

Galindo, I., C. Romero, M. Llorente, J.C. Rubio, J. Vegas, N. Sánchez & G.A. Díaz (2017). Resultados preliminares del inventario de lugares de interés geológico submarino del Geoparque Mundial UNESCO de Lanzarote y Archipiélago Chinijo. En Afonso-Carrillo, J. (Ed.), *Investigando el mar: viaje al planeta agua*, pp. 15-40. Actas XII Semana Científica Telesforo Bravo. Instituto de Estudios Hispánicos de Canarias. Puerto de la Cruz. 202 pp. ISBN 978-84-697-6097-0

1. Resultados preliminares del inventario de lugares de interés geológico submarinos del Geoparque Mundial UNESCO de Lanzarote y Archipiélago Chinijo

Inés Galindo^a, Carmen Romero^b, Miguel Llorente^c, Juan C. Rubio^d, Juana Vegas^e, Nieves Sánchez^a y Gonzalo A. Díaz^a

^a *Unidad Territorial de Canarias. Instituto Geológico y Minero de España. Alonso Alvarado 43. 35003, Las Palmas de Gran Canaria. i.galindo@igme.es; n.sanchez@igme.es; ga.diaz@igme.es*

^b *Departamento de Geografía. Universidad de La Laguna, 38207, La Laguna. Tenerife. mcromero@ull.edu.es*

^c *Unidad Territorial de Santiago de Compostela. Instituto Geológico y Minero de España. Cardenal Payá, 18, 1º. 157003, Santiago de Compostela (A Coruña) m.llorente@igme.es*

^d *Unidad Territorial de Granada. Instituto Geológico y Minero de España. Urb. Alcázar del Genil, 4-Edif. Zulema, Bajo. 18006, Granada jc.rubio@igme.es*

^e *Área de Patrimonio Geológico y Minero. Instituto Geológico y Minero de España. Ríos Rosas 23. 28003, Madrid. j.vegas@igme.es*

El estudio del patrimonio geológico pone en valor los recursos paisajísticos y geológicos del territorio para una adecuada protección y transmisión del conocimiento a la sociedad, que cada vez más demanda un uso sostenible del medio. Este artículo supone una gran oportunidad para divulgar los resultados preliminares del primer estudio sistemático que se ha realizado en Canarias sobre patrimonio geológico submarino. Durante este trabajo se han descrito, hasta el momento, un total de 17 lugares de interés geológico (LIG) submarinos, de los cuales 9 son estructuras que constituyen una prolongación de la

geología de superficie por debajo del nivel del mar, y otros 8 corresponden a elementos no relacionados con ella. Todos ellos forman parte de la actualización que se está realizando del inventario de LIG del Geoparque Mundial UNESCO de Lanzarote y Archipiélago Chinijo. El estudio supone un gran avance a nivel mundial en cuanto a la descripción del patrimonio geológico submarino, al ser uno de los pocos lugares del mundo donde se han inventariado y descrito LIG bajo el mar. Su principal función es proporcionar una herramienta para promover su conocimiento y facilitar su puesta en valor y aprovechamiento de cara a su uso y gestión como recurso geológico sostenible, especialmente para el turismo geológico de buceo.

Introducción

El patrimonio geológico es una de las ramas de la geología que más recientemente ha atraído la atención de la comunidad científica en el ámbito de la geología. Este puede definirse 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 presente y d) el origen y evolución de la vida*” (Ley 42/2007 de Patrimonio Natural y Biodiversidad). Para caracterizar el patrimonio geológico se utilizan los lugares de interés geológico o LIG que por su carácter único y/o representativo muestran una o varias características notables y significativas del patrimonio geológico de una región natural.

Las islas Canarias son islas volcánicas oceánicas intraplaca que, por su origen y localización cercana al continente africano, poseen un patrimonio natural singular. El patrimonio geológico del Archipiélago Canario es de tal importancia y riqueza que muchos ámbitos, afloramientos y elementos geológicos de las islas forman parte de inventarios de ámbito internacional, nacional, regional, insular o local. A escala global, Canarias cuenta con 10 LIG de relevancia internacional, definidos durante la ejecución del proyecto *Global Geosites*, desarrollado por la Unión Internacional de las Ciencias Geológicas (IUGS), con el patrocinio de la UNESCO y que fue ejecutado en España por el Instituto Geológico y Minero de España (<http://www.igme.es/patrimonio/GlobalGeosites.htm>). Este programa pretende, a través de la elaboración de un inventario informatizado, divulgar el conocimiento geológico entre la población y servir de base de cara a actuaciones de conservación, entre las que se incluyen su declaración como lugares

protegidos, en reconocimiento a sus altos valores geológicos (Carcavilla & Palacio, 2010). Los 10 LIG reconocidos están repartidos por todas las islas y se enmarcan dentro del contexto “Edificios y morfologías volcánicas de las Islas Canarias” (Barrera, 2009:

<http://www.igme.es/patrimonio/Listado%20Geosites%20enero2011.pdf>).

A escala insular, es en El Hierro y Lanzarote donde se ha apostado más por la utilización y aprovechamiento del patrimonio geológico como recurso económico. Este hecho ha sido reconocido por la creación de dos Geoparques Europeos, el Geoparque de El Hierro en 2014 (Serra *et al.*, 2015) y el Geoparque de Lanzarote y Archipiélago Chinijo en 2015 (Galindo *et al.*, 2015a, 2015b, 2015c), ambos reconocidos como geoparques Mundiales de la UNESCO en 2015. En La Gomera, el Plan de Ordenación de los Recursos Naturales incluye 15 LIG (Coello & Castillo, 1998). Finalmente, en Fuerteventura existe un inventario de recursos vulcanológicos (Casillas & Torres, 2011).

Localmente hay algunas actuaciones como la Carta Inventario de LIG de Granadilla de Abona en Tenerife (Coello *et al.*, 2012), el Inventario de LIG de la costa de Arucas en Gran Canaria (Déniz-González, 2009), o el Inventario de LIG de la costa de Las Palmas de Gran Canaria (Déniz-González, 2011). En el documento metodológico para la elaboración del inventario español de lugares de interés geológico, desarrollado por el IGME (García-Cortés *et al.*, 2014), se han incluido en Canarias 33 LIG adicionales inventariados en un proyecto financiado por el Organismo Autónomo de Parques Nacionales denominado INDICAGEOPARC (<http://info.igme.es/ielig/>).

