADEIRA, J. MATA, C. ANTUNES & M. MOREIRA (2012). Constraints on the structure of Maio Island (Cape Verde) by a 3D gravity model: imaging partially exhumed magma chambers. *Geophysical Journal International* 190(2): 931-940. https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2012.05536.x

RIBEIRO, O. (1954). A ilha do Fogo e as suas erupções. *Memórias da Junta de Investigações do Ultramar*, Série Geográfica I, Lisboa, 319 pp.

RICHTER, N., M. FAVALLI, E.Z. DALFSEN, A. FORNACIAI, R.M.S. FERNANDES, N.P. RODRIGUEZ, J. LEVY, S.S. VICTÓRIA & T.R. WALTER (2016). Lava flow hazard at Fogo volcano, Cape Verde, before and after the 2014–2015 eruption. *Natural Hazards and Earth Systems* 16(8): 1925-1951. https://doi.org/10.5194/nhess-16-1925-2016

SAMROCK, L.K., T.H. HANSTEEN, W.C. DULLO & J.A. WARTHO (2022). Internal igneous growth, doming and rapid erosion of a mature ocean island: the Miocene evolution of Maio (Cabo Verde). *International Journal of Earth Sciences* 111: 1129-1148. https://doi.org/10.1007/s00531-022-02160-x

SERRALHEIRO, A. (1976). A geologia da ilha de Santiago (Cabo Verde). *Boletim do Museu e Laboratório Mineralógico e Geológico da Faculdade de Ciências de Lisboa* 14: 157-369.

SILVA, L., M.J. LE BAS & A.H.F. ROBERTSON (1981). An oceanic carbonatite volcano on Santiago, Cape Verde Islands. *Nature* 294: 644-645. https://doi.org/10.1038/294644a0

STILLMAN, C.J., H. FURNES, M.J. LEBAS, A.H.F. ROBERTSON & J. ZIELONKA (1982). The geological history of Maio, Cape Verde Islands. *Journal of the Geological Society*139: 347-361. https://doi.org/10.1144/gsjgs.139.3.0347

TORRES, P. C., J. MADEIRA, L.C. SILVA, A. BRUM DA SILVEIRA, A. SERRALHEIRO & A. MOTA GOMES (1998). Carta geológica das erupções históricas da ilha do Fogo (Cabo Verde): revisão e actualização. *Comunicações do IGM* 84(1): A193-196.

TORRES, P.C., L.C. SILVA, A. SERRALHEIRO, C. TASSINARI & J. MUNHÁ (2002). Enquadramento geocronológico pelo método K/Ar das principais sequências Vulcano-estratigráficas da Ilha do Sal–Cabo Verde. *Garcia de Orta*, Série Geológica, 18: 9-13.

VILLASECA, C., D. OREJANA, M.J. HUERTAS, E. ANCOCHEA, C. DE IGNACIO, J. MATA, R. CALDEIRA, M. GARCÍA-RODRÍGUEZ, J.A. MORENO & C. PÉREZ-SOBA (2025). The old central igneous complexes of Sal, Boa Vista and Maio islands: implications for 17 Ma of isotopic evolution of the Cape Verde archipelago. *Lithos* 498-499: 107-975. https://doi.org/10.1016/j.lithos.2025.107975

VINNIK, L., G. SILVEIRA, S. KISELEV, V. FARRA, M. WEBER & E. STUTZMANN (2012). Cape Verde hotspot from the upper crust to the top of the lower mantle. Earth and Planetary Science Letters 319-320: 259-268. https://doi.org/10.1016/j.epsl.2011.12.017.

WARD, S.N. & S. DAY (2001). Cumbre Vieja Volcano—Potential collapse and tsunami at La Palma, Canary Islands. *Geophysical Research Letters* 28(17): 3397-3400. https://doi.org/10.1029/2001GL013110

WILSON, D.J., C. PEIRCE, A.B. WATTS, I. GREVEMEYER & A. KRABBENHOEFT (2010). Uplift at lithospheric swells-I: seismic and gravity constraints on the crust and uppermost mantle structure of the Cape Verde mid-plate swell. *Geophysical Journal International* 182: 531550. https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2010.04641.x

ZAZO, C., J.L. GOY, C.J. DABRIO, V. SOLER, C. HILLAIRE-MARCEL, B. GHALEB, J.A. GONZÁLEZ-DELGADO, T. BARDAJÍ & A. CABERO (2007). Quaternary marine terraces on Sal Island (Cape Verde archipelago). *Quaternary Science Revues* 26: 876-893. https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2006.12.014

5. Cien estrellas para la memoria de la Tierra

Asier Hilario

Geoparque Mundial de la UNESCO de la Costa Vasca,
Deba, Guipúzcoa.

[*Este capítulo es una transcripción de la conferencia que impartimos en el Instituto de Estudios Hispánicos de Canarias en noviembre de 2025, dentro de la Semana Científica organizada en homenaje al profesor Telesforo Bravo, con el propósito de divulgar y poner en valor el Patrimonio Geológico (Afonso-Carrillo, 2026)*].

Muchas gracias a Jaime Coello por su cálida presentación y a todos los presentes por su asistencia. Es un placer para mí. Yo a las palabras de Jaime añadiría simplemente que soy geólogo porque era un chaval al que le gustaban las montañas. Vengo del País Vasco y allí tenemos muchas montañas. Desde pequeño he tenido esa curiosidad de saber qué es lo que había detrás de ellas. Comprender la arquitectura de esas montañas. ¿Por qué están ahí? ¿Qué forma tienen? ¿Por qué son diferentes? Todo eso fue poco a poco lo que me llevó a estudiar Geología. Moverme de un lado a otro descubriendo paisajes. En los últimos años he tenido la suerte de estar implicado en el programa UNESCO de geoparques, que es un programa maravilloso. Y más recientemente, en la Unión Internacional de Ciencias Geológicas, como detallaré más adelante, coordinando un programa para dar reconocimiento a los lugares más importantes del patrimonio geológico. Son los lugares geológicos más valiosos del mundo, aquellos que han servido para construir nuestra ciencia, la Geología.

Me ha hecho mucha ilusión que los hermanos Jaime y Juan Coello, la Fundación Telesforo Bravo – Juan Coello, me llamaran para participar en estas jornadas. Conozco de manera tangencial la actividad científica de

Telesforo Bravo. Admiro a las personas que tienen esa capacidad de abrir camino. De ser pioneros en una materia determinada, visionarios en algún campo, y conseguir que después los demás podamos transitar por ellos de una manera más fácil. Pienso que Telesforo fue precisamente eso, un pionero en el estudio de la geología de esta isla y de tantas otras. Que nos las ha abierto para que otros muchos podamos disfrutar con esta ciencia tan bonita.

La Geología y la protección de la naturaleza

¿Qué puede decir un geólogo sobre la Geología? Que es una ciencia absolutamente necesaria, fundamental para el desarrollo de cualquier sociedad. Lo ha sido siempre. Lo fue en el pasado, lo sigue siendo hoy y lo seguirá siendo en el futuro. Y lo es por cuestiones básicas. Porque necesitamos saber qué es lo que tenemos, dónde está y de qué manera podemos utilizar esos recursos. Aquellas civilizaciones que iban conquistando y ocupando nuevos territorios, contaban con alguien, que se parecía a lo que es hoy un geólogo, que miraba el terreno con unos ojos diferentes, y era capaz de localizar los lugares dónde había recursos, determinando si éstos tenían interés o no.

La Geología ha sido, es y será una ciencia fundamental para el desarrollo de cualquier sociedad. Además del valor de tipo económico, relacionado con la extracción de estos recursos naturales, hay un valor añadido que tiene que ver más con la cultura, con el desarrollo intelectual, y que nos permite desarrollar un aprecio que va más allá de la explotación de los recursos. Cuando preguntamos acerca de la percepción que se tiene de la Geología, es frecuente que obtengamos una valoración baja. Y con respecto a los geólogos la gente en general no sabe exactamente en qué consiste su trabajo. De modo que debemos aceptar que hemos sabido vender muy mal nuestra profesión.

Sin embargo, esa percepción cambia cuando mostramos imágenes de lugares universalmente conocidos. Fotografías de grandes iconos turísticos, que son importantes destinos para el turismo y que atraen a muchos millones de personas al año. Son lugares que mueven muchísimo dinero, que generan una identidad, sustentan su desarrollo, y son el soporte de muchísimas otras cosas. Pero sobre todo se trata de grandes elementos geológicos. De manera que, ante la pregunta ¿te interesa la Geología?, es habitual que la respuesta no sea muy alentadora, pero cuando mostramos los destinos preferidos que la gente elige para visitar en sus vacaciones, o las imágenes que muchos países emplean para publicitar sus recursos turísticos, inmediatamente comprobamos que los protagonistas son elementos geológicos de gran belleza estética. Son iconos turísticos, son economía, son identidad, son cultura e historia, son bienestar, son conservación. En resumen, son Geología.

A pesar de todo esto, entre el colectivo de los geólogos ha dominado la percepción de que en general la Geología es un pilar que se ha tenido poco en cuenta a la hora de planificar la conservación de la naturaleza. En la elaboración de los planes de ordenación de los grupos naturales, habitualmente y hasta hace poco, los elementos geológicos han tenido muy poca consideración. Sin embargo, afortunadamente eso parece que está ahora cambiando. Resulta muy curioso, puesto que la Geología fue uno de los principales soportes con los que se inició a nivel mundial el principal movimiento de conservación de la naturaleza. Fueron algunos soberbios lugares geológicos los que cimentaron la creación de los primeros parques nacionales de Estados Unidos.

Voy a recordar una cita de John Muir (1838-1914), que fue uno de los ideólogos clásicos que comenzaron a desarrollar la idea de la necesidad de proteger espacios naturales. Lo que hoy en día nos parece muy natural, como leer, por ejemplo, que un país determinado tiene espacios naturales protegidos que ocupan un 20%, un 15%, o un 10% de su territorio, es un enfoque que tuvo su origen cuando, alguien en algún momento, se le ocurrió poner en práctica la idea de la protección. Alguien reconoció la fragilidad de la naturaleza frente a las actividades humanas, y defendió que había que limitar los usos que la sociedad estaba empezando a realizar en ella para salvaguardarla. Fue una idea en aquel momento revolucionaria, pero que hoy en día nos parece de lo más razonable y normal.

