

HALLAZGO DE CONCRECIONES TUBULARES DE ÓXIDOS DE HIERRO EN ARENISCA EN EL MONTE ULÍA (SAN SEBASTIÁN, PAÍS VASCO).

Discovery of tubular concretions of iron oxides in sandstone on Mount Ulía (San Sebastián, Basque Country).



Carlos GALÁN, José M. RIVAS & Marian NIETO. Sociedad de Ciencias Aranzadi. Laboratorio de Bioespeleología.

HALLAZGO DE CONCRECIONES TUBULARES DE ÓXIDOS DE HIERRO EN ARENISCA EN EL MONTE ULÍA (SAN SEBASTIÁN, PAÍS VASCO).

Discovery of tubular concretions of iron oxides in sandstone on Mount Ulía (San Sebastián, Basque Country).

Carlos GALÁN, José M. RIVAS & Marian NIETO.

Sociedad de Ciencias Aranzadi. Laboratorio de Bioespeleología.

Alto de Zorroaga. E-20014 San Sebastián - Spain.

E-mail: cegalham@yahoo.es

Enero 2022.

RESUMEN

Prospecciones efectuadas en una arista residual en la parte alta del acantilado de la punta exterior de Elgorri (litoral del monte Ulía) permitieron encontrar diversos tipos de concreciones y geoformas. Destaca la ocurrencia de concreciones tubulares y cilíndricas en el interior de concavidades de cannonballs vaciados, por lo que se trata de concreciones dentro de concreciones. En el sustrato de arenisca adyacente también se presentan formas tubulares y láminas duras de óxidos de hierro y silicatos de aluminio existiendo ejemplos que recuerdan a concreciones septarias y paramoudras. El trabajo describe los ejemplos hallados ilustrándolos con fotografía digital y discute su probable génesis.

Palabras clave: Karst en arenisca, Turbiditas, Cavidades, Concreciones, Geoformas, Septarias, Paramoudras.

ABSTRACT

Surveys carried out in a residual ridge in the upper part of the cliff of the outer point of Elgorri (coast of Mount Ulía) allowed finding different types of concretions and geoforms. The occurrence of tubular and cylindrical concretions in the interior of hollowed-out cannonballs stands out, so it is about concretions within concretions. Tubular forms and hard sheets of iron oxides and aluminum silicates also occur in the adjacent sandstone. There are examples reminiscent of septarian concretions and paramoudras. The work describes the examples found illustrating them with digital photography and discusses their probable genesis.

Key words: Sandstone Karst, Turbidites, Cavities, Concretions, Geoforms, Septarians, Paramoudras.

INTRODUCCION

La Formación Jaizkibel ha sido estudiada por diversos autores (Jerez Mir et al, 1971; Kruit et al, 1972; Campos, 1979; Van Vliet, 1982) y constituye un conjunto de turbiditas abisales (Petzall, 1967; Kempe, 1981; Cocks & Parker, 1981; Mutti, 1985; Rosell, 1988), de facies flysch y edad Eoceno, en la que alternan estratos gruesos de arenisca con intercalaciones delgadas de lutitas y margas. En las áreas donde los estratos de arenisca son más gruesos (no en toda la Formación), son frecuentes procesos de karstificación, con génesis de cavidades, y la ocurrencia de acuíferos kársticos compartimentados (Galán, 2013; Galán & Nieto, 2020; Galán et al, 2009, 2013, 2020). Además de ello, es notable la ocurrencia de muy diversas geoformas.

La formación se extiende 40 km por el litoral Este de Gipuzkoa hasta la frontera con Francia (montes Mendizorrotz-Igueldo, Ulía y Jaizkibel). La estructura es monoclinial, con buzamiento N, ocupando el monte Ulía su parte central. En estos terrenos hemos descubierto y explorado hasta la fecha más de 280 cavidades, la mayor de ellas de -70 m de desnivel y 280 m de desarrollo (Sima Tanbo 2), existiendo muchas otras cavidades, formadas básicamente por procesos de disolución intergranular de la arenisca.