La mayoría de estos inventarios reconocen solamente los LIG que pueden observarse en superficie. Sin embargo, en el caso de los Geoparques, se empiezan a reconocer LIG submarinos. En este capítulo se presentan los resultados preliminares de la revisión del inventario de LIG submarinos del Geoparque Mundial UNESCO de Lanzarote y Archipiélago Chinijo. No obstante, como la evaluación de los LIG de una zona debe ir precedida por un mínimo conocimiento de la morfología y geología submarina, en primer lugar explicaremos cuáles son los métodos para el estudio de la geología submarina. Seguidamente, haremos una introducción a la geología submarina de Lanzarote y una descripción de los LIG submarinos estudiados hasta el momento, finalizando con un breve análisis sobre el aprovechamiento y gestión de este patrimonio.

Métodos de estudio de la geología submarina

A lo largo de la historia, la humanidad siempre ha sentido curiosidad por el medio marino realizando expediciones para conocerlos. Se podría decir que el nacimiento de la oceanografía moderna viene de la mano de la

expedición científica que realizó el buque HMS Challenger entre 1872 y 1876 cuya misión era recopilar datos del medio marino referentes a las corrientes, la vida marina, la temperatura, la química de las aguas y la geología de los fondos (Corfield, 2003). Desde entonces, la tecnología asociada al estudio de la geología submarina ha avanzado mucho resultando en un mejor conocimiento del medio marino.

La geología submarina se puede estudiar con métodos directos, que permiten obtener información a partir de la observación y análisis de los depósitos, y con métodos indirectos, que interpretan la geología en función de datos procedentes de estudios geodésicos, gravimétricos, sísmicos, magnéticos y acústicos (Fig. 1).

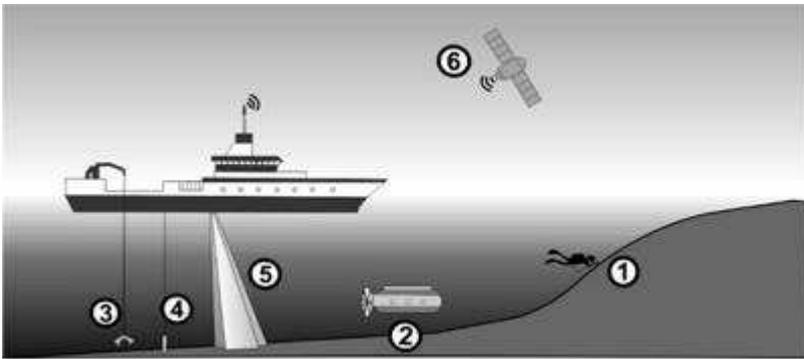


Fig. 1. Métodos de estudio de la geología submarina. Métodos directos: 1, Buceador; 2, Minisubmarino; 3, Draga; 4, Sacatestigo. Métodos indirectos: 5, Ecosondas Multihaz; 6, Navegación de precisión mediante GPS.

Métodos Directos

La técnica más sencilla consiste en el reconocimiento del terreno y toma de muestras, medidas, fotos, por parte de buceadores profesionales con conocimiento en geología. Otro recurso incorporado durante las últimas décadas en la investigación del medio submarino es el uso de submarinos robotizados que pueden acceder a zona mucho más profundas y tomar imágenes, muestras, etc. Los modelos más avanzados tienen capacidad para sumergirse hasta 6.000 m de profundidad.

El muestreo del fondo marino puede realizarse también desde barcos. En este caso, las muestras se pueden obtener a través de dragas, saca-testigos y rastras. Las dragas son empleadas para obtener la parte más superficial del substrato rocoso, aunque no conserva la secuencia estratigráfica porque mezcla los materiales. No obstante, ofrecen una primera visión de la constitución superficial de un determinado sector. Las rastras son arrastradas a baja velocidad por el fondo, durante un determinado tiempo, cubriendo un área mayor que las dragas. Los saca-

testigos permiten la extracción de muestras continuas de roca que conservan las estructuras y secuencias sedimentarias pudiendo obtener, dependiendo del instrumento, hasta 50 m de profundidad. En ocasiones también es necesaria la toma de muestras de agua para obtener índices de pH, salinidad, conductividad, contenido en nitratos, oxígeno, y otros elementos que pueden ser muy útiles para el estudio de aspectos hidrogeológicos, actividad volcánica o actividad biológica, por mencionar algunos.

Métodos indirectos

La tecnología más avanzada en prospección geológica submarina está basada en la combinación de Ecosondas Multihaz, sísmica de alta resolución y navegación de detalle mediante GPS en modo diferencial (Acosta, 2003, 2011). Las ecosondas multihaz proporcionan una precisión muy alta en la representación del relieve submarino, emitiendo centenares de haces sonoros cada segundo y, mediante un barrido en abanico, consiguen cubrir la totalidad del lecho marino. Por otro lado, la sísmica de alta resolución facilita información de los primeros cientos de metros del fondo marino, emitiendo sonidos de alta frecuencia que posibilita obtener un corte vertical que proporciona datos sobre el tipo de subsuelo marino (naturaleza, consolidación, disposición). Estas tecnologías, unidas al uso de sistemas de posición GPS, con correcciones diferenciales, permiten realizar mapas, vistas tridimensionales del fondo marino y representaciones en forma de cartografía batimétrica y modelos digitales del terreno (MDT), que resultan en un conocimiento de la morfología de las superficies sumergidas de alta precisión.

Geología de los flancos submarinos de Lanzarote

La geología de los fondos marinos de Lanzarote no es una completa desconocida, aunque sí hay que decir que los trabajos son escasos. Los primeros estudios trataban de explicar la estructura de la corteza bajo la isla (Banda *et al.*, 1981). Posteriormente, la obtención de batimetrías de los flancos submarinos de Lanzarote ha permitido el estudio de los grandes deslizamientos (Acosta, 2003; Acosta *et al.*, 2005; Cuñarro *et al.*, 2014). En 2005, se publicó el mapa geomorfológico de España y del margen continental a escala 1:1.000.000 (Martín Serrano, 2005). Más recientemente, la interpretación de la batimetría desde un punto de vista geológico y/o geomorfológico ha resultado en otro tipo de trabajos como el estudio de la prolongación del tubo volcánico de La Corona bajo el mar (Carracedo *et al.*, 2003), la cartografía geomorfológica de los flancos submarinos a escala 1:25.000, la cartografía de la continuación de las coladas volcánicas cuaternarias bajo el mar (Martín, 2014), o el descubrimiento de un volcán sumergido cerca de la costa de Famara (Martín *et al.*, 2015). También se ha llevado a cabo la identificación de conos y alineaciones volcánicas

submarinas con el fin de realizar un estudio de susceptibilidad volcánica del edificio insular (Galindo *et al.*, 2016). Finalmente, existe información geológica, aunque muy limitada, en la guía de inmersiones de la Reserva de la Biosfera (Boyra & Fernández, 2011).