La protección de la naturaleza comenzó de una manera más o menos oficial, institucional y reglada, con la creación de los parques nacionales de Estados Unidos. La cita de John Muir, uno de sus de sus padres teóricos, en una traducción del inglés, es la siguiente:

> «Interpretaré las rocas, aprenderé el lenguaje de las inundaciones, las tormentas y las avalanchas. Me pondré en contacto con los glaciares y los jardines silvestres, me acercaré tanto como pueda al corazón de la Tierra».

En ella hay una apreciación clara de los elementos geológicos del paisaje. De hecho, en los primeros parques nacionales de Estados Unidos, Yellowstone (1872) y Yosemite (1890), la Geología, constituye el elemento con principal protagonismo. Muchos de los parques que se han declarado posteriormente, como por ejemplo el Gran Cañón (1919), o muchísimos otros, siguen manteniendo esa línea. Incluso en nuestro país, parques nacionales como Ordesa y Monte Perdido o Picos de Europa, aunque cuentan con elementos bióticos muy importantes, resulta muy evidente que el paisaje geológico, abrumador en ambos casos, es lo primero que te seduce.

De manera que realmente los elementos geológicos sí que están, pero sin embargo, no se han tenido en cuenta como se debería. Ha sido habitual su ausencia en los planes de manejo y de interpretación de la mayoría de los planes rectores de uso y gestión de estos espacios protegidos.

Afortunadamente, como he señalado antes, eso está cambiando. También creo que nosotros, el colectivo de geólogos, deberíamos hacer un poco de autocrítica. A las preguntas, ¿y por qué deberíamos de proteger algunos elementos geológicos?, o ¿por qué deberíamos darle un valor especial y destinar recursos públicos a protegerlos?» Hay varios motivos para defender una respuesta entusiastamente afirmativa. Pero el principal es porque los elementos geológicos, el patrimonio geológico, representa la historia de la Tierra. Constituye la memoria de la Tierra y nosotros necesitamos comprenderla bien para entender cómo funciona el sistema Tierra donde vivimos.

Vengo de un geoparque, el «Geoparque Mundial de la Unesco de la Costa Vasca», en el que es posible caminar por unos estratos de sedimentos magistralmente alineados, lo que significa que literalmente uno camina sobre líneas de estratos que difieren entre si unos 10 000 años. De manera que interpretar el lenguaje de las rocas es entender el «tiempo profundo», concepto geológico que describe la inmensa escala temporal de la historia de la Tierra, estimada en unos 4600 millones de años (Ma). El tiempo profundo me parece que es el concepto más importante que la Geología ha aportado la cultura moderna. Va mucho más allá que la pura geología, porque entender el significado del tiempo profundo es comprender que los paisajes cambian. Igual que las naciones van y vienen, los paisajes también van y vienen. La geografía cambia, los continentes cambian. Montañas, como por ejemplo las sierras subbéticas en Andalucía, están llenas de fósiles, porque hace unos millones de años eran el lecho de antiguos mares tropicales. Al final, todo es cuestión de tiempo. Debemos entender que vivimos en un planeta dinámico, muy cambiante.

En los elementos geológicos tenemos escrita la historia de la vida. Entender la historia de la vida es fundamental. Una pequeña huella fósil en las rocas del geoparque en el que trabajo, corresponde a una de las huellas más antiguas y enigmáticas que se conocen, el *Paleodyction*. La forman numerosos hexágonos perfectos y fue dejada por algún organismo o alguna colonia de organismos que se desarrolló hace 60 Ma en fondos marinos, a 1000 m de profundidad. ¿Qué tipo de organismo? ¿Qué tipo de colonia y por qué y para qué esa geometría hexagonal tan perfecta en un fondo marino sumido en la oscuridad? Bueno, en este caso se ha interpretado como una especie de trampa construida por tubos hexagonales tridimensionales en los que se producía crecimiento bacteriano. Estos animales generaban un ecosistema particular, que empleaban para alimentarse. Representa un ejemplo de mecanismos que la vida ha ido desarrollando para adaptarse a las condiciones, a veces muy difíciles, de algunos entornos.

Conocer la Geología también es fundamental para afrontar uno de los mayores retos que como sociedad vamos a tener que hacer frente en los próximos años: el cambio climático. Es absolutamente imprescindible tener

un buen conocimiento de cómo ha funcionado el clima a lo largo de la historia de la Tierra. Así, contemplar los valles de los Alpes italianos de las Dolomitas nos permite reconocer glaciares que ahora tienen entre 100 y 150 metros de espesor de hielo, pero no hace tanto tiempo, y para ello no hace falta ser un geomorfólogo especialista en glaciares, en esos valles los glaciares podían tener de 300 a 500 m de espesor de hielo.

La historia del clima reciente, y no tan reciente, está escrita en el registro rocoso. Por eso es valioso conservar ese registro en algunos lugares para entender cómo ha sido esa historia. Por ejemplo, y vuelvo al geoparque donde trabajo, uno de los impactos más importantes que tendrá el calentamiento climático en zonas costeras va a ser la subida del nivel del mar. Esto ha ocurrido también con anterioridad, pero cuando nosotros no estábamos aquí. Muchas veces suelo explicar en las excursiones que hacemos en el geoparque que durante la última glaciación, hace solamente unos 15 000 años, cuando nuestros antepasados pintaban las figuras de Altamira, el clima en la zona tenía una temperatura unos 8-10 ºC inferior a la actual. El hielo se extendía hasta la latitud de Londres o de Berlín. Todo el norte de Europa estaba cubierto de hielo. El nivel de mar en la costa norte de la Península Ibérica era más o menos 100 m más bajo que el presente y la línea de costa estaba a unos 10 km más alejada de la costa actual. Y eso solamente con respecto a la última glaciación. Variaciones como estas han ocurrido muchísimas veces durante los últimos pocos millones de años, poniendo el foco solamente en la geología más reciente.

Por lo tanto, entender cuál es el contexto en el que ocurren las cosas que vemos hoy, y que nos afectan, es muy importante para saber si realmente estamos, fuera o no del sistema. Para eso el registro geológico es fundamental. No solamente eso, hay yacimientos paleo-antropológicos que son fundamentales para saber quiénes somos, para saber de dónde venimos, y para saber cómo ha evolucionado nuestra especie. Cité antes Altamira, pero podía ser Atapuerca, o muchos otros yacimientos en el continente europeo o en África. Entender cómo funciona el sistema Tierra es esencial para conocer cuál es nuestro impacto en la Tierra.

Hay un concepto que se ha ido popularizando en las últimas décadas que es el de «Antropoceno». Hace algunos años un grupo de trabajo propuso que quizás habría que definir una nueva edad geológica, vamos a llamarla así, puesto que las edades geológicas están basadas en cosas que podemos reconocer en las rocas, en la historia de la roca. Y entonces estos científicos propusieron que hoy en día el impacto del ser humano sobre el sistema Tierra era tan importante que iba a quedar registrado, y merecería ser reconocido con una nueva edad geológica, para la que propusieron el nombre antropoceno. Es un tema muy debatido sobre el que se han realizado muchísimas publicaciones de todo tipo. Sin embargo, la Unión Internacional de Ciencias Geológicas rechazó la propuesta de formalizar el Antropoceno

como una época geológica oficial, argumentando que a pesar de que el ser humano tiene un impacto muy importante sobre el sistema Tierra, no se puede asegurar que deje un registro en las rocas, lo suficientemente estable, como para definir una nueva época geológica. Pero en todo caso, a pesar de no ser oficial, el término se utiliza ampliamente. La cuestión está ahí.

Para entender cuál es nuestro impacto sobre el planeta, debemos sopesar los recursos que tenemos y la manera en la que los utilizamos. Para ello es muy importante tener un conocimiento geológico del territorio. También, porque la Geología está detrás de otras muchas cosas que sí vemos de una manera más natural, más de frente, y que sí nos parecen importantes. Es el caso de la biodiversidad, las tradiciones, la geología urbana, la historia o la localización de muchos monumentos relacionados con recursos geológicos, la prehistoria, las cuevas, o las pinturas. También los suelos de la agricultura, como, por ejemplo, la singularidad de la ubicación de los viñedos que soportan el mundo del vino. Detrás de todo, detrás de todo esto está el sustrato, están las rocas, está la geología. Y curiosamente es lo que más nos cuesta ver, a pesar que es lo que lo condiciona todo.

Una de las aportaciones más importantes que proporciona el conocer un poco cómo funciona el sistema Tierra, es la comprensión del paisaje. Asumir que el paisaje que uno tiene delante, no es más que una secuencia inmensa de fotogramas que ha ido cambiando a lo largo del tiempo, y lo que ahora visualizamos es solamente la última secuencia, en un mismo fotograma. Es una manera de hacerte sentir diminuto ante los procesos y ante las dinámicas de un planeta que es muchísimo más antiguo de lo que somos nosotros, y muchísimo más complejo. Esa especie de cura de humildad que aporta entender un poco la inmensidad, la complejidad de los procesos geológicos, es algo que nos viene muy bien. Conociendo un poco cómo funciona el sistema Tierra existe la posibilidad de establecer una relación más afectiva con los paisajes. Porque los comprendes. Estos podrían ser algunos de los motivos por los que reconocer y proteger el patrimonio geológico es importante.

Reconocimiento del Patrimonio Geológico

¿Desde cuándo se hace? ¿Desde cuándo se reconoce como patrimonio? Antes comenté el nacimiento de los parques nacionales en Estados Unidos. La consideración de patrimonio quiere decir que se trata de una serie de elementos a los que nosotros, la sociedad, no la comunidad científica, le da un valor especial. Otorgar un valor especial supone que es la propia sociedad la que va a dedicar recursos económicos para protegerlo, para gestionarlo, para ponerlo en valor (Fig. 1). Por eso es la sociedad, y no solamente la academia que también es parte del sistema, la que le proporciona un soporte más amplio.