El frente costero del monte Ulía (San Sebastián) posee acantilados litorales de gran desnivel. En el lado E de la ensenada de Cala Murguita se encuentra la Punta exterior de Elgorri, en la que efectuamos trabajos previos, encontrando diversas cuevas, simas y notables geoformas (Galán et al, 2013). En fechas más recientes exploramos el paraje denominado Espolón de Elgorri, situado al E de la punta exterior y prolongación de sus estratos, encontrando también diversas cavidades, abrigos, concreciones y geoformas (Galán et al, 2022). Al efectuar estos trabajos llamó nuestra atención la ocurrencia de algunas concreciones raras, y ello motivó la búsqueda de datos adicionales en la arista superior de la punta exterior de Elgorri. Las prospecciones pusieron de manifiesto la existencia de una gran variedad de geoformas, destacando el hallazgo de curiosas concreciones tubulares y cilíndricas de óxidos de hierro en el interior de concavidades de cannonballs. La revisión de fotos de otros puntos y localidades en la misma Formación permitió identificar ejemplos relacionados, en parte comparables. Estos aspectos son descritos en esta breve nota, proponiendo una hipótesis comprensiva sobre la génesis y desarrollo de las concreciones.

MATERIAL Y METODOS

Fueron efectuadas prospecciones a lo largo de la arista superior de la Punta exterior de Elgorri, en el litoral del monte Ulía, documentando con fotografías los ejemplos hallados. Muestras de concreciones tubulares fueron observadas bajo microscopio binocular y analizadas en laboratorio. El trabajo describe los principales rasgos de las concreciones, cavidades y su entorno.

RESULTADOS

La zona objeto de estudio es la arista superior de la punta exterior de Elgorri, conjunto de acantilados de -40 m de desnivel con diversas cuevas, simas, espeleotemas y geoformas, estudiadas previamente (Galán et al, 2013). En la parte superior del lado N hay una arista afilada y dentada, con diversas perforaciones, puentes de roca, abrigos, pequeñas cavidades y diversas geoformas. La arista fue prospectada en detalle sobre una extensión de 40 m y 12 m de desnivel (entre cotas de 46 y 34 m snm). Las coordenadas ETRS89, UTM30N de un arco de roca en su extremo W son: E 585.608; N 4.798.455; altitud: 36 m snm. (Figuras 01 y 02).

A lo largo de la arista, en la parte alta de su lado Sur, hay varias cornisas, abrigos y pequeñas cavidades, con sus paredes internas arenizadas (desagregadas por disolución intergranular de la roca-caja). En cambio, el flanco N es de roca compacta, recementada en superficie (= duricrust). La arista es el remanente erosivo de un estrato grueso, subvertical, de orientación E-W, con buzamiento de 75° N. A lo largo de las paredes y abrigos son frecuentes concavidades vacías de cannonballs, pequeños alveolos, laminaciones, estructuras de corriente, boxworks, y fisuras sinuosas con óxidos de hierro. (Figuras 03 á 10).

Algunas concavidades presentan restos de gangas envolventes de los cannonballs y láminas duras de óxidos de hierro y silicatos de hierro y aluminio en forma de copa o de anillos, como residuo erosivo de las geoformas. Pero lo que nos pareció más llamativo fue la ocurrencia de concreciones duras de óxidos de hierro de formas tubulares y cilíndricas, en el interior de las concavidades (Figuras 11 y 12). Algunas de estas alcanzan 12 cm de largo y 10-15 mm de diámetro. Encontramos también ejemplos fragmentados, donde los tubos se aplanan hacia su base y parecen estar soldados y en continuidad con los restos de envolturas duras y láminas adyacentes. En otros casos, tanto en concavidades como en la superficie adyacente, encontramos tubos más cortos, de 1 cm de diámetro, que apenas sobresalen del sustrato. Pero cabe señalar que se trata de restos fragmentarios, de concreciones tubulares más extensas, que han ido siendo erosionadas al igual que la concreción carbonatada de los cannonballs. Lo que observamos es lo que ha quedado conservado en el relieve actual, rebajado en las paredes y abrigos por el progreso de la disolución intergranular y la meteorización de superficie.

Las muestras de tubos observadas bajo el microscopio muestran en sección una capa externa dura y rugosa, de 1,5 mm de espesor, de color marrón oscuro, y un cordón interno, de grano fino, también fuertemente cementado, de 8 mm de diámetro y color anaranjado. En la capa externa se aprecian granos de cuarzo y laminillas de biotita, fuertemente cementados por óxidos de hierro, entre los que se ha identificado los minerales hematita y magnetita. La parte interna está constituida por arena de grano fino, cementada por hematita, limonita y silicatos de aluminio amorfo. La densidad de las concreciones tubulares es elevada, en torno a 4 g/cm³. Dado que la densidad media del cuarzo es de 2,65 g/cm³ y la del óxido de hierro de 5,24 g/cm³, las concreciones deben tener un alto contenido en óxidos de hierro cementando los tubos.