Metodología para la realización del inventario de LIG submarinos

El estudio de los LIG submarinos ha pasado desapercibido hasta el momento. En este trabajo presentamos el primer estudio de patrimonio geológico submarino realizado en Canarias. Se trata de la identificación, inventario y caracterización de 17 LIG submarinos del Geoparque Mundial UNESCO de Lanzarote y Archipiélago Chinijo. Este trabajo se está realizando en el marco del Convenio Específico de Colaboración del Cabildo Insular de Lanzarote e IGME (2014-2017), en el que se está actualizando el inventario de LIG del Geoparque (Galindo *et al.*, 2015a).

En Lanzarote, se hizo un inventario de LIG submarinos en base a los datos disponibles de diversas zonas protegidas. Sin embargo, no existía ningún estudio previo de patrimonio geológico submarino, por lo que se ha empezado por hacer un inventario de reconocimiento avanzado (Carcavilla *et al.*, 2007). Es decir, se parte de la clasificación del medio geológico submarino para obtener los lugares más representativos de la diversidad geológica. La metodología llevada a cabo ha seguido, al igual que para los LIG en superficie, el documento metodológico para la elaboración del inventario español de lugares de interés geológico (IELIG), elaborado por el IGME (García-Cortés *et al.*, 2014).

El primer paso para la realización del inventario consistió en la revisión de la bibliografía existente sobre la geología del medio litoral y submarino. Además se dedicó especial atención a la geología de la zona intermareal y se consultó con buceadores expertos de la zona. De esta forma se preseleccionaron lugares de posible interés geológico en función de la bibliografía, los datos geológicos observados en los sectores litorales emergidos y los valores biológicos y ecológicos, teniendo en cuenta las zonas de buceo que mayor interés despiertan.

La siguiente fase consistió en revisar todos estos posibles LIG. Así pues se llevaron a cabo dos campañas de 15 días de duración durante las cuáles geólogos y buceadores locales con gran experiencia realizaron inmersiones con el fin de inspeccionar las zonas preseleccionadas. De estas campañas, junto con la información de la geología superficial en algunos casos y el análisis de la representatividad e interés de cada uno de esos sectores, se obtuvo un nuevo listado. Posteriormente se llevó a cabo la caracterización de cada uno de los lugares visitados, incluyendo descripciones geomorfológicas y geológicas, fotografías, esquemas, toma

de muestras, medida de buzamientos y orientaciones y otros datos significativos.

Ya en gabinete se realizó la selección definitiva de LIG y su delimitación. Muchos de los lugares identificados incluyen en sus límites una parte superficial y otra submarina, ya que al estar asociadas al mismo proceso geológico se han tratado conjuntamente. En estos casos se ha optado por usar el término “litoral” en lugar de “submarino”. Este término se utiliza en su acepción geográfica, para referirnos a aquellos LIG que se encuentran en la zona de transición entre los sistemas terrestres y los marinos. Finalmente, se llevó a cabo la realización de las fichas del inventario que incluyen la denominación, localización (descriptiva y gráfico) y descripción de cada LIG, los parámetros justificativos de la elección del lugar, la caracterización del itinerario de acceso, fotos, referencias y un análisis sobre el valor de la calidad de cada uno de los sectores.

Lugares de interés geológico submarino del Geoparque de Lanzarote y Archipiélago Chinijo

Hasta el momento se han inventariado y estudiado diecisiete LIG submarinos: diez en Lanzarote, tres en La Graciosa, dos en Alegranza, uno en Montaña Clara y otro en el Roque del Este (Fig. 2, Tabla 1). La mayoría tienen un interés principal volcanológico, pero los hay también de tipo geomorfológico, sedimentológico e hidrogeológico. A continuación se describen brevemente las principales características de cada uno de los LIG inventariados hasta el momento en el Geoparque.



Fig. 2. Localización de los LIG indicando su interés principal.

Tabla 1. LIG submarinos incluidos en la revisión del inventario del Geoparque de Lanzarote y Archipiélago Chinijo.

Nombre del LIG	Elemento Geológico	Interés principal	Localización
Depósitos volcánicos de Montaña Amarilla	Depósitos hidromagmáticos	Volcanológico	La Graciosa
Tubo volcánico de la Atlántida	Tubo volcánico	Volcanológico	Lanzarote
Las Bajas	Cono sumergido	Volcanológico	Lanzarote
Delta lávico de Puerto Moro	Delta lávico	Volcanológico	Lanzarote
Delta lávico de Costa Teguisse	Delta lávico	Volcanológico	Lanzarote
Delta lávico de Arrecife	Delta lávico	Volcanológico	Lanzarote
Diques de Las Coloradas	Diques y playa fósil	Volcanológico	Lanzarote
Diques de Las Gerardías	Corales en diques	Volcanológico	Montaña Clara
Barranco sumergido de Puerto Viejo	Formas erosivas en lavas	Geomorfológico	Alegranza
Cueva litoral Alegranza	Cueva litoral	Geomorfológico	Alegranza
Túnel litoral Roque del Este	Túnel erosivo	Geomorfológico	Roque del Este
Cueva litoral de Guatiza	Cueva litoral	Geomorfológico	Lanzarote
Delta lávico de Pto. Del Carmen	Delta lávico	Geomorfológico	Lanzarote
Veril de las Anclas	Barra litoral	Sedimentológico	La Graciosa
Arenas del Caletón Blanco	Lavas cordadas y arenas	Sedimentológico	Lanzarote
Sebadales de Arrieta y Punta Mujeres	Arenas	Sedimentológico	Lanzarote
Surgencia de Caleta del Agua Ardiente	Surgencia intramareal	Hidrogeológico	La Graciosa

Depósitos volcánicos de Montaña Amarilla

Montaña Amarilla es un volcán hidromagmático cuyos depósitos de intenso color amarillo son de espectacular belleza tanto dentro como fuera del agua (Figs 2 y 3). Esta zona presenta una gran geodiversidad, pudiendo observarse además de las estructuras típicas asociadas a los depósitos de génesis hidromagmática (slumps, lapillis acrecionales), un dique de alimentación, estructuras erosivas como los tafonis, arenas de playa que pasan de tener estructuras de corriente (ripples) bajo el agua y en la orilla a ser transportadas por el viento y formar una duna en superficie, coladas que llegaron al mar y se derramaron en condiciones subacuáticas formando lavas almohadilladas, una plataforma litoral, bloques desprendidos bajo el agua. Este LIG es de interés esencialmente volcanológico, ya que ayuda a entender el proceso de construcción de un volcán en condiciones de contacto agua-magma. La parte submarina ayuda a completar la secuencia volcanoestratigráfica que se aprecia en superficie.