Fue en Francia en 1991, en lo que se conoce como declaración de Digne. Esta es una declaración muy conocida por la gente que nos dedicamos a esto. Fue realizada en el «I Congreso Internacional de la Conservación de nuestro Patrimonio Geológico», bajo el título «Declaración Internacional sobre los derechos de la memoria de la Tierra (Digne, Francia 1991)» y entre sus conclusiones instaba de todas las autoridades nacionales e internacionales el pleno apoyo a la necesidad de tutelar el patrimonio de nuestra Tierra y de protegerlo con todas las medidas legales, financieras y organizativas que pudieran ser necesarias.

En ese congreso los geólogos de diferentes países acordaron utilizar por primera vez el término *Geoheritage*, «Patrimonio Geológico». Desde entonces es verdad que ha habido un desarrollo bastante importante, pero muy desigual en diferentes partes del planeta. Hay iniciativas de todo tipo, iniciativas internacionales, iniciativas nacionales, iniciativas regionales, que se han plasmado en una ingente cantidad de publicaciones. En España el Instituto Geológico Minero se ha constituido en un referente en su trabajo geológico a nivel internacional. Tienen un portal extraordinario con muchísimo material informativo. Pero esto no es así en todos los países. Hay países como España, Portugal, Reino Unido, Japón o China, en los que el progreso es evidente.



Fig. 1. Los afloramientos del flysch de Zumaia han sido reconocidos por los principales organismos de la geología como un lugar referente para el estudio de la historia de la Tierra y han servido para construir el Geoparque UNESCO de la Costa Vasca. Foto M.A Langa.

Patrimonio Mundial de la UNESCO

¿Cuáles son las iniciativas internacionales principales que dan reconocimiento al patrimonio geológico? La más importante, la de mayor renombre, es el Patrimonio Mundial (también conocido como Patrimonio de la Humanidad), y es además la más popular porque es la más antigua, establecida por la UNESCO en 1972. Para ser reconocido como Patrimonio Mundial por la UNESCO, el lugar necesita tener un valor universal excepcional, lo que se ha denominado *outstanding value*, que quiere decir algo así como que ese elemento es el mejor o la mejor representación de algo, o que es verdaderamente único y que la humanidad lo debe proteger.

Hay diez criterios que se utilizan para valorar un lugar, de los cuales los seis primeros son de tipo cultural (histórico, arquitectónico, tradición, etc.) y los cuatro restantes naturales (belleza, historia de la Tierra, procesos geológicos y biodiversidad). De modo que el criterio siete, que tiene que ver con los paisajes, aporta algo de geología, pero es un criterio de contenido más amplio. Los criterios ocho y nueve son los que aglutinan elementos que se han reconocido como patrimonio mundial por su Geología.

Hasta el presente son 96 los lugares que la UNESCO ha reconocido en su programa Patrimonio Mundial, por sus valores geológicos. Entre ellos, está el parque nacional del **Teide**, que es el único lugar en España reconocido como patrimonio mundial exclusivamente por su valor geológico. El otro lugar español incluido en esta relación es el parque nacional de **Ordesa y Monte Perdido**, que a su valor geológico se unen el paisajístico y el cultural. En esta selecta lista, están incluidos lugares muy emblemáticos bastante conocidos, repartidos por todo el mundo.

Están, por ejemplo, el **Kilimanjaro** en Tanzania (un volcán durmiente con tres cimas que es la montaña más alta de África), o la **Bahía de Ha Long** en Vietnam (famosa por sus miles de islas kársticas de piedra caliza y aguas color esmeralda, considerada como una de las siete maravillas naturales del mundo). También lugares más geológicos y menos paisajísticos, como **La Calzada del Gigante**, en el norte de Irlanda (un área con unas 40 000 columnas de basalto originadas por el rápido enfriamiento de la lava en un cráter hace unos 60 Ma), o **Mistaken Point**, situado en la isla de Terranova, Canadá (que contiene una de las colecciones de fósiles del Precámbrico más diversas y mejor conservadas del mundo, entre los que están los restos más antiguos conocidos de vida multicelular en la Tierra).

Geoparques Mundiales de la UNESCO

La UNESCO tiene otro programa para reconocer, en este caso, los territorios, no solamente los elementos. Son los «Geoparques Mundiales de

la UNESCO». Cada vez se oye más hablar de geoparques, y a diferencia de los lugares patrimonio mundial son territorios, donde viven personas, donde hay pueblos, donde hay actividad, y que cuentan con una geología de relevancia internacional. En este caso no es necesario que posea un valor excepcional. No necesita ser el mejor de todos ni el único, pero sí poseer una geología suficientemente importante con carácter internacional. Y lo más importante, los geoparques son herramientas para el desarrollo local. El territorio debe tener un proyecto para utilizar esa geología, para vincularla al resto de los valores del territorio y generar desarrollo local. Suscitar movimiento, conservación, educación, ciencia o turismo en torno a ese elemento. Mientras que en patrimonio mundial se trata de elementos específicos, elementos geológicos concretos que sobre todo se quieren proteger; en un geoparque lo que se pretende es generar dinámicas en torno a ese territorio para potenciar el desarrollo local.

El proyecto de los geoparques comenzó a gestarse por el año 2000, hace ahora unos 25 años. He tenido la suerte de estar y de trabajar en uno de ellos, y participar en el desarrollo de este programa casi desde el principio. En el año 2015, la UNESCO, después de algo más de 40 años sin aprobar ningún nuevo programa, aprobó oficialmente el programa «UNESCO geoparques» para constituir una red mundial. Los otros dos programas de la UNESCO que implican al medio natural son las «Reservas de la Biosfera» (1970) y el «Patrimonio Mundial» (1972), que ya comentamos. Los trabajos realizados en estos últimos 25 años han permitido reconocer 229 geoparques repartidos por 51 países diferentes.

La aprobación del programa de los geoparques supuso un momento muy importante a efectos de reconocimiento institucional de nuestra ciencia, la Geología. Ahora hay muchísimas instituciones, responsables políticos o periodistas que debaten o discuten sobre geoparques.

La idea de formar una red de territorios definidos por una geología notable comenzó a debatirse un poco antes del año 2000. Pero fue en ese año cuando se firmó en el pequeño municipio de Molinos (Teruel) el primer convenio de cooperación entre cuatro geoparques europeos. Constituyeron así la Red Europea de Geoparques de la que fueron fundadores la Reserva Geológica de Haute-Provence (Francia), el Bosque Petrificado de Lesbos (Grecia), el Parque Geológico de Vulkaneifel (Alemania) y el Parque Cultural del Maestrazgo (España). La red pretendía fomentar el desarrollo sostenible basado en su patrimonio geológico, puesto que los cuatro geólogos que estaban al frente de estos territorios tenían la preocupación de que la Geología no existía a la hora de diseñar las políticas de conservación de la naturaleza. Y debemos reconocer que era cierto. No era solo una sensación. Plantearon utilizar la geología, la geología de especial interés que hay en muchos territorios rurales de Europa que empezaban a mostrar problemas de despoblación, para generar dinámicas para el desarrollo y potenciar la

identidad de esos territorios. En aquel momento, esa visión innovadora de abrir puertas y avanzar por caminos totalmente nuevos, era absolutamente revolucionaria.

En el mundo de la conservación de la naturaleza, esta idea era novedosa porque suponía poner en primer plano el desarrollo de las personas y de los territorios. Además, como geólogos entendimos desde un principio que, si hablábamos solamente de geología, era muy complicado que los proyectos pudieran avanzar. Se necesitaba relacionar los elementos geológicos con todo lo demás y poner a las personas en primer lugar. Fue una idea extraordinaria, y resultó ser el clic que ha permitido después que este programa haya crecido tanto y tan bien como lo está haciendo ahora. Después de la declaración del programa por la UNESCO en 2015 apoyando la iniciativa, se ha expandido a gran velocidad.

Las directrices de los Geoparques Mundiales de la UNESCO permiten definirlos como áreas geográficas únicas y unificadas en las que se gestionan sitios y paisajes de importancia geológica internacional, integrando protección, educación y desarrollo sostenible. Su enfoque «de abajo hacia arriba», combina conservación y desarrollo sostenible, involucrando a las comunidades locales.

En la actualidad hay geoparques por todo el mundo, pero sobre todo en Europa y Asia. China incluye el mayor número, como **Jiuzhangou**, que reúne una serie de valles en la meseta tibetana, famosos por sus lagos de brillantes colores, cascadas cristalinas y bosques vírgenes. En este paisaje está inspirada la película de Avatar. Lugares en los que normalmente la geología tiene un protagonismo especial, un protagonismo importante, con paisajes bastante llamativos.

Por citar algunos más, por ejemplo, **Adamello Brenta** en Italia, de una singular riqueza geológica y paisajística, en la que destacan los macizos del Adamello (granítico) y las Dolomitas de Brenta, y sus numerosos lagos y glaciares. En América Latina hay una creciente red de geoparques, con algunos como **Colca y Volcanes de Andagua** en Perú, que incluye el profundo cañón de Colca con varias decenas de conos volcánicos de Andagua. En África solo hay tres, uno de ellos es **M'Goun** en Marruecos, en la cadena montañosa del Atlas, con paisajes del Jurásico y geología compleja de areniscas y calizas.

Lo que hace que los geoparques sean especiales, es que trabajan con los objetivos de desarrollo sostenible. Objetivos que pretenden que la vida de las personas sea mejor. Es lo que nos mueve a establecer geoparques, lo que realmente nos mueve en el día a día. Por eso en los geoparques se consigue que las cosas funcionen de una manera diferente. Al final los geoparques son territorios donde las personas son las protagonistas.

Soy evaluador de la UNESCO para geoparques y cuando vamos a evaluar territorios lo que examinamos no es tanto la geología. Para valorar la

geología hay un equipo de la Unión Internacional de Ciencias Geológicas. Los evaluadores de la UNESCO prestan particular atención a cómo son las dinámicas, la gobernanza del territorio, que permiten que la población interactúe, se empape de la geología de los recursos naturales y culturales de su territorio. Los geoparques son territorios de educación. La educación es fundamental. Todos los geoparques tienen un programa propio de educación que normalmente suele estar muy bien coordinado con el currículum de cada territorio.