La parte distal de los tubos presenta en campo la capa externa sobresaliente y el cordón o relleno interno hundido hasta más de 5 mm, como si fuera un tubo hueco. Pero esto sólo es producto de la erosión reciente de las terminaciones, estando los tubos rellenos de arena fuertemente cementada en el resto de su longitud. Otro aspecto a señalar es la continuidad de las concreciones tubulares (que aparentemente crecían hacia el interior de los cannonballs o hacia superficie), con las capas envolventes duras de los cannonballs que han dejado testigos en forma de copas o discos, también constituidos por óxidos de hierro, y la de éstas últimas con láminas sinuosas endurecidas que a veces rellenan por completo fisuras y fracturas, de trazados complejos.

En las Figuras 13 á 20 se muestran otros ejemplos que guardan similitudes con los rasgos expuestos para estas concreciones ricas en óxidos de hierro. La Figura 13 corresponde a abrigos en el Espolón de Elgorri y muestra ejemplos de restos de envolturas (en el interior de cannonballs vaciados), en forma de copas y anillos gruesos, así como una forma tubular parecida a las descritas. Las figuras 14 y 15 corresponden a ejemplos de la parte central de Igueldo, y muestran ejemplos de tramas de láminas en bloques desprendidos y cavidades, que incluyen tanto formas tubulares surgiendo de láminas mayores, láminas rellenas concreciones con morfología septaria, láminas sinuosas conectadas a formas tubulares, y láminas cerradas de trazados irregulares. Las Figuras 16 á 20 son ejemplos de otras concreciones y geoformas bajo la arista N en los acantilados de la Punta exterior de Elgorri. En ellas se observan laminaciones, restos de gangas y envolturas, algunas con costras duras y concreciones de óxidos de hierro; y paredes de abrigos con geoformas y fisuras, algunas de ellas rellenas de láminas de óxidos y silicatos de hierro y aluminio.

Aunque sus composiciones no han sido analizadas, su aspecto muestra muchas similitudes con la naturaleza y mineralogía de las concreciones tubulares, destacando sobre todo la continuidad y conexión entre los distintos tipos de concreciones ricas en hierro. Las formas que observamos hoy son el resultado erosivo que ha quedado expuesto en la superficie de las paredes, por lo que desconocemos tanto lo que queda oculto en el interior de la roca como las partes erosionadas. Un conocimiento por lo tanto fragmentario y, en consecuencia, de difícil interpretación.



Figura 01. Punta exterior de Elgorri, con la arista N (arriba) y vista desde ésta hacia la pared N y parte baja del espolón principal (debajo), con la entrada a Cala Murguita detrás. Se pueden ver bocas de cavidades y oquedades esféricas.



Figura 02. Vista hacia la parte baja de la Punta de Elgorri y terminación W de la arista superior. Se aprecian oquedades vacías de cannonballs y cavidades en la parte inferior, y arcos de roca, perforaciones y geoformas en la arista.



Figura 03. La arista superior N de Elgorri presenta abrigos con paredes internas de roca arenizada, arcos de roca, perforaciones y múltiples geofomas.



Figura 04. Parte central de la arista, en su flanco Sur, con diversos abrigos, pequeñas cavidades y geoformas.



Figura 05. Abrigos con geofomas en roca arenizada, con restos de láminas irregulares duras de óxidos y silicatos de hierro y aluminio (flechas rojas) y grandes boxworks en las bóvedas internas.



Figura 06. Detalles de las paredes con abrigos, perforaciones y geoformas alveolares (arriba). Láminas más duras surcan las paredes (flechas rojas) y a menudo están en continuidad con fisuras concrecionadas (flechas azules).



Figura 07. Detalle de pequeñas cavidades con laminaciones de distintos colores y restos de envolturas de cannonballs (flecha roja), removidos por el avance de la disolución intergranular de la arenisca.



Figura 08. Abrigos y cavidades, con laminaciones y geoformas (arriba) y detalle de concavidad de cannonball con restos anulares de gangas envolventes y trama adyacente de formas alveolares (debajo).



Figura 09. Restos de envolturas de cannonballs, algunas en forma de disco (flechas rojas, arriba) y laminaciones cruzadas por fisuras concrecionadas (debajo, flechas azules).



Figura 10. Detalle de laminaciones en roca arenizada en el interior de abrigos y pequeñas cavidades. Las superficies externas se presentan en cambio endurecidas por recementaciones (= duricrust).



