

LOS ACANTILADOS DE ULÍA, SUS CAVIDADES Y GEOFORMAS (SAN SEBASTIÁN, PAÍS VASCO)

Ulía cliffs, their caves and geoforms (San Sebastián, Basque Country)

Carlos GALÁN; Jose RIVAS & Marian NIETO

Laboratorio de Bioespeleología. Sociedad de Ciencias Aranzadi.

E-mail: cegalham@yahoo.es

Febrero 2011.



LOS ACANTILADOS DE ULÍA, SUS CAVIDADES Y GEOFORMAS (SAN SEBASTIÁN, PAÍS VASCO)

Ulía cliffs, their caves and geofoms (San Sebastián, Basque Country)

Carlos GALÁN; José RIVAS & Marian NIETO

Sociedad de Ciencias Aranzadi. Laboratorio de Bioespeleología. Alto de Zorroaga. E-20014 San Sebastián - Spain.

E-mail: cegalham@yahoo.es

Febrero 2011.

RESUMEN

Se presentan datos sobre cavidades y geoformas descubiertas en los estratos más compactos de arenisca carbonática de la Formación Jaizkibel, de edad Eoceno, en el litoral del monte Ulía. En este tramo de costa el buzamiento subvertical de los estratos y la erosión marina han generado abruptos acantilados, de difícil acceso. Sobre ellos se desarrolla un original pseudokarst, con diversas cavidades y notables geoformas. Las prospecciones mediante técnicas de escalada en roca y espeleología vertical han permitido acceder a cavidades que son descritas en este trabajo.

Palabras clave: Espeleología física, geología, pseudokarst, cuevas, arenisca, boxworks, Proparamoudras, concreciones, anillos de Liesegang.

ABSTRACT

We present data about caves and geofoms discoveries in the most compact beds of carbonatic sandstone of the Jaizkibel Formation (of Eocene age) in the Ulía mountain littoral. In this section of the coast the subvertical dip strata and the seashore erosion has formed steep cliffs, of hard approach. Over them it is develop an original pseudokarst with remarkable geofoms. Surveys by means of rock climbing and vertical speleology technics has permitted the access to the caves described in this work.

Key words: Physical Speleology, geology, pseudokarst, caves, sandstone, boxworks, Proparamoudras, concretions, Liesegang rings.

INTRODUCCION

La Formación Jaizkibel es una potente secuencia de facies flysch constituida por una alternancia de estratos de rocas duras y blandas, las primeras formadas por arenisca o caliza y las segundas por lutitas. La secuencia fue depositada por corrientes de turbidez en condiciones abisales en la cuenca Eocena del País Vasco, una activa zona de rifting entre las placas continentales de Iberia y Europa. Los aportes detríticos, procedentes del Norte (Plateau de las Landas), formaron dos grandes abanicos de deyección submarinos, que se suturan lateralmente con aportes menores procedentes del Este, ocupando la cuenca vasca la zona más deprimida y abierta al océano del surco pirenaico (Campos, 1979; Kruit et al, 1972; Van Vliet, 1982). El choque y soldadura de ambas placas, produce la posterior emersión del territorio y la consiguiente formación de la cadena montañosa de los Pirineos, llevando los estratos Eocenos a su disposición actual en la costa, con una estructura monoclinall buzante al Norte (Galán et al, 2007; Mutti, 1985; Rosell, 1988).

La formación en su conjunto se extiende a lo largo de 40 km de costa, constituyendo la cadena litoral de los montes Jaizkibel, Ulía e Igueldo, localizados de E a W entre Hondarribia (frontera con Francia) y Orio, respectivamente. En el relieve actual los estratos más resistentes de arenisca, entallados por pequeños valles y arroyos que se dirigen directamente al mar, han conformado un litoral abrupto, con prominentes cabos y puntas, y abruptos acantilados frontales (Figura 1 y portada)..

El tramo central de esta parte de la costa de Gipuzkoa lo constituye el monte Ulía, el cual se extiende entre la punta de Monpás (en San Sebastián) y la punta del Faro de La Plata (en la entrada del puerto de Pasajes). Este tramo es el más abrupto de todo el litoral, con una disposición subvertical de los estratos, y se puede decir que todo su frente que da al mar está constituido por acantilados inaccesibles, verticales o de pronunciado declive, con la sólo excepción del entrante de Cala Murgita, que alberga en su seno una playa rocosa (Figura 1). Esta inaccesibilidad del terreno, debido a la verticalidad de su costa, ha determinado que su relieve permaneciera poco conocido, pese a albergar un notable conjunto de geoformas.