Fig. 3. Estratificaciones cruzadas en depósitos hidromagmáticos de Montaña Amarilla.

Tubo volcánico de la Corona-Atlántida

Hace 25.000 años, cuando el nivel del mar estaba mucho más bajo que hoy en día, se produjo la erupción del volcán de La Corona. Durante esta erupción se emitieron gran cantidad de coladas de lava en las que se desarrolló un gran tubo volcánico de más de 9 kilómetros de longitud. Desde entonces, el nivel del mar ha ascendido y ha dejado bajo el agua una caverna submarina de 1,6 kilómetros de recorrido. En el sector emergido, está formado por un complejo de pasillos y galerías superpuestas con grandes bóvedas y pequeñas lagunas interiores. En superficie, el tubo se identifica por la sucesión encadenada de jameos (desplomes de la bóveda del tubo volcánico que facilitan accesos naturales al interior). Otra singularidad son las infraestructuras turísticas de Los Jameos y Cueva de los Verdes, diseñadas por César Manrique y Jesús Soto, que las hacen únicas a nivel mundial. Desde el extremo este de Los Jameos puede observarse el acceso a la parte sumergida del tubo (Figs 2 y 4). Se trata de un LIG de interés volcanológico y paleoclimático, pues todas las estructuras preservadas en su interior (cornisas, estafilitos, morfologías lávicas) sólo pudieron formarse en ambiente emergido. Su localización bajo el agua es prueba evidente del posterior ascenso del mar durante los últimos 25.000 años.



Fig. 4. Zona del tubo volcánico de La Corona que sirve de acceso a la zona sumergida (túnel de la Atlántida).

Las Bajas

Cerca de la Playa de Famara, se observa una zona de rompiente donde asoman algunos filos y aristas de roca (Figs 2 y 5), que tienen como topónimo *Las Bajas de Famara*. Estos farallones corresponden a la cima erosionada de un volcán que se formó en superficie cuando el nivel del mar estaba más bajo y que ha quedado sumergido durante el último interglaciar. Las rocas que se observan sobre la superficie están formadas por piroclastos basálticos y restos de los conductos de alimentación (chimeneas volcánicas) del volcán. El análisis de la batimetría muestra la morfología del cono y de las dos coladas de lava emitidas. Estas lavas presentan morfologías típicas de lavas superficiales como los levées laterales y otras líneas de flujo, como los arcos de presión. El lugar es peligroso para el buceo y las actividades recreativas en general debido a la presencia de fuertes corrientes generadas por las mareas y los vientos y por el batir y circundar del oleaje sobre las rocas. Se trata de un LIG de interés volcanológico y paleoclimático. Corresponde a una erupción de gran volumen que edificó un conjunto volcánico cuya superficie es similar a la que constituye el islote de Alegranza, y que es huella evidente de un nivel del mar mucho más bajo que el actual, conservando aún parte del edificio volcánico y de los flujos lávicos emitidos desde el mismo.



Fig. 5. Restos de la cima del volcán de Las Bajas. Al fondo el acantilado de Famara (izquierda) y la playa de Famara (derecha).

Delta lávico de Puerto Moro

En la costa de Charco del Palo y Puerto Moro las lavas basálticas procedentes de la erupción holocena de La Calderas de Guatiza forman un delta de lava progradante. Las lavas emplazadas en una fuerte pendiente (Figs 2 y 6) se apoyan, al menos en el sector norte sobre un campo de dunas del Pleistoceno Superior. Bajo el mar se pueden observar algunas zonas de hialoclastitas, fragmentos de la lava formados durante las explosiones que se producen al entrar la lava en contacto con el agua fría del mar. Algunas morfologías parecen estar asociadas a la presencia de lavas almohadilladas. Las zonas menos masivas han sido erosionadas dando lugar a morfologías muy variadas y a la formación de cuevas. El interés del LIG es evidentemente volcanológico, ya que no siempre se tiene la oportunidad de ver los cambios generados durante el emplazamiento de una colada al entrar en el mar y los rasgos que caracterizan su emplazamiento bajo el agua.

Delta lávico de Costa Teguisse

Bajo el mar de Costa Teguisse se esconde a unos 15-20 m de profundidad una gran colada de lava submarina que se pierde hacia los 45 m de profundidad. En ella se pueden identificar desde lavas almohadilladas en la base (Figs 2 y 7) a fases de hialoclastitas más someras. El veril muestra un trazado arqueado, con una longitud superior a los 3 km, que pone de manifiesto la planta en abanico del delta y el emplazamiento de las coladas en un sector de fuerte pendiente. En algunos puntos del frente del veril se pueden observar conos de derrubios de ladera submarina que yacen sobre la



Fig. 6. Lavas submarinas del delta lávico de Puerto Moro.

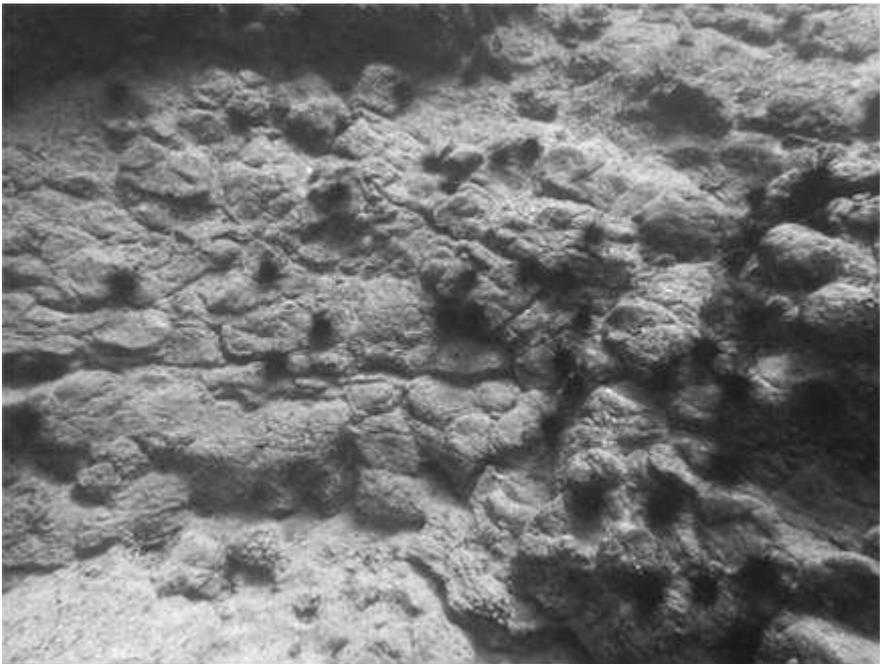


Fig. 7. Detalle de las lavas almohadilladas del delta lávico de Costa Teguisé.

planicie arenosa que se observa al final del frente rocoso. El interés de este sector es volcanológico, pues constituye un afloramiento de un delta ya parcialmente sometido a procesos erosivos, mucho más antiguo que el anterior, que son los que permiten ver la disposición estratigráfica de los elementos que configuran habitualmente los deltas sumergidos.