Figura 11. Concreciones tubulares de óxidos de hierro. El fragmento inferior está soldado a la pared (flecha roja) y también se aprecian tubos a ras del sustrato (flechas azules, arriba). En la imagen inferior, una concreción tubular fragmentada, de 12 cm, y resto de envoltura dura de cannonball, también rica en óxidos de hierro (flecha naranja).



Figura 12. Fragmentos de concreciones tubulares de óxidos de hierro, en concavidad de cannonball vaciado (arriba) y restos de pequeños tubos, que apenas sobresalen del sustrato adyacente (flechas rojas, debajo).



Figura 13. Ejemplos de restos de envolturas de cannonballs, de abrigos en el Espolón de Elgorri. Se aprecian formas de discos o copas (flechas rojas), anulares gruesas, de varios cms de diámetro (azules) y tubulares (flecha blanca). También algunos ejemplos de geofomas alveolares.



Figura 14. Bloques y paredes en otra localidad de Igueldo centro mostrando láminas de óxidos de hierro y silicatos de aluminio. Arriba: concavidades vacías de cannonballs con láminas de óxidos de hierro de tipo septaria en su interior. Debajo: restos de una lámina planar de 2 m que rellenaba una fractura. Las concreciones de hierro presentan formas diversas y microrelieves, incluyendo formas cilíndricas, probablemente precipitadas siguiendo restos orgánicos tubulares. Una muestra de la naturaleza compleja y diversidad de formas de las concreciones preservadas.

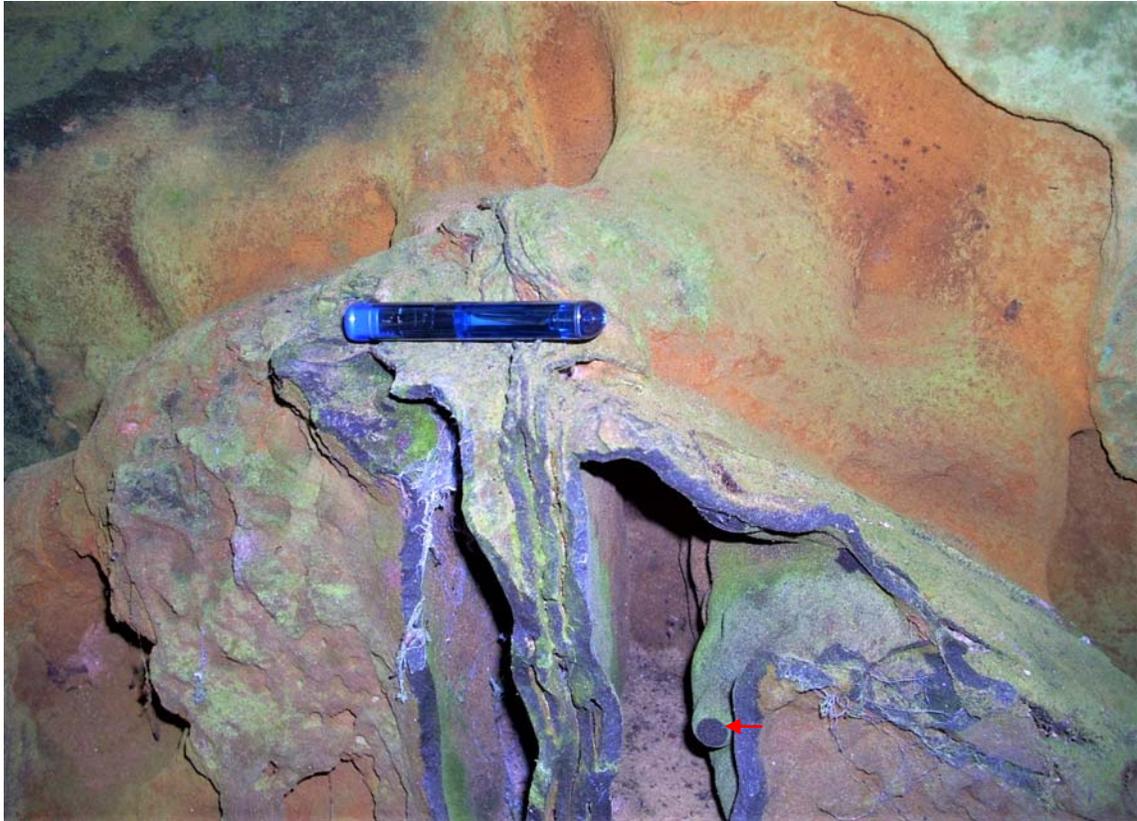


Figura 15. Otros ejemplos en interior de cavidades en Igueldo centro. Arriba: láminas sinuosas de concreciones con óxidos de hierro, en continuidad con una forma tubular de 1 cm de diámetro (flecha roja); (el encendedor que sirve de escala mide 8 cm de largo). Debajo: lámina irregular cerrada en torno a concreción carbonática más blanca, con la forma de África; nótese la continuidad con otras pequeñas fisuras o venas irregulares (flechas azules).