De todos los años que llevo trabajando en este tema, los momentos más especiales ocurren durante el trabajo de campo. Por ejemplo, recuerdo la visita a una escuela de una aldea de un barrio muy humilde del pueblo de Icalupe, en el norte de Nicaragua (**Geoparque Río Coco**). Allí, la geoescuela, para los niños lo es todo. Recuerdo a Rosa, la profesora, y la increíble manera en que les transmitía el concepto de geoparque. Cómo les inculcaba el orgullo de pertenecer a esa tierra. Este es uno de esos ejemplos en los que se ven los valiosos beneficios que tiene un programa como el de los geoparques. También es un ejemplo que demuestra el valor de la idea original. Y que una de las claves de su éxito radica en la flexibilidad, que permite ser adaptado a cualquier realidad.

Otro ejemplo. Este verano estuve evaluando un geoparque en Lesbos, el **Bosque Petrificado de Sigri**. No tiene absolutamente nada que ver con el anterior, y aquí el geoparque tiene una función también muy importante, como es el de las políticas activas de conservación. El bosque petrificado es patrimonio geológico y cultura. Los geoparques son territorios de cultura, y la cultura tiene un peso tan importante como la parte geológica. Lo que permite establecer un geoparque es la geología, pero luego son las personas, la cultura, la historia y las tradiciones, las que ponemos en primer lugar.

Así, en nuestro **geoparque de la Costa Vasca** impulsamos el eusquera, nuestro idioma, que es uno de los tesoros más importantes que tenemos. Lo apoyamos y ponemos en valor en nuestras iniciativas. Los geoparques trabajan mucho con los productos locales. Una de las maneras que tienen para fomentar este desarrollo económico es dar valor a los productos que todavía se elaboran en la zona. Es lo que ocurre por ejemplo con la sal marina de las Salinas del Janubio, en el **geoparque de Lanzarote y Archipiélago Chinijo**. Los geoparques suelen tener un paquete de productos a los que se les da un valor añadido. Se facilita así que la gente que trabaja con producto local tenga un buen canal de comercialización.

Los geoparques de alguna manera también son un movimiento de resistencia. a la globalización. Son movimientos que le dan muchísimo valor a lo local y a las dinámicas locales. Una de las maneras es conseguir que la gente que habita en un geoparque se sienta orgullosa de vivir en ese territorio. Nuestra misión es publicitar su valor para que, a través de esa apreciación, se

tenga un cariño más grande o un sentido de pertenencia mayor hacia ese territorio.

Geoparques y geoturismo

En los geoparques en general, aunque los hay con motivaciones muy diferentes, potenciamos el geoturismo, que es una manera de ecoturismo. A través del geoturismo en los geoparques intentamos que tanto los visitantes que proceden de lugares distantes como la gente que vive allí entienda lo que denominamos el «ABC» del territorio. Que comprenda el geoparque desde el sustrato, desde las rocas. De cómo la parte abiótica (A), controla a través de los suelos a la parte biótica, la vegetación, la biodiversidad (B), los ecosistemas. Y cómo la (A) más la (B), la parte abiótica más la biótica, controlan la parte cultural (C), que es nuestra historia, nuestras tradiciones. Incluso nuestra personalidad, nuestra economía, la manera en la que hemos ocupado el territorio a lo largo de la historia. Todo eso está relacionado.

Hilvanar ese discurso que empieza en el sustrato es el cometido y la misión de los geoparques. Y en los geoparques lo que intentamos es contar buenas historias. Sorprender a la gente relatando buenas historias. Hoy en día, es bastante difícil que los lugares te sorprendan porque se puede conseguir, antes de viajar al destino, toda la información que desees entrando en internet. Nosotros tenemos esa posibilidad. Nosotros sí podemos sorprender, porque disponemos de una información a la que solamente se accede si alguien del territorio te la cuenta. Es la capacidad de contar historias que la gente no espera que tienen que ver con la lectura del paisaje. La narrativa es una parte fundamental del trabajo de los geoparques.

Lugares del Patrimonio Geológico Mundial

Desde hace algunos años, exactamente desde 2022, hace muy poco tiempo, hay un nuevo actor que ha entrado en el mundo del reconocimiento de los grandes elementos geológicos. Se trata de la Unión Internacional de Ciencias Geológicas (*International Union of Geological Sciences* - *IUGS*), el más importante organismo de la Geología a nivel mundial. Es un poco el paraguas bajo el cual se hospeda el resto de las organizaciones internacionales de la Geología. Está formada por representantes de 121 países y por miles de socios, de geólogos y científicos de ciencias de la Tierra en general. En nuestro geoparque de la Costa Vasca tuvimos la suerte de organizar el primer evento de esta extraordinaria iniciativa y presentar los «100 primeros lugares del Patrimonio Geológico Mundial».

Fue en octubre de 2022, en Zumaia, un pequeño pueblo de unos diez mil habitantes en la costa de Guipúzcoa. Fue un momento muy especial para mí,

que llevo 20 años trabajando en este geoparque. Uno de los momentos más especiales que he vivido. Sabía que la iniciativa tenía cabida, que había un hueco y que era necesario poner este proyecto en marcha. Aun así, nunca imaginamos que iba a tener el apoyo y la repercusión que obtuvo. Durante esos días, Zumaia se llenó de gente de todo el mundo, procedentes de más de cincuenta nacionalidades diferentes. Gente de todo el mundo explicando las características de los lugares que habían presentado. Representando a sus países y defendiendo las singularidades de los lugares que se habían incluido en la primera lista. Fue una convocatoria que contó con una entusiasta participación.

Creo que una motivación especial que nos empujó a poner en marcha esta iniciativa, el programa de los 100, fue el poder contar con nuestro propio programa. Es cierto que ya teníamos dos programas de la UNESCO, los Patrimonio Mundial y los Geoparques. La UNESCO es Naciones Unidas y le concede a la Geología un reconocimiento institucional político, que de ninguna otra manera se podría conseguir. Pero también es verdad que tiene una carga política importante. Es Naciones Unidas y se rige por unas normas, en las que aparte del valor científico de los lugares, hay otras numerosas cuestiones que entran en consideración: equilibrios políticos, equilibrios geográficos, disputas geopolíticas, o cuotas. Así, por ejemplo, cada país solamente puede presentar dos nuevos geoparques anualmente. En patrimonio mundial ocurre algo parecido. Además, para geoparques y para patrimonio mundial se requiere el compromiso de los territorios para gestionar y cuidar esos elementos. En fin, es mucho más complejo que simplemente decidir que un lugar determinado debe ser considerado como geológicamente importante.

En el colectivo de geólogos teníamos la sensación de que, aunque los programas de la UNESCO estaban muy bien, nos faltaba tener nuestro propio programa. Un programa sin consideraciones políticas, ni geoestratégicas, y que estuviera sustentado exclusivamente en el interés científico de los lugares. Donde en la selección de esos sitios participaran exclusivamente expertos en las diferentes disciplinas de la Geología. Que contara con un diseño muy ágil y que permitiera simplemente asignar, dar valor, a un lugar. Fue con esa visión con la que empezamos a trabajar en este programa. Definir los lugares, esos extraordinarios lugares, que se utilizan, como referencia en las ciencias geológicas, o que han servido en el pasado para la construcción de nuestra ciencia. Esto último es un guiño a la geología histórica. Valorar los lugares que son históricos por la relevancia de los principios que originaron. Lo que pretendemos es dar reconocimiento a los mejores lugares que nos permiten construir nuestra ciencia. De este modo, un «Lugar Patrimonio Geológico de la IUGS» (*IUGS Geological Heritage Site*) se define como «un lugar clave con elementos o procesos geológicos extraordinarios de la más alta relevancia científica, utilizado como referencia

mundial y/o con una contribución sustancial al desarrollo de las ciencias geológicas a través de la historia».

Puede ser que detrás de muchos de ellos esté la etiqueta de patrimonio mundial, y en otros la etiqueta de geoparque. Pero otros muchos no están ahí, y nunca iban a poder estar porque para ser patrimonio mundial o geoparque, además del valor científico, es necesario sumar otros atributos. Por ejemplo, compromiso institucional, político, o local para gestionarlo adecuadamente. Los primeros 100 lugares no tienen nada que ver con eso. Tienen que ver con un colectivo de más de mil expertos de todo el mundo, que representan a todas las disciplinas de la Geología, que se ha puesto de acuerdo para poner en marcha este programa. Y en apenas los tres años que lleva en marcha han participado expertos de las principales organizaciones internacionales que representan a las grandes disciplinas de la Geología, Estratigrafía, Geomorfología, Historia de la Geología, Tectónica, Vulcanología, etc., etc. Esta amplia representación es precisamente lo que le da a este programa su credibilidad.

Los 100 primeros Lugares del Patrimonio Geológico Mundial

Hace muy pocos años, en 2022, anunciamos los primeros 100 lugares. Dos años más tarde, en 2024, presentamos los segundos, y ahora estamos trabajando en el tercer bloque de cien. En la página web (www.iugs-geoheritage.org) que merece la pena visitar, se incluye detallada información y unos magníficos libros que se pueden descargar gratuitamente. Ha tenido casi doscientas mil visitas de prácticamente todos los países del mundo. Esto demuestra que realmente sí que había una necesidad en el colectivo geológico de tener nuestro propio programa de reconocimiento de los grandes lugares de nuestra ciencia.

Además de lugares, en esta comisión hay otros dos grupos de trabajo que dan reconocimiento también a rocas de construcción, que es un tema muy interesante. Rocas que han servido para construir edificios, ciudades que tienen un peso cultural histórico importante. Y también colecciones de elementos geológicos, minerales, fósiles, rocas que en muchos casos tienen un valor histórico muy importante. Pero, el programa estrella, es el de «*Sites*», el de lugares. ¿Quién puede proponer estos lugares? No los puede proponer cualquiera. Solamente pueden hacerlo las organizaciones internacionales que son expertas en cada una de las materias, y los servicios geológicos de cada país. En este último caso, cada país tiene una limitación, y solamente puede realizar una o dos propuestas. Si no fuera así, el programa resultaría inmanejable.