Delta lávico de la Marina de Arrecife

El litoral de Arrecife está compuesto por un delta lávico formado hace más de 700 mil años que puede seguirse parcialmente en superficie a lo largo de la costa de la ciudad. Sobre estas lavas se formó una playa, actualmente fósil, cuyos restos pueden observarse puntualmente en afloramientos discontinuos a lo largo de la costa, especialmente en la zona central de la playa actual de El Reducto (Figs 2 y 8), en los bloques utilizados para la construcción del puente de Las Bolas o en la base del Castillo de San Gabriel. La baja pendiente de la costa hace que la oscilación de la marea sea muy notable, quedando expuestas amplias superficies durante la bajamar. Actualmente, forma una plataforma marina poco profunda salpicada de charcos e islotes rocosos que resguardan la costa del oleaje y las corrientes oceánicas. Este abrigo natural propició la construcción del puerto de Arrecife. El interés de este LIG es volcanológico, ya que es un delta de gran



Fig. 8. Vista de la playa del Reducto en Arrecife durante la marea baja. En las zonas rocosas de la zona central de la playa actual pueden observarse restos de una playa fósil.

superficie y complejidad geológica, pero también estratigráfico y sedimentológico, evidenciando fases de erosión y de sedimentación posteriores a la formación de las coladas.

Diques de Las Coloradas

En la costa de Las Coloradas se observan, tanto en superficie como bajo el agua, los conductos por los que ascendió el magma (diques) a la superficie hace más de 10 millones de años. Estos diques atraviesan las rocas de una estructura volcánica muy antigua, denominada como Macizo de Los Ajaches, formada a lo largo del Mioceno. La erosión diferencial ha puesto en relieve una densa red de diques, que resaltan sobre el fondo arenoso y muestran el esqueleto de ese antiguo edificio (Figs 2 y 9). Este afloramiento es de interés principalmente volcanológico, debido a la excelente observación de los conductos magmáticos. El paisaje submarino que genera el contraste entre los diques oscuros que emergen del fondo y la superficie arenosa blanquecina es muy rico en matices.

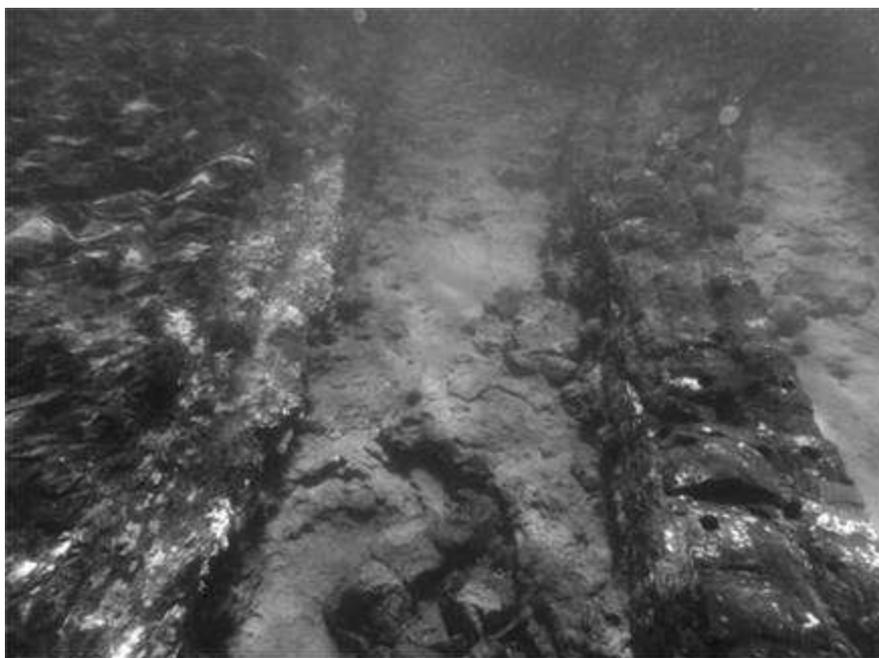


Fig. 9. Vista de los diques que atraviesan las rocas del Macizo de Los Ajaches bajo el agua.

Diques de Las Gerardias

Al suroeste del islote de Montaña Clara se encuentra un sistema de conductos volcánicos (diques) que forman paredes casi verticales de gran

desarrollo desde el fondo del mar. Bajo el agua, estas estructuras constituyen relieves invertidos, formados por la erosión de la roca volcánica (más blanda) que les rodea. La orientación de estas paredes con respecto al sol, genera zonas sombrías que, junto con la productividad de las aguas y la apertura a las corrientes dominantes, crean un hábitat ideal para alojar una comunidad de corales que normalmente se encuentran a mayor profundidad (Figs 2 y 10). Se localiza aquí la mayor densidad del antozoo *Gerardia savaglia* del mundo a menor profundidad de la habitual. Este espacio se encuentra incluido dentro de la Reserva Marina Isla Graciosa e islotes del norte de Lanzarote.



Fig. 10. En Las Gerardias los corales crecen en sentido perpendicular a los planos rocosos para maximizar el aprovechamiento de los flujos ascendentes y descendentes cargados de nutrientes.

Barranco sumergido de Puerto Viejo

En Puerto Viejo, en el flanco meridional sumergido de La Caldera de Alegranza, se observan las rocas formadas durante esta erupción hidromagmática, como laminaciones, bombas, huellas de impacto, etc. Sin embargo, lo más llamativo de este lugar es que todo el conjunto se encuentra surcado por lo que parece constituir una antigua red de barrancos, en la que se observan amplias marmitas de gigantes rellenas por clastos redondeados (Figs 2 y 11), muy semejantes a las que caracterizan al dorso

superficial de La Caldera. El interés principal es geomorfológico, debido a las formas erosivas asociadas a la circulación de aguas corrientes durante fases con niveles del mar más bajos que los actuales.



Fig. 11. Marmita de gigante rellena de clastos redondeados a lo largo de uno de los barrancos sumergidos del flanco sur de la Caldera de Alegranza.