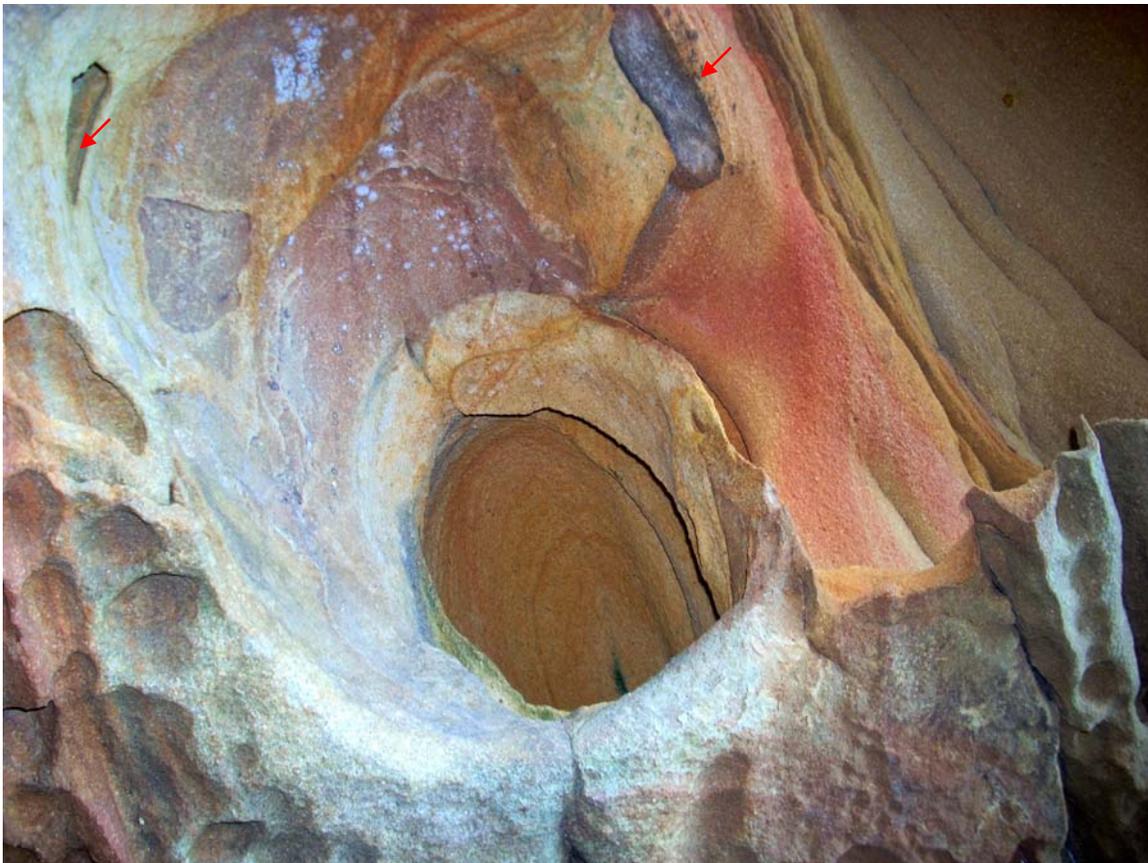


Figura 16. Otros ejemplos de geoformas en cavidades en la parte baja de la Punta exterior de Elgorri, con restos de gangas envolventes de cannonballs, laminaciones y concrecionamientos ricos en óxidos de hierro (flechas rojas).



Figura 17 Algunas paredes poseen fisuras y abrigos con restos de láminas y concreciones de óxidos de hierro, incluyendo ejemplos en el interior de concreciones con morfologías septarias (flechas rojas).



Figura 18. Laminaciones y concreciones en el interior de concavidades alternando con boxworks y geoformas residuales.



Figura 19. Además de restos de gangas envolventes de cannonballs, hay ejemplos de concreciones de óxidos de hierro en capas concéntricas y/u ocupando el núcleo de otras concreciones carbonáticas esféricas.