Las prospecciones e investigaciones bioespeleológicas efectuadas en las dos últimas décadas han permitido ir descubriendo que en los estratos más potentes de arenisca de la Formación Jaizkibel se desarrolla un singular pseudokarst, con circulaciones hídricas subterráneas, gran número de cavidades y abrigos, con extraordinarias geoformas, espeleotemas, paramoudras y otros rasgos de interés geológico y biológico (Galán, 1991, 2001, 2009, 2010; Galán & Molia, 2008; Galán & Nieto, 2010; Galán & Rivas, 2009; Galán & Oyarzabal, 2009; Galán & Vera Martin, 2009, 2010; Galán et al, 2007, 2008, 2009, 2010; Zaragoza & Galán, 2007). Los más espectaculares ejemplos de cavidades en arenisca, que albergan geoformas excepcionales, únicas en el globo (o algunos



Figura 1. El frente litoral del monte Ulía presenta abruptos acantilados, con diversas cavidades y geoformas, desarrolladas en los estratos de arenisca de mayor espesor y potencia. Arriba: Vista del sector entre Punta Atalaya y Pasajes. Sobre los espolones más prominentes y subverticales, particularmente en la base de los estratos individuales, se desarrolla gran número de pequeñas cuevas y abrigos. La ensenada de Cala Murguita (abajo) es el único entrante de fácil acceso a la línea de costa.



Figura 2. Numerosas grutas, pequeñas cuevas y abrigos se localizan en la parte central de Ulía, coronando el inicio (parte superior) de los acantilados más abruptos, y otorga a estos relieves un aspecto ruiforme. El acceso a estos sitios es relativamente sencillo, pero su prospección y recorrido resultan expuestos, ya que el menor descuido puede provocar una caída de más de 100 m de desnivel. El color primario de las areniscas destaca en las cavidades.



Figura 3.. El descenso de abruptos flancos y pendientes, a menudo cubiertas por una densa vegetación espinosa de argomas y zarzas, pone al descubierto abrigos con geoformas y pequeñas cuevas, producidas por disolución intergranular del cemento carbonático y progresiva "arenización" de los estratos de arenisca.



Figura 4. Algunos relieves residuales en la parte superior de los acantilados forman agudos espolones y monolitos de roca, acribillados de cavidades a diversas escalas, con un aspecto ruiforme característico. Muchas concavidades semiesféricas son producto del vaciado de concreciones denominadas cannonballs, pero muchas otras se deben al progreso de la disolución intergranular, entre ellas pequeñas cuevas, como la de imagen inferior. Su volumen interno suele ser considerablemente mayor que sus pequeñas bocas de acceso. En el interior de ellas se encuentran numerosos boxworks, formas cordadas, alveolos, concreciones, estructuras de corriente y muchas otras geoformas.

de los mejores ejemplos en su tipo conocidos a nivel mundial), han recibido en los años más recientes una creciente atención pública, a raíz de la publicación y divulgación de los resultados científicos y de la puesta en conocimiento a través de la web de su notable belleza estética e indudable interés científico, cultural y didáctico. En este sentido, el mayor interés lo ha concitado el sector central de Jaizkibel, pero formas comparables se presentan también en los menos prospectados litorales de Igeldo y Ulía, donde se desarrolla también un peculiar pseudokarst en arenisca.

El objeto de este trabajo, y de otros sucesivos, será aportar datos nuevos sobre las cavidades y geoformas de Ulía que la prospecciones que efectuamos sobre el terreno están develando. Trabajo incipiente, que no deja de sorprendernos gratamente, ya que cada nueva exploración aporta nuevos datos de interés.

Creemos oportuno destacar que estos trabajos de investigación que llevamos a cabo desde el Laboratorio de Bioespeleología de la Sociedad de Ciencias Aranzadi, al igual que una considerable cantidad de trabajos previos efectuados sobre el pseudokarst de Jaizkibel, sus cavidades y paramoudras, han sido y están siendo realizados sin contar con ningún tipo de ayuda para la investigación por parte de las administraciones locales, a pesar de haber sido cursadas solicitudes al respecto. Hoy que tanto se habla de la sociedad de la innovación y el conocimiento, de la importancia de la cultura y la investigación científica, de la difusión de nuestros valores naturales y culturales, resulta un contrasentido la falta de apoyo de las instituciones públicas para generar conocimiento y poner en valor rasgos geográficos, geológicos y biológicos tan notables como los que alberga nuestro cercano litoral vasco.