Aquí he realizado una pequeña selección de algunos de los lugares más representativos que entraron en la primera lista. La lista no está jerarquizada, de manera que no es una clasificación. Están incluidos 100 lugares, pero el uno no es mejor que el dos, ni el 100 es el peor de la lista. De hecho, los diferentes lugares están organizados por capítulos temáticos: Historia de las Ciencias Geológicas (*sites 1-11*), Estratigrafía y Sedimentología (*12-23*), Paleontología (*24-42*), Petrología Ígnea y Metamórfica (*43-50*), Vulcanología (*51-67*), Tectónica (68-*74*), Mineralogía (*75-77*), Geomorfología y procesos geológicos activos (*78-99*), y Estructuras de impacto y rocas extraterrestres (*100*). Esto es así porque no se puede comparar un volcán con un fósil, que son temas totalmente diferentes. Pero, está claro que el número uno es el número uno. Abrimos un debate, y aunque ocupar el número uno no significara ser el mejor, si era evidente que tenía un valor especial. Del debate llevado a cabo por el comité de selección, formado por representantes de cada una de las organizaciones internacionales, resultó una abrumadora mayoría que votamos por emplazar en esa posición a «Siccar Point».

Siccar Point – Discordancia de Hutton
Reino Unido
(*site 1*)

Es un entrante rocoso en la costa oriental de Escocia, que para los no geólogos no tiene nada de espectacular. Pero, sin embargo, es un lugar mítico para los geólogos, porque fue aquí donde en el siglo XVIII James Hutton, considerado como uno de los padres de la Geología, propuso por primera vez el concepto de tiempo profundo para la edad de la Tierra. En este lugar, aparentemente tan sencillo, James Hutton observó unas discordancias estratigráficas, en las que intervenían estratos horizontales y verticales de diferentes edades formados en el fondo del mar, que luego se plegaron para adquirir posición vertical, emergieron y erosionaron, para posteriormente quedar nuevamente bajo el mar, y cubiertas por materiales más antiguos, que se volvieron a plegar. Estas discordancias estratigráficas, ahora conocidas como discordancias de Hutton, necesitaron para su formación muchos millones de años. Fue la primera vez que alguien propuso y mostró evidencias de que la historia de la Tierra era muchísimo más larga de lo que hasta entonces se creía. La primera vez que alguien puso encima de la mesa el concepto de tiempo geológico. De manera que **Siccar Point** es un sitio importante en la Historia de las Geociencias, vinculado a los grandes descubrimientos que crearon debates importantes y nuevas ideas para el desarrollo de las ciencias geológicas.

Las rocas ordovícicas del monte Everest
China y Nepal
(*site 17*)

Es el otro lugar clave que suelo destacar si tengo que elegir dos: la firma del Everest. Es la mejor representación de que vivimos en un planeta dinámico. Las rocas del techo del mundo son calizas fosilíferas que contienen fósiles marinos de hace unos 450 Ma que formaron parte de un antiguo lecho marino, mucho antes de la colisión de la India con el continente asiático, que comenzó hace unos 55 millones de años. Un lugar único que también captura la evidencia de la evolución del cinturón tectónico más conocido del planeta. Está incluido en el capítulo de «Estratigrafía y Sedimentología».

La Caldera volcánica de Taburiente en La Palma
España
(*site 8*)

Está incluida en el capítulo «Historia de las Ciencias Geológicas». La Caldera de Taburiente entró aquí porque además de ser uno de los mejores registros a nivel mundial del crecimiento de una isla oceánica, aquí tiene su origen el término «caldera» en su uso geológico. El concepto de caldera volcánica se utiliza actualmente en todo el mundo, y procede de la caldera de Taburiente. Un término local español que fue introducido en la literatura geológica internacional por el geólogo alemán Leopold von Buch, cuando realizó sus estudios en Canarias.

Sección estratigráfica del Cretácico-Paleógeno de Zumaia
España
(*site 22*)

El segundo capítulo tiene que ver con la «Sedimentología y Estratigrafía». Vivimos en un planeta dinámico donde los paisajes se erosionan, los sedimentos se transportan, se depositan en diferentes lugares, muchas veces abajo el mar, o en ríos, formando capas. Esas capas o estratos luego nos permitirán reconstruir correctamente la historia de la Tierra. Vienen a ser como las páginas de nuestra historia. Zumaia es un afloramiento emblemático de rocas tipo Flysch. Uno de los registros de sedimentos marinos más completos y más estudiados del planeta. Proporciona información crucial sobre la evolución del clima y la biosfera a lo largo de intervalos críticos de tiempo geológico.

Es uno de los mejores lugares donde se puede entender cómo el tiempo geológico se representa en las rocas y se divide en diferentes capítulos. Los 10 km de acantilado de Zumaia es un enorme libro de la historia de la Tierra formado por miles y miles de capas que son las páginas de ese libro. Cada página tiene aproximadamente 10 000 años y caminando por la base del

acantilado podemos leer 60 Ma consecutivos de la historia de la Tierra. Lo de 60 Ma es importante, pero es más importante lo segundo, consecutivos. No falta ninguna página. En este libro, todas estas capas que hoy en día están en posición vertical, fueron antiguos fondos marinos. Si pusiéramos todas esas capas una encima de la otra antes de que se levantasen para formar los Pirineos, tendríamos un espesor sedimentario de casi seis mil metros. Seis mil metros de capas superpuestas, que el tiempo ha colocado en la posición actual, y hoy en día nos permite caminar sobre ellas y viajar a través del tiempo. En algunas de esas capas, por ejemplo, podemos entender cómo se extinguieron los dinosaurios o cómo han sido algunos de los calentamientos climáticos más importantes de la historia.

La Gran Discordancia en el Gran Cañón
EEUU
(*site 16*)

El Gran Cañón entró por doble motivo. Es muy famoso por la grandiosidad del cañón, pero para los estudiosos de la estratigrafía es muy importante por la llamada gran discordancia del Gran Cañón. Una de las discordancias (registro rocoso que falta) más profundas de la Tierra, con hasta 1300 millones de años de historia terrestre eliminados por la erosión. En geología es tan importante el registro, tal como hemos visto en Zumaia, tener muchas capas (muchas páginas), como el no registro. El no registro también da información. Aquí tenemos diferentes capas, algunas ordenadas, otras desordenadas y también faltan capas. Hay vacíos. Faltan, un registro de unos 500 Ma y otro de unos 700 Ma. Es como tener un libro en el que están ausentes bloques de páginas completos. Este es uno de los lugares en donde esto se puede ver de una manera más diáfana.

Fósiles ediacáricos en las colinas de Ediacara, cordillera Flinders
Australia
(*site 25*)

El capítulo tercero tiene que ver con la historia de la vida, con los lugares paleontológicos excepcionales. Ediacara es un lugar muy emblemático, porque aquí se descubrieron en 1946 los primeros organismos pluricelulares complejos que habitaron la Tierra. Más de 20 especies de las primeras formas de vida complejas de la historia. La Tierra tiene unos 4600 Ma y la vida no consiguió la fórmula adecuada para organizarse en organismos complejos hasta hace algo más de 600 Ma. Hasta entonces, en los primeros 4000 Ma de historia, se sitúa la aparición de la vida limitada a formas muy sencillas. Es en este momento cuando esas formas sencillas se empiezan a asociar para dar organismos más o menos complejos.

Registro paleontológico cámbrico de Burgess Shale
Canadá
(*site 27*)

En el Cámbrico se produjo la mayor explosión de vida que ha ocurrido en nuestra historia, y es conocida como la gran explosión del Cámbrico. Burgess Shale en Canadá es uno de los lugares superclásicos en los que esa explosión de vida se evidencia mejor. Es en el Cámbrico cuando aparece la mayoría de las familias de seres vivos que conocemos hoy. Este lugar es clave para entender la historia y la evolución temprana de los grupos de animales: esponjas, cnidarios, moluscos, anélidos, artrópodos, cordados, etc. La gran explosión de vida que tenemos en la historia de la Tierra.

Acantilados fósiles de Joggins del Carbonífero
Canadá
(*site 31*)

Este es un lugar realmente alucinante, en el que se conserva un bosque del carbonífero, completamente petrificado. Está tal y como era. Tuve la suerte de visitar este lugar, y no solo están fosilizados los árboles, sino que además, las maderas contienen muchos de los organismos que vivían en el entorno de los árboles, como numerosos tetrápodos, incluyendo los fósiles de reptiles más antiguos del mundo.

Parque Provincial de los Dinosaurios
Canadá
(*site 36*)

Hay numerosos lugares con valiosos registros fósiles de dinosaurios, pero si hay que destacar uno, este resulta particularmente importante. Es el yacimiento más rico y diverso de dinosaurios del planeta. Se han encontrado más de 500 ejemplares pertenecientes a 51 especies diferentes, con el valor adicional de que todos ellos pertenecen a un periodo de tiempo muy concreto. 2,4 Ma, hacia el final del Cretácico. Un registro perfecto de cómo era la vida de los dinosaurios justo un poco antes de su extinción.

Yacimientos paleoantropológicos de la evolución humana
de Laetoli-Garganta de Olduvai
Tanzania
(*site 41*)

Se trata de yacimientos indispensables para conocer el desarrollo y las actividades de los primeros homínidos. En Laetoli hay huellas fósiles (27 m de pisadas) asociadas a *Australopithecus afarensis* de 3,6 Ma. Una evidencia de que los homínidos eran bípedos hace varios millones de años. Los fósiles

de homínidos de la Garganta de Olduvai incluyen restos fósiles de *Homo habilis* y *H. erectus* de 1,8 Ma.

Zircones arcaicos de Erawondoo Hill
Australia
(*site 43*)

El capítulo cuarto es un poco más duro, y está dedicado a las «Rocas Ígneas y Metamórficas», aquellas que se forman en el interior de la Tierra por enfriamiento y cristalización de magmas o rocas afectadas por mucho calor y mucha presión. Erawondoo Hill es otro de los lugares clásicos. La Tierra tiene 4600 Ma, y de aquí procede el elemento sólido cristalino más antiguo que se ha conseguido datar. Se trata de unos zircones de 4400 Ma, contenidos en unos conglomerados que tienen 3300 Ma. Es uno de los sitios más importantes del mundo para la investigación sobre el origen y la evolución de la Tierra. Es decir, hace 3300 Ma ya había dinámicas en la superficie terrestre que permitían que se generasen conglomerados en entornos fluviales.