Figura 20. Abrigos con paredes arenizadas bajo la arista de la Punta exterior de Elgorri, surcadas por fracturas y con diversidad de restos de concreciones y geoformas. Una estética llamativa que revela su naturaleza compleja.

DISCUSION Y CONCLUSIONES

Las formas tubulares y cilíndricas, al igual que en caso de los paramoudras, sugieren que el concrecionamiento, en cierto sentido, puede o debe estar mediado por la presencia en los sedimentos abisales de tubos de organismos marinos (probablemente poliquetos), sólo que en este caso la concreción se limitaría a los tubos y a la porción arenosa que rellenaba los mismos, sin generar una concreción silíceo-carbonatada envolvente, como es el caso típico en los paramoudras de Jaizkibel.

Una explicación de gradientes químicos axiales que generara formas tubulares en el sedimento, aunque posible, resulta mucho más improbable. Más aún en los casos observados en la arista de Elgorri, donde las concreciones tubulares de óxidos de hierro se forman en el interior de las concreciones carbonáticas esféricas de los cannonballs. Aunque también observamos su ocurrencia fuera de las concavidades de cannonballs, en la arenisca adyacente.

La conexión de las concreciones tubulares con las envolturas y láminas de óxidos de hierro en torno a los cannonballs sugieren la propagación de soluciones cementantes ricas en hierro a lo largo de discontinuidades y en torno a los cannonballs, que cuando ocasionalmente encuentran restos de tubos construidos por organismos marinos, precipitan también en torno a ellos dando origen a las formas cilíndricas. El concrecionamiento de los tubos cementados por óxidos de hierro puede preceder o ser simultáneo con el concrecionamiento que genera los cannonballs, y debe ocurrir en momentos tempranos de la diagénesis, cuando aún el resto del sedimento está sin litificar.

Las geoformas más usuales en la arenisca de la Formación Jaizkibel corresponden a cannonballs (= bolas de cañón) o concreciones esféricas, de litología similar a la roca-caja adyacente pero más fuertemente cementadas y con algo de glauconita. Habitualmente en la literatura geológica se distingue entre concreciones y nódulos. Las concreciones son cuerpos de roca claramente limitados, incluidos entre sedimentos más blandos de la misma composición, y se forman a partir de aguas porales por precipitación selectiva de los minerales disueltos, comúnmente carbonato de calcio. Cuando los minerales precipitan, rellenan los espacios porosos entre los granos del sedimento, cementándolos juntos. Los nódulos son cuerpos duros de roca, similares a las concreciones, pero de composición diferente a los sedimentos que los contienen. Pueden formarse también por precipitación selectiva de los minerales disueltos los cuales reemplazan completamente el sedimento original.

Los cannonballs, en forma similar a otras concreciones, pueden resultar más resistentes a la meteorización que la roca encajante que las rodea o, por el contrario, ser disueltos y removidos, predominando entonces las oquedades vacías, como ocurre en Elgorri y en la mayor parte de los afloramientos de arenisca de la Formación Jaizkibel.

Los cannonballs son formados por cementación durante la diagénesis, siendo el carbonato cálcico el principal agente cementante. Pueden contener un pequeño núcleo de material orgánico en torno al cual precipita el cemento antes de que el resto del sedimento resulte litificado. Su forma esférica sugiere que su crecimiento no se ve constreñido por las estructuras sedimentarias primarias o fábricas, tal como puede ser el caso en concreciones planares o más irregularmente formadas.

No es infrecuente que los cannonballs estén limitados o rodeados por envolturas, de consistencia más blanda, formadas por materiales arcillo-arenosos, de colores ocres y anaranjados, con alto contenido en minerales de hierro, o por láminas duras de óxidos y silicatos de hierro y aluminio. La presencia de envolturas puede ser explicada por diagénesis concéntrica (Groenwold, 1971; Jacob, 1973). La roca-caja de arenisca también puede contener inclusiones irregulares de lutitas y láminas de óxidos de hierro que han precipitado en fisuras o en discontinuidades en el sedimento.

En la roca arenisca ya formada y expuesta al intemperismo, las aguas de infiltración actúan intergranularmente (además de a partir de fisuras), disolviendo a su paso el cemento carbonático, parte de los granos de cuarzo, feldespatos y micas (contenidos en forma minoritaria), y parte de concreciones e inclusiones de variada composición, creando soluciones multicomponentes.