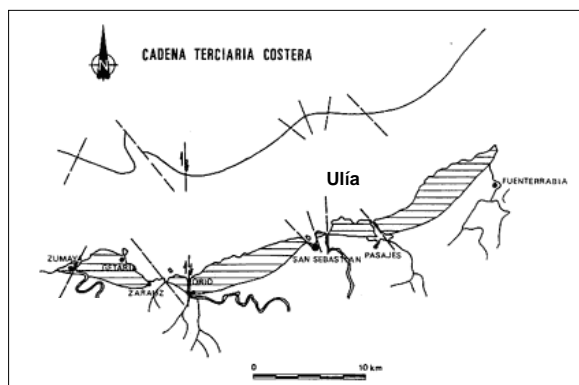
MATERIAL Y METODOS

Los datos que presentamos son producto de sucesivas prospecciones efectuadas en el monte Ulía, algunas de las cuales han requerido el empleo de técnicas de espeleología vertical, escalada, topografía, cartografía digital, y muestreo biológico. La presente nota describe las cavidades y geoformas descubiertas en diversos acantilados del frente litoral y sus rasgos más destacados. Aspectos significativos son ilustrados con fotografía digital, ya que a veces las imágenes dicen por sí solas más que mil palabras. Muestras de fauna y geoformas han sido procesadas en laboratorio de modo preliminar. La nota es sólo una parte y avance de una línea de investigaciones que están en curso.

RESULTADOS

El monte Ulía está constituido básicamente por una secuencia de facies flysch, denominada Formación Jaizkibel, constituida por potentes bancos de arenisca que presentan intercalados delgados niveles de lutitas. Su edad es Eoceno inferior a medio y alcanza 1.500 m de espesor. La formación ha sido descrita en detalle por Jérez et al (1971), Campos (1979), Van Vliet (1982) y Rosell (1988), entre otros. Kruit et al (1972) y Mutti (1985) han aportado a su vez esclarecedora información sobre el desarrollo de estos sistemas turbidíticos. Las estructuras de corriente son muy frecuentes en la base de los estratos de arenisca y regionalmente muestran un patrón en abanico. La Formación Jaizkibel se originó por erosión y resedimentación parcial o total de materiales detríticos de plataforma en la desembocadura de un profundo cañón submarino. El hecho de que la granulometría de las areniscas sea más grosera hacia la parte alta de la secuencia, a la vez que aumenta progresivamente el espesor de los bancos, indica que se trata de la parte media de abanicos de deyección submarinos; los fósiles hallados muestran que la acumulación se debió verificar a una profundidad variable de entre 1.000 y 4.000 m, habiéndose depositado los materiales arenosos por corrientes de turbidez.

La estructura de la cadena costera forma una cuesta monoclinal, con pronunciado buzamiento Norte, que se acentúa en Ulía por la interferencia de empujes tectónicos S-N de otras estructuras (empuje del Manto de corrimiento Aya-Zarauz-Aizarnazabal, empuje debido al anticlinal diapírico Recalde-La Florida), lo que produce en el Arco Vasco, cóncavo en general hacia el N, una leve convexidad entre San Sebastián y Pasajes, acentuada por fallamiento. Ver esquema estructural adjunto, donde se indica la ubicación de Ulía (Esquema 1). Debido a la plasticidad del flysch las rocas han sido plegadas desigual y enérgicamente. El buzamiento en el tramo Eoceno de Ulía es alto y los estratos adoptan una disposición subvertical (70° a 80° N-NW), existiendo variaciones entre NW y NE debido al dispositivo en arco.



Esquema 1. Dispositivo estructural de la cadena costera, simplificado, indicando la ubicación de Ulía. Fuente: Jérez et al, (1971)



Figura 5. Entre Monpás y Punta Atalaya, varias puntas menores de arenisca presentan flancos laterales con acantilados abruptos. Sus paredes amarillas a menudo extraploman, presentando cornisas con vegetación a diversas alturas, donde anidan gaviotas. En algunas de ellas, semiocultas por la vegetación o bien expuestas en las paredes verticales, se encuentran también diversas grutas y cuevas.



Figura 6. Descenso vertical de 25 m hasta una cornisa con vegetación en uno de los espolones del sector de la Kutralla, Ulía. Lo que parece el fondo es un aéreo, enmarañado y espinoso reborde vegetal en voladizo, al que siguen sucesivos tramos verticales y abruptas pendientes, con diversas cuevas y curiosas geoformas.