Cueva litoral de Alegranza

Conocida como “Jameo de Alegranza”, esta cueva litoral, parcialmente inundada por el mar, tiene una longitud de más de 100 m, entre 4 y 14 m de ancho y unos 8 m de altura. Desde su entrada en la costa se divide en una zona cubierta, una zona abierta por el colapso del techo (Figs 2 y 12) y una caverna. Este LIG de interés geomorfológico es representativo de la formación de cuevas litorales por erosión preferencial del mar a favor de una fractura que, en este caso, corta los depósitos hidromagmáticos del flanco del volcán de La Caldera. Esta fractura es visible en el techo de la cueva en toda su longitud.

Túnel litoral del Roque del Este

El origen del túnel del Roque del Este (Figs 2 y 13) es similar al de la cueva de Alegranza con dos diferencias: en este caso en vez de una cueva es un túnel, tiene entrada y salida; y la erosión se produce preferentemente por erosión diferencial entre un dique basáltico y la roca hidromagmática



Fig. 12. Zona de la cueva litoral de Alegranza donde el techo ha colapsado.



Fig. 13. Sección del túnel del Roque del Este.

blanda. En este túnel también se observan evidencias de erosión hídrica superficial como marmitas de gigante, pequeños cañones y cantos rodados de lecho erosivo. En el fondo de la cavidad hay bastantes bloques desprendidos del techo (con aristas marcadas, geometrías irregulares, prismáticas), que se mezclan con bloques rodados. El entorno es muy rico en fauna. El interés principal de este LIG es, como en el caso anterior, geomorfológico, siendo en este caso una morfología erosiva litoral que se ha excavado por erosión diferencial.

Cueva litoral de Guatiza

La Cueva de Guatiza (Figs 2 y 14), también conocida por los nombres de Cueva del Agua o Jameo de Guatiza, es una formación erosiva litoral desarrollada sobre las coladas de menos de 10.000 años de Guatiza. En superficie se puede observar una poza con agua de mar de planta circular, con un puente de roca que la separa del mar. Sin embargo, bajo este puente, la cueva está conectada con el mar por un tubo erosivo. El interés de este LIG es geomorfológico y representativo de una forma de erosión litoral propia de acantilados rocosos bajos labrados sobre coladas de lava basálticas, en la que parte del techo de la cueva ha colapsado por erosión del material inferior.



Fig. 14. Vista de la entrada al túnel del “Jameo de Guatiza”.

Delta lávico de Puerto del Carmen

La zona litoral de Puerto del Carmen está formada por una plataforma marina desarrollada sobre lavas. La erosión litoral modeló las lavas dando lugar a una gran diversidad de geoformas. Destacan las grandes cuevas submarinas como La Catedral, los tubos erosivos y los hongos (Figs 2 y 15). Estos últimos son aquí de gran belleza. Son abundantes las disyunciones columnares en la zona central de las lavas formando órganos o rosas. En el frente de las coladas se observan desprendimientos que afloran semienterrados en la arena. Claramente, el interés principal de este LIG es geomorfológico debido a la calidad de las morfologías y la posibilidad de observar todos los estadios de formación de los hongos, desde las primeras etapas de erosión de las coladas, hasta su separación de estas.



Fig. 15. Morfología litoral erosiva en forma de hongo en Puerto del Carmen.

Veril de las Anclas

El Veril de las Anclas es una estructura lineal sumergida que se extiende desde la costa oeste de Lanzarote hasta la costa este de La Graciosa. Este LIG tiene interés sedimentológico y está representado por una barra litoral sedimentaria formada por una calcarenita de grano grueso con laminaciones paralelas. El afloramiento rocoso se eleva unos cuatro metros respecto al fondo arenoso. La erosión que ha sufrido esta roca genera voladizos y una

gran diversidad de geofomas (Figs 2 y 16) y abrigos de roca que albergan una gran cantidad de fauna.



Fig. 16. Estructuras erosivas en las areniscas de la barra del veril de Las Anclas.

Arenas del Caletón Blanco

La costa noreste de Lanzarote está cubierta por las lavas basálticas negras que en algunas zonas están cubiertas por barras de arenas blancas formadas principalmente por fragmentos de conchas. Las arenas son arrastradas por las corrientes oceánicas hacia la costa, desde donde son movilizadas tierra adentro por el viento. Paisajísticamente es un lugar muy llamativo, tanto desde el punto de vista del contraste de colores como de las texturas. En la playa del Caletón Blanco se ha formado una plataforma lávica en la que, durante la marea baja, se forman piscinas naturales de poca profundidad, muy adecuadas para la práctica de snorkel. Además, la zona submarina tiene gran riqueza biológica (Figs 2 y 17). El principal interés de este LIG es la sedimentología de las arenas, tanto en el mar como fuera del agua.

Sebadales de Arrieta y Punta Mujeres

Los sebadales deben su nombre a la presencia de praderas de seba (*Cymodocea nodosa*), una fanerógama marina perteneciente a la familia

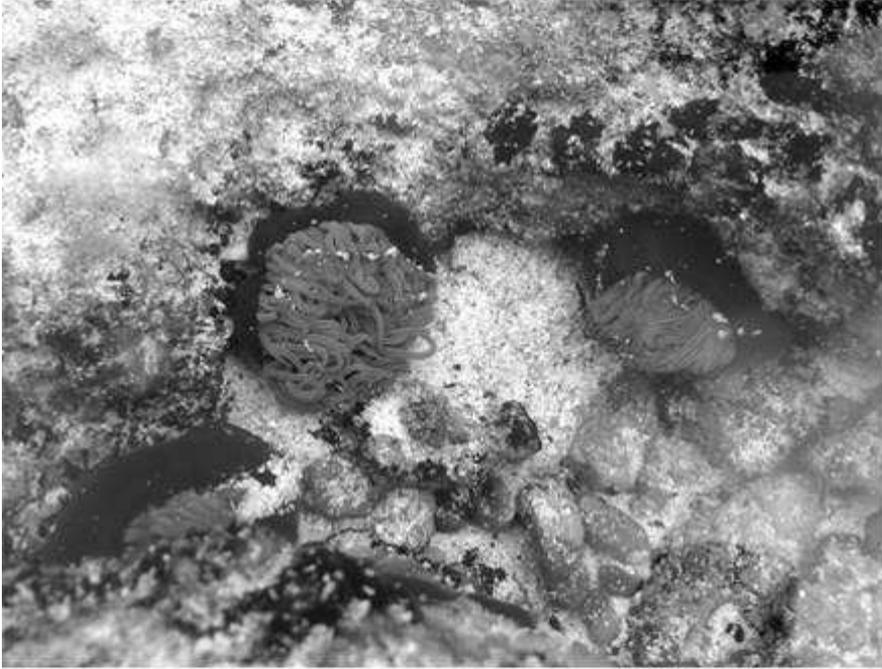


Fig. 17. Anémonas en la zona intermareal del Caletón Blanco.