Las rocas volcánicas del Paleoceno de la Calzada del Gigante
Reino Unido
(*site 5*)

Otro lugar muy clásico con una de las mejores representaciones de disyunción columnar que existen en el mundo. En las islas volcánicas son muy habituales, pero este lugar es especialmente importante porque durante el siglo XVIII fue decisivo en el debate sobre el origen volcánico de algunas rocas. Los neptunistas argumentaban que el basalto se precipitaba del agua de mar, mientras que los vulcanistas defendían que era de origen volcánico. Las columnas de basalto de la Calzada del Gigante proporcionaron la evidencia que respaldaba la teoría vulcanista sobre el origen de las rocas ígneas extrusivas. Se incluye en el capítulo sobre «Historia de las Ciencias Geológicas».

El Complejo Intrusivo Mioceno de Torres del Paine
Chile
(*site 49*)

Uno de los paisajes de montaña más espectaculares que conozco. Perfecto para entender la formación de Los Andes y cómo se intruyen grandes masas de magma que no llegan a aflorar. Se trata de rocas plutónicas, granitos en este caso. Un ejemplo clásico para comprender cómo los esfuerzos tectónicos controlan el emplazamiento de las intrusiones magmáticas.

El Complejo Volcánico Cuaternario Nevado del Ruiz
Colombia
(*site 60*)

El capítulo cinco, dedicado a la «Vulcanología», constituye uno de los capítulos más extensos. El Nevado del Ruiz es de los volcanes más activos de la Tierra, con 14 explosiones registradas en los últimos 13 000 años. Es un volcán muy conocido por la gran tragedia de Armero ocurrida en noviembre de 1985, que se saldó con más de 25 000 muertos provocados por los lahares originados por la erupción. Es un volcán con glaciares en la cumbre y con la erupción parte del hielo se derritió generando una enorme avalancha de agua, hielo, lodo y rocas volcánicas que arrasaron el pueblo de Armero situado a sus pies. Esta gran catástrofe ha sido decisiva para impulsar la importancia de monitorizar los volcanes y los riesgos volcánicos. Al menos en Colombia, y en otros muchos países, se empezó a tomar en serio esta cuestión después de la erupción de 1985.

El sistema volcánico e hidrotermal de Yellowstone
EEUU
(*site 67*)

Seguramente se trata del mayor sistema hidrotermal del mundo, con más de 10 000 manifestaciones hidrotermales, entre ellas el icónico Old Faithful de 100 m de diámetro. Representa un modelo de referencia para los estudios entre tectónica, magmatismo y volcanismo. La caldera de Yellowstone, formada por enormes erupciones explosivas, es el sistema volcánico más grande de América del Norte, y podría albergar una super explosión volcánica.

La zona de empuje de Moine
Reino Unido
(*site 70*)

El capítulo seis es para la «Tectónica», la evolución de la corteza terrestre. La manera en la que los continentes se desplazan, cómo chocan entre ellos y cómo deforman las rocas. Estudiando las deformaciones de las rocas, determinamos la manera en la que se han movido los continentes. Cómo ha sido la historia de la Tierra. Este lugar seguramente no es conocido para la mayoría. Pero como se puede comprobar, entre los lugares seleccionados los hay muy populares entre el público general, y otros que no. Que solo son conocidos por los geólogos. Se trata de Moine en el noroeste de Escocia, en las Highlands. Un lugar espectacular, importante porque es donde, por primera, vez se definió el concepto de cabalgamiento. ¿Qué es un cabalgamiento? Pues cuando dos rocas se enfrentan y comprimen puede

ocurrir que una se coloque por encima, la cabalga, y si ocurre de forma sucesiva, es uno de los sistemas más eficientes para generar montañas. Los cabalgamientos permiten que rocas más antiguas se dispongan encima de rocas más modernas. Fueron los británicos Ben Peach y John Horne cuando estaban trabajando en el mapa geológico de las Islas Británicas, en una época en la que los geólogos gozaban de una considerable reputación, los que definieron en 1909 el concepto de cabalgamiento. Detectaron a lo largo de 200 km rocas muy antiguas superpuestas a otras mucho más modernas. Los cabalgamientos daban una nueva perspectiva al debate sobre el origen de las cordilleras.

El gigantesco yacimiento de mercurio del sinclinal de Almadén España (*site 76*)

El capítulo siete es el de la mineralogía y para ilustrarlo he elegido un lugar español. El mayor depósito en la corteza terrestre de mercurio cinabrio. En Almadén está la mayor concentración de mercurio que se conoce en todo el planeta. Explotado desde hace más de dos mil años, de aquí se ha extraído una tercera parte del mercurio producido en el mundo.

El Gran Cañón EEUU (*site 84*)

El capítulo ocho es de los capítulos también más espectaculares y más extensos porque tiene que ver con los procesos activos de la Tierra, la «Geomorfología». Aquí está, por ejemplo, el Gran Cañón, que entre los grandes cañones es el más icónico de todos, con sus 1600 m de profundidad, 400 km de longitud y 30 km de ancho. Erosionado en los últimos 5-6 Ma, en sus diferentes estratos hay registros de 2000 Ma. Además de ser muy espectacular y muy grande, es un cañón que está muy bien estudiado.

Uluru Australia (*site 78*)

Tiene un excepcional valor cultural para los aborígenes y es uno de los iconos naturales más famosos de Australia. Se trata de una formación rocosa de arenisca de 500 Ma que se eleva 348 m sobre el terreno circundante. Es lo que se conserva de unos materiales que en el pasado ocuparon una superficie muchísimo mayor y que la erosión ha reducido a este relicto.

Glaciar Perito Moreno
Argentina
(*site 89*)

Perito Moreno ilustra a uno de los glaciares que hoy todavía se mantiene estable en un contexto de calentamiento global. Se alimenta del campo de hielo sur, tiene unos 30 km de longitud por 5 de ancho. Un sitio emblemático de la Patagonia argentina. Además del comportamiento anómalo y periódico único de este glaciar, el área muestra un excelente ejemplo tanto del proceso de glaciación, como de los fenómenos geomorfológicos y fisiográficos provocados por el avance y retroceso de las glaciaciones ocurridas durante el Pleistoceno.

Glaciares de roca de Engadina
Suiza
(*site 90*)

Los glaciares más populares son los glaciares de hielo. Pero hay glaciares de roca que funcionan gracias a que entre las rocas hay agua. Hielo, que se hiela y deshiela. Aunque cuenta con hielo en el interior, lo que avanza es pura roca. Estudiado desde hace más de un siglo, es referencia para el estudio, monitorización y seguimiento de glaciares rocosos y el permafrost en zonas de montañas.

Dry Falls y Channeled Scabland
EEUU
(*site 87*)

Aunque es un lugar poco conocido para el público general, incluso para muchos geólogos, representa lo que se supone fue la mayor inundación registrada en la historia de la Tierra. Durante la última glaciación, el hielo cubría todo Canadá, en el casquete de hielo norte. En su frente sur había un enorme lago formado en el frente de un glaciar cuya represa colapsó originando enormes riadas que arrasaron todo el oeste de Estados Unidos. Es por eso que el oeste de EEUU es una zona tan llana. Se estima que el caudal de agua liberado sería unas diez veces mayor al de todos los ríos juntos del planeta hoy en día.

Tsingy de Bemaraha
Madagascar
(*site 81*)

Lugar que da nombre a las concentraciones de agujas y crestas de origen kárstico, algunas de las cuales superan los 100 m de altura. La roca caliza es una roca muy dura, pero muy sensible al agua de lluvia que se acidifica en

contacto con la vegetación y los suelos. El agua disuelve la caliza generando paisajes espectaculares. Además, las aguas subterráneas socavan las tierras altas elevadas, creando cavernas y fisuras en la piedra caliza. Debido a las condiciones locales, hay erosión tanto vertical como horizontal.

Mar de arena de Namib
Namibia
(*site 93*)

Es uno de los mayores sistemas de dunas del mundo, que además en este caso están alimentadas por el Orange River, que viene por el sur y que tiene un color muy especial. Configura un desierto costero antiguo y extremo en Namibia, caracterizado por gigantescas dunas de color rojizo formadas por el viento y la maresía. Se extiende por 1600 km, e incluye algunas de las dunas más altas del mundo.

Sistema de cuevas submarinas de Sac Actun
México
(*site 99*)

Situado en la península de Yucatán es el mayor sistema de cuevas submarinas del mundo. Cuenta con 368 km de cuevas inundadas, que en su día se formaron en condiciones subaéreas. La posterior subida del nivel del mar lo inundó. Los buceadores todavía lo continúan explorando, y la abundancia de fósiles le otorga un papel relevante en la reconstrucción paleoclimática.

Cráter Ries
Alemania
(*site 198*)

Y el último capítulo, el nueve, está dedicado a las «Estructuras de impacto y a las rocas extraterrestres», e incluye varios lugares. Aquí he seleccionado uno de la segunda lista. Ries está cerca Munich y es un cráter de unos 25 km de diámetro, unos 150 m de profundidad. Se calcula que el bólido que lo originó medía aproximadamente 1 km y generó inicialmente un cráter de unos 11 km. El lugar conserva rocas de impacto, brechas de impacto y suevita, una roca que contiene materiales derretidos formada durante un evento de impacto. Un sitio clave que ha permitido sentar las bases de la geología de impacto.

Lo expuesto es una síntesis de las principales iniciativas internacionales para el reconocimiento del patrimonio geológico a nivel mundial. Un objetivo que es necesario reivindicar. Además de las que he comentado, hay otras muchas iniciativas nacionales y locales que también es necesario

apoyar. Creo que en los últimos años están cambiado bastante las cosas para mejor. Me gusta siempre ser más optimista que negativo. La Unión Internacional de Ciencias Geológicas se ha implicado en esta iniciativa y ha conseguido embarcar a toda la comunidad científica. Algo que ni siquiera hace unos años podíamos imaginar, y que se ha expandido con muchísimo éxito por todo el mundo. Afortunadamente cada vez se entiende más que la Geología también es parte importante de esa naturaleza que tenemos que cuidar.

Se puede ampliar información sobre patrimonio geológico, geoparques, lugares del patrimonio geológico mundial o el Flysch de Zumaia, en la breve relación bibliográfica que se adjunta.

Bibliografía

AFONSO-CARRILLO, J. (Ed.) (2026). *Patrimonio Geológico. La memoria de la Tierra*. XXI Semana Científica Telesforo Bravo, Instituto de Estudios Hispánicos de Canarias, Puerto de la Cruz.