Figura 7. Sector central bajo la cumbre de Ulía, con los acantilados de Monpás en primer plano y el castillo de Igueldo al fondo. Nótese la disposición vertical de los estratos en Monpás y las rompientes del abrupto litoral, batido con frecuencia por el fuerte oleaje del Cantábrico. En la imagen superior, es necesario asegurarse para elegir un adecuado punto de descenso hacia el objetivo escogido, divisado desde lejos. Otro detalle técnico: el uso de escalas en el borde superior simplifica la instalación y evita roces sobre la roca arenizada, muy abrasiva para las cuerdas, aunque el descenso en sí utiliza la técnica de jumars.



Figura 8. La combinación de técnicas de escalada, jumars y escalas de electrón (cables de acero con peldaños de duraluminio) facilita la progresión sin rozamiento hasta los enclaves más inaccesibles. Nótese algunas geoformas expuestas en las paredes y las cornisas con sucesivos rebordes aéreos.



Figura 9. No todo lo que parece suelo sólido lo es. Algunas cornisas son frágiles salientes, con bloques caídos y colchones de vegetación, que es necesario atravesar para alcanzar la base de acantilados y cornisas mayores. Obsérvese la discontinua sucesión de cornisas y escarpes, a lo largo de flancos de 150 m de desnivel. La progresiva prospección requiere exigentes esfuerzos. Difícilmente podemos clamar que se conoce en detalle todo este litoral, donde el hallazgo de nuevas cavidades y enclaves de interés se sucede tras cada salida.



Figura 10. Los tramos aéreos de acantilados extraplomados resultan de singular atractivo estético. La arenización lateral de los estratos de roca deja en relieve positivo curiosas geoformas, residuo de la meteorización de la a menudo recementada superficie externa de la arenisca. Se puede decir que es en el interior de las cuevas y en estas superficies karstificadas donde mejor se aprecian las características litológicas primarias de las rocas del flysch.



Figura 11. Detalles del ascenso de acantilados en Ulía con técnicas de speleo y vistas de geoformas sobre sus paredes. Algunas concavidades producto del vaciado de cannonballs conservan restos de envolturas o gangas de separación del sustrato, de naturaleza arcillosa y curiosa mineralogía. En otros casos presentan láminas y concreciones envolventes de silicatos de aluminio y óxidos de hierro. Algunas "bandas en cornisa" son producto del vaciado de series de cannonballs contiguos (imagen inferior).

La Formación Jaizkibel en Ulía se compone de potentes bancos de arenisca que presenta intercalados delgados niveles de lutitas y margas y, en menor proporción, calizas arenosas. El grosor de los estratos de arenisca es en general de varios metros. En la zona de estudio de este trabajo los estratos individuales de arenisca alcanzan hasta 10 m de potencia (Figuras 1, 2, 8, 14, 17). Litológicamente son areniscas cuarzosas de colores claros y de cemento carbonático. Están formadas por un entramado de granos de cuarzo bien redondeados (o ligeramente angulosos), que pueden constituir hasta el 90% de la roca (siempre más del 80%), y cantidades menores de feldespatos y micas. El cemento, de carbonato de calcio, representa un volumen medio en torno al 10%.

Son frecuentes cannonballs (concreciones esféricas o bolas de arenisca más dura), de variable diámetro, desde unos pocos hasta más de 70 cm. Estas concreciones están rellenas de cuarzo de grano medio a grueso, con matriz carbonática, muy poca mica y glauconita. La erosión de los estratos de arenisca con cannonballs da lugar a concavidades semiesféricas, posteriormente suavizadas y retocadas por erosión, las cuales otorgan a muchos de sus afloramientos un aspecto de gruyère característico (Figuras 14, 17). Intercalados entre los bancos de arenisca se encuentran niveles delgados de naturaleza arcillosa o margosa, con cierto grado de pizarrosidad. En menor proporción hay algunos tramos de caliza en bancos delgados intercalados con lutitas, como es el caso en la parte basal de los acantilados de Punta Atalaya (Figura 14), situados en la parte central de la costa de Ulía.

Los rasgos kársticos de la formación en gran medida habían pasado desapercibidos. Aunque se conocía la presencia de cannonballs y microformas alveolares, la cavernosidad de la arenisca era atribuida a factores litológicos y a la acción erosiva de superficie (erosión normal y eólica, que se sumaba a la erosión marina en la línea de costa). Sin embargo, en las zonas más compactas de arenisca, nuestros trabajos develaron que se desarrolla un notable pseudokarst, con la ocurrencia de procesos subterráneos comparables a los que presentan rocas silíceas, como las cuarcitas (= arenitas de cemento silíceo) que constituyen los tepuys de Venezuela y rocas comparables de los escudos de Brasil y Sudáfrica (Galán, 1991).