Cymodoceaceae. El hábitat ideal para el desarrollo de los sebadales es un sustrato formado por arenas que, en este caso, son arrastradas por las corrientes marinas hacia la costa y tienen tamaño grueso y origen bioclástico. En los fondos arenosos se pueden observar estructuras de corriente (ripples) y de bioturbación asociadas a la presencia de anélidos en el sustrato (Figs. 2 y 18). El interés sedimentológico de este LIG es obvio ya se trata de una acumulación de arenas en aguas someras y tranquilas que constituyen el habitar de un ecosistema muy particular.

Surgencia de Caleta del Aguardiente

En La Graciosa se localiza el único LIG de interés hidrogeológico que se ha definido. A lo largo de la costa este se pueden observar en la zona intermareal algunas zonas del fondo marino que desprenden burbujas, pero es en la Caleta del Aguardiente donde este proceso es más fácilmente visible durante la bajamar (Figs 2 y 19). Las burbujas suelen concentrarse en zonas de grietas del sustrato, formado por una arenisca fracturada. En marea baja, en esta caleta son visibles varias surgencias de aguas salobres frías, que borbotean y generan fuentes artesianas dando la impresión de que el agua hierve, de ahí su topónimo.



Fig. 18. Montículos de bioturbación asociados a la presencia de anélidos en el sebadal de Arrieta.



Fig. 19. Salida de agua salobre en la zona intermareal de Caleta del Aguardiente, La Graciosa.

Consideraciones finales

El concepto de patrimonio geológico es muy reciente, más aún en el ámbito submarino, donde la mayor parte de los lugares con valores patrimoniales destacados está todavía por descubrir e inventariar. En el Geoparque Mundial UNESCO de Lanzarote y archipiélago Chinijo se ha realizado por primera vez un estudio a nivel insular que relaciona la geología superficial con la submarina y se han llevado a cabo estudios de detalle de la geología submarina litoral. Los resultados preliminares del inventario resultante ponen de manifiesto la riqueza geológica de sus fondos submarinos y las evidentes huellas que ha dejado el cambio climático. Aunque los resultados de este primer trabajo son fundamentales para la comprensión y conservación del patrimonio geológico submarino del Geoparque, constituyen tan solo una primera aproximación a las grandes cualidades geológicas de los territorios escondidos bajo el mar. En estos momentos, aún se continúa con el trabajo de catalogación e inventario de los lugares sumergidos de la isla de Lanzarote. Tras la finalización del trabajo no sólo se habrá obtenido un catálogo de los procesos, formas y afloramientos existentes bajo el agua, sino también un mejor conocimiento científico del entorno submarino que rodea la isla de Lanzarote. Aun así, será necesario continuar con el estudio de este entorno submarino del que todavía queda mucho que descubrir y aprender.

Con la información disponible ya se puede pensar en la explotación sostenible de este recurso geológico. Los LIG litorales son, en muchas ocasiones, fácilmente accesibles y utilizados como recurso turístico, aunque normalmente éste se centra en la observación de la fauna y la flora. Incluir la geología complementarían el resto de información enriqueciendo la experiencia del submarinista. Hay que tener en cuenta que, según las estadísticas de la DEMA (Diving Equipment and Marketing Association), los buceadores son normalmente varones, de unos 30 años de edad media, con un alto poder adquisitivo, vivienda propia y estudios superiores (<http://www.dema.org/>). Además, en 2013, la Asociación PADI (Asociación Profesional de Instructores de Buceo) contaba con más de 22 millones de buceadores acreditados y un crecimiento sostenido próximo a un millón de nuevas certificaciones al año (<https://www.padi.com/>) por lo que estaríamos contando con unos 25 millones de posibles clientes.

En el caso de Lanzarote, las últimas estadísticas publicadas por el Cabildo Insular sobre buceo (<http://www.datosdelanzarote.com>) indican que esta es la isla con más centros de buceo de Canarias, concentrando el 30% de los existentes en el archipiélago. El turismo de buceo supuso el 5% del total de turistas que visitaron la isla en el año 2014, con 117.643 usuarios. Estos turistas valoran las actividades de buceo con una puntuación de 8 en una escala de 10, siendo su estancia media en la isla más alta que la

del resto de turistas. Además, el gasto medio fue algo más elevado que la de los visitantes que no practicaron esta actividad deportiva.

Con una clientela de estas características, se podría desarrollar una oferta turística centrada en el patrimonio geológico submarino, contribuyendo así a la diversificación del turismo de sol y playa que predomina todavía en Lanzarote. Además, la interrelación entre el contexto geológico de superficie, el patrimonio geológico submarino, los ecosistemas asociados y su posible evolución, que han pasado desapercibidos en el buceo recreativo, supondría una experiencia mucho más completa para el buceador. En todo caso, el desarrollo del geoturismo submarino debe realizarse de forma sostenible, mediante la puesta en valor de la geología y una gestión que promueva su geoconservación. De esta forma, estaríamos creando un recurso geoturístico que podría ayudar a mantener el equilibrio de los ecosistemas marinos, mediante su puesta en valor y gestión sostenible.

Agradecimientos

El estudio de los LIG submarinos del Geoparque Mundial UNESCO de Lanzarote y Archipiélago Chinijo ha sido realizado en el marco de un Convenio Específico entre el Cabildo Insular de Lanzarote y el Instituto Geológico y Minero de España. Uno de los autores, G.A. Díaz, disfruta de una ayuda del MINECO para la contratación por el Sistema Nacional de Garantía Juvenil que está cofinanciada por parte del FSE y de la IEJ (PEJ-2014-p-00980). Los autores agradecen al Instituto Hidrográfico de la Marina y al Repositorio de Datos Marinos de Canarias (REDMIC) la cesión de las batimetrías para este trabajo. Nos gustaría igualmente destacar la colaboración de Elena Mateo y Clara Bonilla, personal del Geoparque, y de Jaime Arranz y Orlando Hernández de la Casa de los Volcanes. Agradecemos especialmente el trabajo de los buzos, Íñigo Labarga, Rafa Mesa y Hugo Pérez, que han aportado su conocimiento de la zona y la logística de las inmersiones.