BROCX, M. & V. SEMENIUK (2007). Geoheritage and geoconservation: history, definition, scope and scale. *Journal of the Royal Society of Western Australia* 90: 53-87.

CANET, C., D. SÁNCHEZ-AGUIRRE, L. GARCÍA-SÁNCHEZ & E. CASTAÑEDA-BASTIDA (2024). Geological heritage in UNESCO's World Heritage List: A critical review. *International Journal of Geoheritage and Parks* 12(4): 531-543.

CARCAVILLA, L., J.J. DURÁN, A. GARCÍA-CORTÉS & J. LÓPEZ-MARTÍNEZ (2009). Geological heritage and geoconservation in Spain: past, present and future. *Geoheritage* 1(2): 75-91.

CARCAVILLA, L. & A. HILARIO (2021). Geoparques en España: factores clave de su implantación, retos y consideraciones geológicas para su futuro crecimiento. *De Re Metallica* 36: 15-32.

CARCAVILLA, L. & J. PALACIO (2019). Geosites. *La aportación española al patrimonio geológico mundial*. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid.

DÍAZ-MARTÍNEZ, E., N. HERRERO, A. HILARIO, J.M. MATA-PERELLÓ, G. MELÉNDEZ HEVIA, M. MONGE-GANUZAS & J.C. UTIEL (2016). La conservación del patrimonio geológico de los espacios naturales protegidos. *Boletín de Europarc España* 42: 34-35.

DOUGHTY, P. (2008). How things began: the origins of geological conservation, pp. 7-16. In: Burek, C.V. & C.D. Prosser (Eds.). *The History of Geoconservation*. The Geological Society, London.

FERNÁNDEZ-MARTÍNEZ, E., A. HILARIO, L. ALCALÁ, J.M. MONASTERIO, J.A. MARTÍNEZ & C. DE SANTISTEBAN BOVÉ (2014). Actividades de divulgación del patrimonio geológico en geoparques. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra* 22: 61-68.

GORDON, J.E. (2018). Geoheritage, geotourism and the cultural landscape: enhancing the visitor experience and promoting geoconservation. *Geosciences* 8(136): 1-25.

GRAY, M. (2004). *Geodiversity: valuing and conserving abiotic nature*. John Wiley and Sons, Chichester.

GRAY, M., J.E. GORDON Y BROWN (2013). Geodiversity and the ecosystem approach: the contribution of geoscience in delivering integrated environmental management. *Proceedings of the Geologists' Association* 124: 659-667.

HILARIO, A. & L. CARCAVILLA (2020). Twenty Years of Spanish Geoparks: Analysis and Future Prospects. *Geoheritage* 12, 87.

HILARIO, A. (2008). El Flysch de Zumaia y Centro Algorri: divulgación geológica y gestión de un afloramiento espectacular (Zumaia, País Vasco). *De Re Metallica* 10: 1-9.

HILARIO, A., A. ASRAT, B.V.W. DE VRIES, D. MOGK, G. LOZANO, J. ZHANG, ... & S. FINNEY (2022). *The first 100 IUGS geological heritage sites*. International Union of Geological Sciences (IUGS).

JONES, C. (2008). History of geoparks, pp. 273-277. In: Burek, C.V. & C.D. Prosser (Eds.). *The History of Geoconservation*. The Geological Society, London.

LOZANO, G., L. CARCAVILLA, S. FINNEY, A. HILARIO, J. VEGAS B.V. WYK DE VRIES & J. ZHANG (2024). *The second 100 IUGS geological heritage sites*. International Union of Geological Sciences (IUGS).

MCKEEVER, P. & N. ZOUROS (2005) Geoparks: celebrating earth heritage, sustaining local communities. *Episodes* 28(4): 274-278.

MEIRA, S.A., E.V. DA SILVA, M.A.L. DO NASCIMENTO & A. HILARIO (2021). Geodiversity, marketing and photographic images: the Basque Coast UNESCO Global Geopark (Spain) as a geotouristic destination. *Caderno de Geografia* 31(66): 766-787.

MIGON, P., V. VANDELLI, P. CORATZA, A. HILARIO & M. SOLDATI (2025). Rock-controlled coastal landforms in the flysch-dominated Basque Coast UNESCO Global Geopark. *Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria* 48(1-2): 7-24.

PESCATORE, E., M. BENTIVENGA & S.I. GIANO (2023). Geoheritage and geoconservation: some remarks and considerations. *Sustainability* 15(7), 5823.

REYNARD, E. & J. BRILHA (Eds.) (2025). *Geoheritage: assessment, protection, and management*. *Second Edition*. Elsevier.

SIMÓN, J.L., M.M. CATANA & J. POCH (2011). La enseñanza de la Geología en el campo: un compromiso de los Geoparques reconocidos por la Unesco. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra* 19: 74-80.

Biblioteca
«Semanas Científicas Telesforo Bravo»

J. Afonso
Vicepresidente de Asuntos Científicos
Instituto de Estudios Hispánicos de Canarias

Desde el otoño de 2005, el Instituto de Estudios Hispánicos de Canarias (IEHC) organiza con periodicidad anual, un ciclo de conferencias con el propósito de rendir homenaje a un científico estrechamente vinculado a este instituto desde sus inicios. Telesforo Bravo ocupó en la Junta de Gobierno del IEHC la vicepresidencia de Relaciones Científicas desde 1980 hasta su fallecimiento en 2002. Durante esa etapa organizó y dirigió once ciclos (Semanas Científicas), inicialmente con la cabecera «Flora y Fauna en América y Canarias», luego ampliadas para acoger también a la Geología. El profesor Bravo impregnó a estos ciclos el espíritu de la divulgación, haciendo asequibles a la población en general los conocimientos generados desde la comunidad científica. Bajo ese mismo criterio y como homenaje se organizó el ciclo de conferencias de 2005.

El éxito de aquella convocatoria animó al IEHC a iniciar el proyecto de trasladar a papel los contenidos de las diferentes contribuciones, con el fin de que la valiosa información que se presentaba en la sala, adecuadamente documentada, perdurara con el paso del tiempo. Al siguiente año vio la luz el primero de los libros vinculados a la «Semana Científica Telesforo Bravo». Desde entonces, de manera ininterrumpida, cada año, en noviembre y como acto previo al inicio del nuevo ciclo, se presenta el volumen que reúne los artículos de los ponentes del ciclo del año anterior. De esta manera hemos recorrido dos décadas (Fig. 1), y con el presente libro, contamos ya con el primer volumen de la tercera.

Los temas abordados en cada uno de los ciclos han sido variados, pero todos ellos relacionados con la naturaleza. Las temáticas vinculadas con las islas Canarias han tenido un protagonismo especial. Con el ánimo de hacer accesible información científica relevante, se ha procurado emplear un lenguaje claro y comprensible, acompañado de imágenes que faciliten la comprensión de materias no siempre fáciles de divulgar.

Dos volúmenes estuvieron centrados en la figura y las contribuciones de Telesforo Bravo. Uno con el propósito de rendirle homenaje (Coello Bravo *et al*., 2006), y otro para conmemorar el centenario de su nacimiento (Arnay de La Rosa *et al*., 2014). El patrimonio natural de diferentes islas del archipiélago canario fue temática de seis libros monográficos dedicados a El Hierro (Pérez de Paz *et al*., 2013), Lanzarote (Perera Betancort *et al*., 2015), La Gomera (Navarro Mederos *et al*., 2016), La Palma (Pais Pais *et al*., 2018), Gran Canaria (Alberto-Barroso *et al*., 2020) o Fuerteventura (Casillas *et al*., 2025). El vulcanismo, ha tenido protagonismo en tres volúmenes diferentes, dedicados a erupciones volcánicas canarias recientes, como las de Chinyero en Tenerife (Beltrán Yanes *et al*., 2010), Tagoro en El Hierro (Pérez de Paz *et al*., 2013) y Tajogaite en La Palma (Ancochea Soto *et al*., 2023).

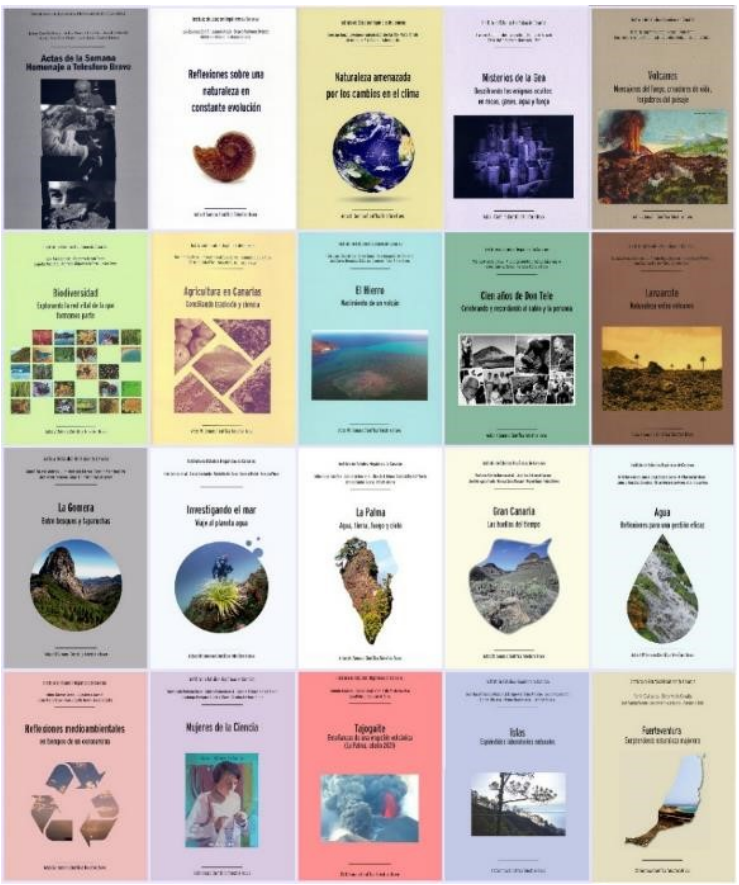


Fig. 1. Cubiertas de los veinte primeros volúmenes de la biblioteca «Semanas Científicas Telesforo Bravo».