Lo esencial de esta karstificación incompleta (= pseudokarst) reside en que el agua se infiltra en la roca no sólo a través de fisuras y planos de estratificación, sino intergranularmente, disolviendo a su paso el cemento (bien sea silíceo o carbonático) que une los granos individuales de cuarzo, descohesionando los mismos, y transformando así la roca inicialmente compacta en un material poroso, friable y fácilmente disgregable. En consecuencia, la disolución intergranular produce una progresiva y paulatina "arenización" de la roca. Si se consigue concentrar la circulación subterránea se producen fenómenos de tubificación o piping que forman una red de vacíos y conductos. La continuación de este proceso genera cuevas a todas las escalas. De modo inverso se puede producir la precipitación de sustancias disueltas, generando espeleotemas en las cuevas y cementaciones en el interior de la arenisca. Su progresivo retrabajado genera a su vez geofomas en mallas poligonales e irregulares de boxworks, cúpulas, celdas en panal de abejas (honeycomb cells) y muy diversas formas alveolares (ver Figuras 3, 4, 18 á 20).

La disolución intergranular de la arenisca es el proceso básico o primario que comanda la formación de cavidades y la creación de geofomas en esta litología. Asimismo, en las partes más compactas de la formación en el monte Ulía, existen circulaciones hídricas subterráneas, sumideros y surgencias, así como un conjunto de cavidades subterráneas a diferentes escalas. Lo que se traduce a su vez en la morfología de superficie por acusados relieves ruiformes, con cavernosidades, abrigos, grutas y cuevas (ver Figuras 2 á 4, 18 á 20). Aunque su magnitud es moderada en comparación con el karst clásico desarrollado en calizas y otras rocas fácilmente solubles.

No obstante, cabe destacar que así como para las cuarcitas se pensó inicialmente que se trataba de rocas insolubles y por tanto no karstificables, en las que no podrían formarse cuevas, las exploraciones sucesivas desarrolladas a partir de los años 1970's fueron descubriendo ejemplos cada vez más notables, y hoy en día conocemos cuevas en cuarcita de hasta 11,2 km de desarrollo (Sistema Roraima Sur, Venezuela) y -671 m de desnivel (Abismo Guy Collet, Brasil), localizadas precisamente en los tepuys de Venezuela y Brasil (Galán et al, 2009). En el pseudokarst en arenisca de la Formación Jaizkibel, hasta ahora, se han descubierto más de 200 cavidades, con desarrollos que en ocasiones alcanzan varias decenas de metros y las más grandes cerca del centenar. Pero es posible, potencialmente, que en el futuro se descubran cavidades mucho mayores, de ahí la importancia de la prospección.

Por otro lado, pese al moderado desarrollo de las cavidades hasta ahora descubiertas en la arenisca, ha resultado notable, y espectacular, la profusión y diversidad de geofomas, espeleotemas, paramoudras y otras concreciones, que se presentan en estas cavidades, muchas de ellas con rasgos únicos a nivel mundial, y que revisten por tanto un considerable interés científico.

Las mayores dificultades en la prospección de estos terrenos viene dada por su abrupto relieve y enmarañada cobertura vegetal. Las partes altas de Ulía, que apenas superan los 300 m de altitud, descienden hacia el mar en pendientes progresivamente más acentuadas. Bajo la cota de los 150-200 m las pendientes se acentúan para formar en las zonas inferiores y flancos de algunos barrancos, escarpes verticales y acantilados de hasta un centenar de metros de desnivel (ver Figuras 5 á 17). En otras ocasiones las laderas con tramos gruesos de arenisca compacta forman espolones que avanzan hacia el mar, flanqueados lateralmente por escarpes menores y a menudo escalonados, pero que suman importantes desniveles. Las pendientes de las zonas subverticales son también muy pronunciados y la cubierta vegetal no sólo enmascara el terreno sino que lo torna difícil de recorrer, por la profusión de helechales con argomas, zarzas y otras plantas espinosas (ver p.ej. Figuras 3, 5 y 7). En este sentido, las condiciones más favorables para la prospección se presentan en invierno, cuando la vegetación está más baja y clareada, y se puede acceder a lugares que en otras épocas del año resultarían inaccesibles o muy difícilmente accesibles.