Estas circulan a través del acuífero intergranular generando distintos procesos de reactividad química, difusión y convección. La disolución no sólo excava abrigos y cavidades sino que también puede remover concreciones y generar geoformas alveolares y boxworks. De igual modo puede transportar en solución componentes minerales que posteriormente dan lugar a precipitados en bandas alternas y/o anillos concéntricos. Tales bandeados rítmicos son conocidos en la naturaleza en muy distinto tipo de rocas porosas (tobas volcánicas, ignimbritas y particularmente en areniscas y cuarcitas) y son denominados anillos de Liesegang.

La noción de anillos de Liesegang se usa ampliamente para describir patrones naturales en forma de franjas paralelas o concéntricas, alternas. Los mismos son formados por reactividad química de las soluciones y precipitación (bajo determinadas condiciones de concentración) de líneas con alto contenido en minerales de hierro (Merino, 1984; Krug et al, 1996). Las bandas precipitan por difusión a lo largo de un simple gradiente químico durante un evento. En las rocas con diferentes sets de bandas, es el resultado de precipitación por movimiento del agua intergranular y puede ocurrir en varios eventos a lo largo del tiempo, incluso con disolución de los sets más antiguos. La mineralización de hierro a lo largo de estas bandas parece ser inducida por la presencia de interfaces redox (cambios de condiciones reductoras a oxidantes en el agua intergranular) o interfaces de pH (cambios en acidez). Algunos de estos bandeados pueden formarse durante la diagénesis, pero en la mayoría de los casos ocurren con posterioridad, por procesos de difusión y precipitación rítmica de minerales de hierro a partir de las sustancias disueltas contenidas en el agua intergranular.

La precipitación de minerales de hierro para generar concreciones tubulares parece deberse a la reactividad de soluciones que alcanzan e interceptan tubos de organismos marinos con rellenos arenosos, los cuales actúan como núcleos de precipitación.

Estos procesos ocurren en las aguas porales de los sedimentos abisales marinos, aún sin consolidar, en momentos tempranos de la diagénesis, y puede ocurrir que a su vez influyan o medien en el concrecionamiento carbonatado de los cannonballs, siendo ambos procesos casi simultáneos. Esta nos parece la hipótesis más probable. En el caso de las formas septarias (láminas o septos dentro de las concreciones carbonatadas) parece más probable que en los cannonballs en formación ocurran agrietamientos que resulten rellenados por las soluciones porales ricas en hierro, o que estos se produzcan con los cannonballs ya formados. En todo caso se trata de procesos complejos, de naturaleza no-lineal.

En las geofomas de Elgorri encontramos patrones de estructuras disipativas, propias de sistemas complejos (Galán, 2010). Se trata de sistemas químicos situados en la frontera entre el mundo morfológico de la simetría orgánica y el de la simetría cristalina inorgánica. Las soluciones contienen carbonatos, sílice, oxi-hidróxidos de hierro y aluminio, y otros elementos en pequeñas cantidades (sulfatos, silicatos, etc.). Su reactividad química genera patrones de naturaleza no-lineal. En el mundo no-lineal, el cual incluye la mayor parte del mundo real, simples ecuaciones deterministas pueden producir una gran riqueza y variedad de comportamientos. Por otro lado, un comportamiento aparentemente desordenado y caótico puede dar lugar a estructuras ordenadas y hermosos patrones. Los ejemplos hallados en los acantilados de Elgorri, de concreciones, geofomas y cavidades, resultan singulares por sus diseños, coloridos, y también por su complejidad, por lo que juzgamos de interés describirlos.

Los acantilados de Ulía albergan en este sentido muchas áreas poco o nada conocidas, en las que las exploraciones sucesivas van poniendo al descubierto la ocurrencia de fenómenos kársticos hipógeos y notables geofomas.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a los miembros del Dpto. de Espeleología de la Sociedad de Ciencias Aranzadi (SCA) que han colaborado en exploraciones previas en los acantilados de Ulía. A dos árbitros de Biosphere Consultancies y SCA, por la revisión crítica del manuscrito y sus sugerencias.