Otras temáticas, como la evolución, el cambio climático, la geología, la biodiversidad, o la ecología fueron los protagonistas en otras tantas publicaciones (Espinosa García *et al*., 2007; González Reimers *et al*., 2008; Anguita *et al*., 2009; Landeira *et al*., 2011; Sánchez García *et al*., 2021; Fernández-Palacios *et al*., 2024; Monge-Ganuzas *et al*., 2026). La problemática de la agricultura canaria (Ríos Mesa *et al*., 2012), el medio marino (Galindo *et al*., 2017), la compleja gestión del agua (Marzol Jaén *et al*., 2019) o el papel de las mujeres en el avance científico (Perdomo Reyes *et al*., 2022), también fueron materias sometidas a análisis y reflexión en diferentes publicaciones.

El objetivo principal de este proyecto editorial ha sido desde un principio el de la divulgación de la ciencia, manteniendo siempre el imprescindible rigor científico. Nos ha servido de inspiración el buen hacer divulgador del profesor Bravo. Además, para facilitar la difusión de estos contenidos, la

versión impresa se ha complementado con la versión digital de cada uno de los documentos (libros y artículos), que están disponibles en el repositorio del Instituto de Estudios Hispánicos de Canarias.

https://www.iehcan.com/publicaciones/semana-cultural-telesforo-bravo/

Referencias

ALBERTO-BARROSO, V.; J.F. BETANCORT LOZANO; J. MANGAS VIÑUELA; M. SALAS PASCUAL; M.Á. PEÑA ESTÉVEZ; J. AFONSO-CARRILLO (Ed.). 2020. *Gran Canaria. Las huellas del tiempo*. Actas XV Semana Científica Telesforo Bravo. Instituto de Estudios Hispánicos de Canarias. Puerto de la Cruz.

ANCOCHEA SOTO, E.; C. SANGIL; F.M. MEDINA; L. D'AURIA; N.M. PÉREZ; J. AFONSO-CARRILLO (Ed.). 2023. *Tajogaite. Enseñanzas de una erupción volcánica (La Palma, otoño 2021)*. XVIII Semana Científica Telesforo Bravo. Instituto de Estudios Hispánicos de Canarias. Puerto de la Cruz.

ANGUITA, F.; E. LUIS BRITO; A. EFF-DARWICH; E. MARTÍN GONZÁLEZ; N.M. PÉREZ; J. AFONSO-CARRILLO (Ed.). 2009. *Misterios de la Gea: descifrando los enigmas ocultos en rocas, gases, agua y fuego.* Actas IV Semana Científica Telesforo Bravo. Instituto de Estudios Hispánicos de Canarias. Puerto de la Cruz.

ARNAY DE LA ROSA, M.; A. GALINDO BRITO; M. BÁEZ FUMERO; I. SÁNCHEZ GARCÍA; F.J. COELLO BRAVO; J. AFONSO-CARRILLO (Ed.). 2014. *Cien Años de Don Tele. Celebrando y recordando al sabio y la persona*. Actas IX Semana Científica Telesforo Bravo. Instituto de Estudios Hispánicos de Canarias. Puerto de la Cruz.

BELTRÁN YANES, E.; S. SOCORRO; P. OROMÍ; C.E. HERNÁNDEZ PADRÓN; S. ORDÓÑEZ DELGADO; M.C. SOLANA; J. AFONSO-CARRILLO (Ed.). 2010. *Volcanes: mensajeros del fuego, creadores de vida, forjadores del paisaje.* Actas V Semana Científica Telesforo Bravo. Instituto de Estudios Hispánicos de Canarias. Puerto de la Cruz.

CASILLAS, R.; E. MARTÍN-GONZÁLEZ; J.A. SARRIÓN; L. MARTÍN-GARCÍA; S. SCHOLZ; J. AFONSO-CARRILLO (Ed.). 2025. *Fuerteventura. Sorprendente naturaleza majorera.* XX Semana Científica Telesforo Bravo. Instituto de Estudios Hispánicos de Canarias. Puerto de la Cruz.

COELLO BRAVO, J.; J. AFONSO-CARRILLO; A. MARTÍN; L. SÁNCHEZ-PINTO; J.J. COELLO BRAVO; J. AFONSO-CARRILLO (Ed.). 2006. *Actas de la Semana Homenaje a Telesforo Bravo.* Instituto de Estudios Hispánicos de Canarias. Puerto de la Cruz.

ESPINOSA GARCÍA, L.; J. ARAUJO; O. RODRÍGUEZ DELGADO; G. DELGADO; E. VILLALBA; J. AFONSO-CARRILLO (Ed.). 2007. *Reflexiones sobre una naturaleza en constante evolución.* Actas II Semana Científica Telesforo Bravo. Instituto de Estudios Hispánicos de Canarias. Puerto de la Cruz.

FERNÁNDEZ-PALACIOS, J.M.; L. DE NASCIMENTO; R. OTTO; M. NOGALES; J. PATIÑO; J. AFONSO-CARRILLO (Ed.). 2024. *Islas. Espléndidos laboratorios naturales.* XIX Semana Científica Telesforo Bravo. Instituto de Estudios Hispánicos de Canarias. Puerto de la Cruz.

GALINDO, I.; E. SANTAELLA ÁLVAREZ; P. MARTÍN-SOSA; R. MARTEL REYES; F. PÉREZ; J. AFONSO-CARRILLO (Ed.). 2017. *Investigando el mar. Viaje al planeta agua*. Actas XII Semana Científica Telesforo Bravo. Instituto de Estudios Hispánicos de Canarias. Puerto de la Cruz.

GONZÁLEZ REIMERS, E.; A. MACHADO CARRILLO; M. SANSÓN; M. DEL ARCO AGUILAR; A. BRITO; J. AFONSO-CARRILLO (Ed.). 2008. *Naturaleza amenazada*

por los cambios en el clima. Actas III Semana Científica Telesforo Bravo. Instituto de Estudios Hispánicos de Canarias. Puerto de la Cruz.

LANDEIRA, J.M.; E. BELTRÁN TEJERA; L. MORO; W. WILDPRET DE LA TORRE; J. REYES; J. AFONSO-CARRILLO (Ed.). 2011. *Biodiversidad: explorando la red vital de la que formamos parte.* Actas VI Semana Científica Telesforo Bravo. Instituto de Estudios Hispánicos de Canarias. Puerto de la Cruz.

MARZOL JAÉN, M.V.; M.P. GARCÍA ALONSO; J.J. GONZÁLEZ GONZÁLVEZ; Ó. MONTERROSO-HOYOS; L. VEGA; J. AFONSO-CARRILLO (Ed.). 2019. *Agua. Reflexiones para una gestión eficaz*. Actas XIV Semana Científica Telesforo Bravo. Instituto de Estudios Hispánicos de Canarias. Puerto de la Cruz.

MONGE-GANUZAS, M.; J. COELLO BRAVO; A.J. RODRÍGUEZ RUBIO; J. MADEIRA; A. HILARIO; J. AFONSO-CARRILLO (Ed.). 2026. *Patrimonio Geológico. La memoria de la Tierra.* Actas XXI Semana Científica Telesforo Bravo. Instituto de Estudios Hispánicos de Canarias. Puerto de la Cruz.

NAVARRO MEDEROS, J.F.; J. MONTESINO BARRERA; E. ANCOCHEA SOTO; J. GARCÍA CASANOVA; Á.B. FERNÁNDEZ; J. AFONSO-CARRILLO (Ed.). 2016. *La Gomera. Entre bosques y taparuchas*. Actas XI Semana Científica Telesforo Bravo. Instituto de Estudios Hispánicos de Canarias. Puerto de la Cruz.

PAIS PAIS, J.F.; J. DE LA NUEZ PESTANA; R.T. GÉNOVA SANTOS; A. SANTOS GUERRA; F.M. MEDINA; J. AFONSO-CARRILLO (Ed.). 2018. *La Palma. Agua, tierra, fuego y cielo.* Actas XIII Semana Científica Telesforo Bravo. Instituto de Estudios Hispánicos de Canarias. Puerto de la Cruz.

PERDOMO REYES, I.; S. CLEMENTE; Á. GONZÁLEZ-RODRÍGUEZ; C. RODRÍGUEZ; C. MARTÍNEZ PULIDO; J. AFONSO-CARRILLO (Ed.). 2022. *Mujeres de la Ciencia*. XVII Semana Científica Telesforo Bravo. Instituto de Estudios Hispánicos de Canarias. Puerto de la Cruz.

PERERA BETANCORT, M.A.; J.A. REYES BETANCORT; E. MATEO MEDEROS; A. CARRASCO MARTÍN; S. GONZÁLEZ RUIZ; J. AFONSO-CARRILLO (Ed.). 2015. *Lanzarote. Naturaleza entre volcanes*. Actas X Semana Científica Telesforo Bravo. Instituto de Estudios Hispánicos de Canarias. Puerto de la Cruz.

PÉREZ DE PAZ, P.L.; C. SANGIL; N. AGUILAR SOTO; J.C. HERNÁNDEZ; P.A. HERNÁNDEZ; J. AFONSO-CARRILLO (Ed.). 2013. *El Hierro: nacimiento de un volcán*. Actas de la VIII Semana Científica Telesforo Bravo. Instituto de Estudios Hispánicos de Canarias. Puerto de la Cruz.

RÍOS MESA, D.; I. RODRÍGUEZ TORRES; R. CABRERA PÉREZ; F. SABATÉ BEL; M.C. JAIZME-VEGA; J. AFONSO-CARRILLO (Ed.). 2012. *Agricultura en Canarias: conciliando tradición y ciencia.* Actas VII Semana Científica Telesforo Bravo. Instituto de Estudios Hispánicos de Canarias. Puerto de la Cruz. 205

SÁNCHEZ GARCÍA, I.; J. AFONSO-CARRILLO; J. COELLO BRAVO; J.J. COELLO BRAVO; J. GONZÁLEZ; J. AFONSO-CARRILLO (Ed.). 2021. *Reflexiones medioambientales en tiempos de un coronavirus*. Actas XVI Semana Científica Telesforo Bravo. Instituto de Estudios Hispánicos de Canarias. Puerto de la Cruz.