Figura 12. Siguiendo a lo largo de un prominente espolón se accede al cabo rocoso de Punta Talai o Punta Atalaya, en la parte central de Ulía. En la imagen inferior instalación del anclaje para descender el corte vertical del acantilado. Nótese la presencia de grutas y abrigos a lo largo de este recorrido y anillos de Liesegang en torno a concavidades vaciadas en la arenisca.



Figura 13. Descenso vertical del acantilado de Punta Atalaya, de 70 m de desnivel, hasta una pequeña playa de rocas, descubierta en marea baja. La coloración de las rocas semisumergidas de la orilla es debida a recubrimientos de algas rojas, que quedan expuestas durante las mareas vivas con el mar en calma, como en este caso. El cabo en su conjunto ha sido erosionado en varias puntas centrales y otras contiguas que albergan cavidades y geoformas.



Figura 14. Gruesos estratos de arenisca en la parte superior del acantilado W de Punta Atalaya, con numerosas cavidades semiesféricas debidas al vaciado de cannonballs. En la parte inferior los bancos de arenisca dan paso a estratos delgados de calizas arenosas y lutitas, más disgregables. En el contacto se forman grandes abrigos.



Figura 15. Algunos ejemplos de Proparamoudras hallados en Punta Atalaya. Arriba: ejemplo de 20 cm de diámetro, con dos espículas, en estrato métrico de caliza arenosa. Abajo: Panel de 3 m de ancho en estrato de caliza. Se aprecian ejemplos esféricos y cilíndricos, en los que destacan los orificios de organismos tubícolas (ichnofósiles de poliquetos abisales) que han servido de núcleo para el concrecionamiento envolvente. Las concreciones han sido parcialmente erosionadas y removidas. En el lado derecho (flecha roja) se aprecia en relieve positivo una concreción cilíndrica serpentiforme, cuya continuidad (vacuada) se extiende a su izquierda, en varios tramos (el último con figura de pez, flecha naranja). Puede apreciarse también orificios centrados en las formas esféricas, dos muy próximos en la geoforma inferior (flecha negra).



Figura 16. Detalles del ascenso en jumars de la pared del acantilado de Punta Atalaya, de 70 m de desnivel, con numerosas oquedades en la arenisca, producto del vaciado de cannonballs.



Figura 17. Alcanzando el borde superior del acantilado (imagen superior) y vista de la pared desde la base (imagen inferior, se aprecia la posición de la cuerda). Nótese la gran cantidad de concavidades semiesféricas (aspecto de gruyère) en los estratos compactos de arenisca.

Las zonas superiores de los acantilados presentan multiplicidad de grutas y pequeñas cuevas, con prominencias ruiniformes (Figuras 2, 4, 12). Aunque la exploración de estos sectores puede hacerse a pie, o en escalada libre, la exposición es considerable, y en ocasiones es conveniente asegurar con cuerda los pasos delicados. Ya que el menor descuido podría provocar caídas de fatales consecuencias. De igual modo, muchas anfractuosidades y cornisas, presentan rebordes y agarres con roca arenizada, y por tanto extremadamente frágiles y que no deben usarse confiadamente como presas o puntos de agarre. Esto, unido a la dificultad de colocar clavos y empotradores en roca arenizada, tornan las escaladas expuestas. Como contrapartida, el grado de adherencia de la roca es alto y muy favorable.

Cuando la verticalidad y exposición aumentan, es necesario recurrir a técnicas de espeleología vertical, con uso de cuerda estática, descendedores y jumars (Figuras 5 á 17). Los puntos de anclaje deben ser elegidos cuidadosamente, reforzados y debidamente probados antes de emprender un descenso. Dada la composición arenosa de la roca, esta resulta también sumamente abrasiva para las cuerdas, por lo que hay que evitar los roces seleccionando bien los puntos iniciales de anclaje (Figuras 7, 12, 13). El uso de escalas metálicas resulta en este sentido muy útil, para ganar tiempo, soslayar instalaciones complicadas y evitar el roce en el borde superior de los acantilados (Figuras 5 á 11) . Nosotros hemos utilizado una combinación de técnicas de escala y cuerda, con óptimos resultados. En este trabajo se ilustran con fotografías sólo algunos de los acantilados prospectados, donde ha resultado factible tomar fotos (ver Figuras 5 á 17).