BIBLIOGRAFIA

- Cocks, L. & A. Parker. 1981. The evolution of sedimentary environments. In: Cocks, L. The Evolving Earth. British Museum (Natural History), Cambridge Univ. Press, II (4): 47-62.
- Campos, J. 1979. Estudio geológico del Pirineo vasco al W del río Bidasoa. Munibe, S.C.Aranzadi, 31 (1-2): 3-139.
- Galán, C. 2010. Patrones y estructuras disipativas en cuevas y geofomas del pseudokarst de Jaizkibel. Pag web Cota0.com + Publ. Dpto. Espeleol. S.C. Aranzadi. Web aranzadi-sciences.org, PDF, 28 pp.
- Galán, C. 2013. Cuevas, geofomas y karstificación en areniscas Eocenas de la Formación Jaizkibel: Actualización de datos para Mayo de 2013. PDF de Conf. audiovisual Hondarribia, Expo. Flysch C.Vasca. 10-05-13. Publ. Dpto. Espeleol. S.C. Aranzadi. Web aranzadi-sciences.org, PDF, 82 pp.
- Galán, C. & M. Nieto. 2020. Fauna cavernícola en un túnel de trasvase de aguas de 800 m de longitud en arenisca de edad Eoceno (Formación Jaizkibel, Lezo, Gipuzkoa). Publ. Dpto. Espeleol. S.C. Aranzadi. Web aranzadi-sciences.org, PDF, 30 pp.
- Galán, C.; M. Nieto & G. Albisu. 2020. Fauna cavernícola en un túnel que atraviesa 1.600 m de espesor de arenisca de edad Eoceno en el monte Jaizkibel (Pasaia, Gipuzkoa, País Vasco). Publ. Dpto. Espeleol. S.C. Aranzadi. Web aranzadi-sciences.org, PDF, 40 pp.
- Galán, C.; M. Nieto & P. Di Bartolomeo. 2013. Notas sobre cuevas y geofomas en arenisca en la punta exterior de Elgorri, Ulía (Formación Jaizkibel). Publ. Dpto. Espeleol. S.C. Aranzadi. Pag web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 42 pp.
- Galán, C.; J. Rivas & M. Nieto. 2009. Formes pseudokarstiques dans le grès du flysch éocène côtier en Guipúzcoa (Pays basque espagnol). Karstologia, Assoc. Franc. Karstol. & Fed. Franc. Spéléol., 53: 27-40.
- Galán, C.; J.M. Rivas & M. Nieto. 2022. Un nuevo enclave en el monte Ulía con cavidades, concreciones y geofomas en areniscas Eocenas de la Formación Jaizkibel (San Sebastián, País Vasco). Publ. Dpto. Espeleol. S.C. Aranzadi. Web aranzadi-sciences.org, PDF, 22 pp.
- Groenwold, G. 1971. Concretions and nodules in the Hell Creek Formation, south-western North Dakota: Unpublish M.S. Thesis, UND, 84 p.
- Jacob, A. F. 1973. Elongate Concretions as Paleochannel Indicators, Tongue River Formation (Paleocene), North Dakota. Geological Society of America Bulletin, v.84, p. 2127-2132.
- Jerez Mir, L.; J. Esnaola & V. Rubio. 1971. Estudio Geológico de la Provincia de Guipúzcoa. Mem. IGME (Inst. Geol. y Min. España), Tomo 79, Madrid, 130 pp + Fotograf.
- Kempe, D. 1981. Deep ocean sediments. In: Cocks, L. The Evolving Earth. British Museum (Natural History), Cambridge Univ. Press, III (7): 103-120.
- Krug, H.; H. Brandtstadter & K. Jacob. 1996. Morphological instabilities in pattern formation by precipitation and crystallization processes. Geologische Rundschau, 85: 19-28.
- Kruit, C.; J. Brouwer & P. Ealey. 1972. A Deep-Water Sand Fan in the Eocene Bay of Biscay. Nature Physical Science, 240: 59-61.
- Merino, E. 1984. Survey of geochemical self-patterning phenomena. In: Nicolis, G. & F. Baras (Eds.). Chemical Instabilities. Dordrecht: D. Reidel Publishing Company. Pp: 305-328.
- Mutti, E. 1985. Turbidite systems and their relations to depositional sequences. In: Provenance from arenitas. Proceeding Nato-Asi meeting, Cetrazo-Cosenza, Italy. Reidel Publ. Co., Dordrecht, Netherlands, 65-93.
- Petzall, W. 1967. Sedimentación marina. In: Ecología Marina. Margalef et al. Edit., Fundación La Salle de Ciencias Naturales, Caracas, Cap. 2: 35-66.
- Rosell, J. 1988. Ensayo de síntesis del Eoceno sudpirenaico: El fenómeno turbidítico. Rev. Soc. Geol. España, Márgenes continentales de la Península Ibérica, Vol. 1 (3-4): 357-364.
- Van Vliet, A. 1982. Submarine fans and associated deposits in the Lower Tertiary of Guipúzcoa (Northern Spain). Thesis Doct., Univ. Utrecht, Netherlands, 180 pp.