Bibliografía

- ACOSTA, J. (2003). Cartografía Submarina. El Programa Estudio Hidrográfico y Oceanográfico de la Zona Económica Exclusiva Española.
- ACOSTA, J., E. UCHUPI, A. MUÑOZ, P. HERRANZ, C. PALOMO, M. BALLESTEROS & ZEE WORKING GROUP. (2005). Geologic evolution of the Canarian Islands of Lanzarote, Fuerteventura, Gran Canaria and La Gomera and comparison of landslide at these islands with those at Tenerife, La Palma and El Hierro. *Marine Geophysical Researche* 24: 1-40.
- ACOSTA, J. (2011). Cómo es el fondo marino y su geología en el margen SE español: mapa topobatimétrico en relieve del margen continental del sureste español. Instituto Español de Oceanografía. 26 pp.

- BANDA, E., J.J. DAÑOBEITIA, E. SURIÑACH & J. ANSORGE (1981). Features of crustal structure under the Canary Islands. *Earth Planet Science Letters* 55: 11-24.
- BARRERA, J.L. (2009). Volcanic edifices and morphologies of the Canary Islands. In: García-Cortés, A., J. Águeda Villar, J. Palacio Suárez-Valgrande & C.I. Salvador González (Eds.), *Spanish geological frameworks and geosites. An approach to Spanish geological heritage of international relevance*. Publicaciones del Instituto Geológico y Minero de España (IGME), Madrid: 146-156. (la versión CD-Rom incluye un listado de geosites a febrero de 2011)
- BOYRA, A. & C. FERNÁNDEZ-GIL (2011). *Lanzarote ideal. Guía de inmersiones. Oceanográfica*. Las Palmas de Gran Canaria.
- CARCAVILLA, L. & J. PALACIO (2010). *Geosites: aportación española al patrimonio geológico mundial*. Instituto Geológico y Minero de España. 231 pp. Madrid.
- CARCAVILLA, L., J. LÓPEZ MARTÍNEZ & J.J. DURÁN (2007). Patrimonio geológico y geodiversidad: investigación, conservación, gestión y relación con los espacios naturales protegidos. *Serie Cuadernos del Museo Geominero 7*. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid. 360 pp.
- CARRACEDO, J.C., B. SINGER, B. JICHA, H. GUILLOU, E.R. BADIOLA, J. MECO & A. LÁINEZ (2003). La erupción y el tubo volcánico del Volcán Corona (Lanzarote, Islas Canarias). *Estudios Geológicos* 59 (5-6): 277-302.
- CASILLAS, R. & J.M. TORRES (2011). *Inventario de recursos vulcanológicos de Fuerteventura*. Cabildo de Fuerteventura: 155 pp.
- CORFIELD, R.M. (2003). *The Silent Landscape: the Scientific Voyage of HMS Challenger*. Joseph Henry Press. ISBN 0-309-08904-2
- DE WEVER P., Y. LE NECHET & A. CORNEE (2006). Vade-mecum pour l'inventaire du patrimoine géologique national. *Mém. H.S. Société géologique de France* 12 - 162 pp.
- ELLIS, N.V., D.Q. BOWEN, S. CAMPBELL, J.L. KNILL, A.P. MCKIRDY, C.D. PROSSER, M.A. VINCENT & R.C.L. WILSON (1996). *An Introduction to the Geological Conservation Review*. Joint Nature Conservation Committee, Peterborough.
- FASSOULAS, C., A. TRICHAS & E. AVRAMAKIS (2008). *The geological heritage of Psiloritis*. Psiloritis Natural Park, Akomm - Psiloritis Development S.A. OTA, Anogia, 155 pp.
- FURZE, M.F.A. & M.J. ROBERTS (2004). *Assessing the Conservation Value of Geological Sites in the Marine Environment: Numerical Assessment of Candidate Sites*. Prepared for the Joint Nature Conservation Committee by the Centre for Applied Oceanography, School of Ocean Sciences, University of Wales, Bangor. Contract Number: F90-01-665.
- GALINDO, I., C. ROMERO, N. SANCHEZ & J. VEGAS (2015a). *Realización de estudios científico-técnicos sobre el aprovechamiento de los recursos volcánicos de Lanzarote*. Instituto Geológico y Minero de España. Cabildo de Lanzarote. Informe Técnico, inédito, 256 pp.

- GALINDO, I., C. ROMERO, N. SÁNCHEZ, J. VEGAS, C. GUILLÉN & E. MATEO (2015b). Sol, playa y mucha geología. Lanzarote y Archipiélago Chinijo declarados geoparque. *Tierra y tecnología* 46: 42-48. ISSN 1131-5016.
- GALINDO, I., C. ROMERO, J. VEGAS, N. SÁNCHEZ & E. MATEOS (2015c). Lanzarote and Chinijo Islands Geopark: a geoheritage made of fire, sands and sea. 2nd VOLCANDPARK Conference, Lanzarote, Canary Islands (Spain), 16-20 de Noviembre de 2015. VOLCANDPARK2 abstracts book, 45-46.
- GALINDO, I., C. ROMERO, N. SÁNCHEZ & J.M. MORALES (2016). Quantitative volcanic susceptibility analysis of Lanzarote and Chinijo Islands based on kernel density estimation via a linear diffusion process. *Scientific Reports* 6:27381. DOI: 10.1038/srep27381
- GARCÍA-CORTÉS, A. L. CARCAVILLA, E. DÍAZ-MARTÍNEZ & J. VEGAS (2014). Documento metodológico para la elaboración del Inventario Español de Lugares de Interés Geológico (IELIG). Instituto Geológico y Minero de España. Versión 16. 72 pp. Disponible en: <http://www.igme.es/patrimonio>
- MARTÍN SERRANO, A. (2005). Mapa Geomorfológico de España y del Margen Continental a escala 1:1.000.000. Madrid: IGME, 232 pp.
- MARTÍN, C. (2014). Estudio geomorfológico y geológico de los flancos submarinos de Lanzarote. Trabajo fin de título. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. 346 pp.
- MARTÍN, C., M. MARTÍN, I. GALINDO, C. ROMERO & M. LLORENTE (2015). Geological and geomorphological analysis of Las Bajas undersea volcano (Lanzarote, Canary Islands). 2nd VOLCANDPARK Conference, Lanzarote, Canary Islands (Spain), 16-20 de Noviembre de 2015. VOLCANDPARK2 abstracts book, 26-27.
- SERRA, J.P., V. MONTERO & J.J.M. ALEJANDRO (2015). El Hierro se convierte en el primer geoparque de las Islas Canarias. *De Re Metallica: revista de la Sociedad Española para la Defensa del Patrimonio Geológico y Minero* 24: 19-24.