De este modo hemos prospectado en Ulía infinidad de enclaves, recorriendo paredes, cornisas, caos de bloques y zonas en declive cubiertas de vegetación. A pie, escalando o bien recurriendo a técnicas verticales. Y ello ha permitido localizar y explorar un cierto número de abrigos y cuevas de interés (en torno a 40 puntos con fenómenos kársticos), así como túneles artificiales y enclaves en la base de los acantilados, con numerosos ichnofósiles y llamativos ejemplos de Proparamoudras en Punta Atalaya (Figura 15). Un detallado trabajo al respecto ha sido presentado en Galán & Rivas (2009).

A diferencia de las concreciones esféricas llamadas cannonballs, muy frecuentes en la formación, los Paramoudras constituyen concreciones muy raras (a nivel mundial), debido a que se organizan en torno a la traza fósil (= ichnofósil) de tubos de organismos marinos, que en el caso de Jaizkibel comprende formas abisales de poliquetos marinos y tal vez pogonóforos. La concreción, generalmente silíceas, se produce durante la diagénesis temprana, a débil profundidad de enterramiento, merced a procesos físico-químicos a lo largo de un gradiente redox, en el que ocurre la disolución de calcita y la precipitación de sílice en la zona anóxica del sedimento, rica en sulfuros, en torno al eje de los tubos. El concrecionamiento resulta posible por la existencia de los tubos de organismos, ya que estos facilitan el paso bien de oxígeno hacia la zona anóxica o bien de emisiones de sulfuro de hidrógeno hacia superficie. Estas concreciones, en consecuencia, adoptan caprichosas formas (cilíndricas, serpentiformes, bifurcadas, etc.) ya que el concrecionamiento envolvente sigue a lo largo de varios metros la traza de los tubos. En Ulía hemos encontrado ejemplos no de Paramoudras, sino de Proparamoudras, que es la versión calcificada de estas concreciones silíceas. Ellas se presentan en estratos delgados de calizas arenosas, y poseen igualmente una estructura tubular, con terminaciones semiesféricas, y orificios con espículas en superficie (Figura 15). Trabajos sobre este tipo de concreciones en Jaizkibel son referidos en la bibliografía, incluyendo estudios detallados de la composición química y mineralógica de las concreciones y sus ichnofósiles.

Así mismo ha sido documentada la ocurrencia en las cavidades de una gran cantidad de geoformas, incluyendo diversos tipos de boxworks, formas cordadas, concreciones, nódulos, estructuras de corriente, anillos de Lisegang, y espeleotemas de: ópalo-A, yeso, silicatos de aluminio amorfo y oxi-hidróxidos de hierro y manganeso. A menudo con diseños estéticos remarcables. Ejemplos de algunas geoformas en cuevas de Ulía son mostrados en las Figuras 4 y 18 á 20. Sobre sus características y génesis recomendamos consultar especialmente: Galán & Nieto (2010) y Galán (2010).

Adicionalmente, en las paredes expuestas, han sido halladas otras geoformas, como curiosos remanentes erosivos de la recementada superficie externa (Figuras 8 á 11), algunos de ellos comparables a inicios de bandas de Moebius (Galán & Nieto, 2010), restos en relieve positivo de concreciones de hierro y silicatos de aluminio, envolturas arcillosas de cannonballs, y diversos ejemplos de series de concreciones carbonatadas de cannonballs contiguos, los cuales generan no las típicas formas esféricas, sino formas planares de varios metros de extensión lateral (ver p.ej. Figuras 5 y 9). En resumen, un importante conjunto de cavidades y geoformas, cuyo estudio está aún en una fase preliminar.

CONCLUSIONES

En los estratos más compactos de arenisca de la Formación Jaizkibel, en el litoral del monte Ulía, se desarrolla un pseudokarst en arenisca, con cavidades y geoformas de un interés comparable al reportado previamente para la zona del monte Jaizkibel. La prospección de acantilados y zonas de difícil acceso ha permitido poner al descubierto cuevas y rasgos geológicos que hasta la fecha eran poco o nada conocidos. Los estudios en progreso seguramente aportarán nuevos datos, poniendo de relieve los singulares rasgos que posee el litoral de San Sebastián en sus zonas más abruptas, con ejemplos de cavidades y geoformas extrañas, de gran belleza estética y de indudable interés científico.



Figura 18. Aunque las cavidades predominantes en el pseudokarst de Ulía son en general muy superficiales, existen ejemplos de cuevas de varias decenas de metros de desarrollo de galerías, con zonas en oscuridad total. Algunas de ellas, como esta de uno de los acantilados al W de cala Murguita, poseen geofomas de espectacular belleza, con boxworks y estructuras de corriente de delicado colorido. De igual forma albergan interesantes ejemplos de fauna cavernícola troglófila, como colémbolos, pseudoescorpiones y crustáceos isópodos. El ancho de las imágenes es de 2,5 m.



Figura 19. Grandes boxworks, estructuras de corriente y bandeados de Liesegang en una de las cavidades de Ulía.



Figura 20. Los abrigos y cuevas de Ulía albergan ejemplos de geoformas notables, de impactantes colores y diseños, a la vez que revisten un considerable interés científico, por contener ejemplos únicos en el mundo, propios de este singular pseudokarst en arenisca. En las imágenes, diversas formas alveolares, boxworks y concreciones.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a todos aquellos compañeros y colaboradores de la Sociedad de Ciencias Aranzadi que nos acompañaron en las exploraciones de campo y obtención de fotografías que sustentan esta nota y de modo especial a Jose Mari Beobide, Loli Nieto Rubia, Maider Carrascal, Christian Besance, Marider Balerdi, así como a Luis Viera por sus útiles comentarios sobre icnofósiles, geología de la zona y aportes bibliográficos.

BIBLIOGRAFIA

- Campos, J. 1979. Estudio geológico del Pirineo vasco al W del río Bidasoa. *Munibe, S.C.Aranzadi*, 31(1-2): 3-139.
- Galán, C. 1991. Disolución y génesis del karst en rocas silíceas y rocas carbonáticas: un estudio comparado. *Munibe (Ciencias Naturales), Soc. Cienc. Aranzadi*, 43: 43-72.
- Galán, C. 2001. Primeros datos sobre el Medio Subterráneo Superficial y otros habitats subterráneos transicionales en el País Vasco. *Munibe Cienc. Nat.*, 51: 67-78.
- Galán, C.; J. Rivas & M. Nieto. 2007. Pseudokarst en arenisca del flysch costero Eoceno, Gipuzkoa. *Lapiaz*, 31: 1-44. + Pag web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 44 pp.
- Galán, C.; J. Rivas & M. Nieto. 2008. Geoformas cordadas en arenisca del flysch costero Eoceno, Gipuzkoa. Pag web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 28 pp.
- Galán, C.; J. Rivas & M. Nieto. 2008. Estructuras de corriente en turbiditas del flysch Eoceno. Pseudokarst en arenisca, Gipuzkoa (País Vasco). Pag web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 32 pp.
- Galán, C. & M. Molia. 2008. ¿Geología o Paleontología? Las concreciones esféricas con perforaciones tubulares: Nuevos icnotaxa de Paramoudras (Pseudokarst en arenisca del flysch Eoceno, Jaizkibel, Gipuzkoa). Pag web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 43 pp.
- Galán, C.; M. Molia; M. Nieto & J. Rivas. 2008. Nuevos datos sobre Paramoudras y concreciones relacionadas en Jaizkibel e Igueldo (Pseudokarst en arenisca del flysch Eoceno, Gipuzkoa). Pag web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 44 p.
- Galán, C. & J. Rivas. 2009. Hallazgo de Proparamoudras en un acantilado del litoral central del monte Ulía (Punta Atalaya, flysch Eoceno de San Sebastián, País Vasco). Pag web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 25 pp.
- Galán, C. 2009. Biología de organismos en relación a Paramoudras en arenisca de edad Eoceno: interpretación ecológica e implicaciones taxonómicas. Pag web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 38 pp.
- Galán, C.; M. Nieto & J. Rivas. 2009. Pseudokarst en arenisca del flysch Eoceno de Gipuzkoa. Audiovisual en Power point, S.C.Aranzadi, Dpto. Speleol., Didactic conference for public lectures, 39 láminas + PDF document 39 pp.
- Galán, C.; M. Molia & M. Nieto. 2009. Paramoudras en arenisca de la Formación Jaizkibel. Audiovisual en Power point, S.C.Aranzadi, Dpto. Speleol., Didactic conference for public lectures, 15 láminas + PDF document 15 pp.
- Galán, C.; C. Vera Martin & M. Molia. 2009. Análisis por espectrometría Raman y XPS de muestras de Paramoudras en arenisca de la Formación Jaizkibel. Pag. web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 11 pp.
- Galán, C. & C. Vera Martin. 2009. Análisis por espectroscopía Raman y microfotografía de una sección continua de Paramoudra en arenisca de la Formación Jaizkibel, País Vasco. Pag. web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 8 pp.
- Galán, C. & C. Oyarzabal. 2009. Análisis por microscopio electrónico de barrido (SEM) y microanálisis por dispersión de energía (EDX) de una muestra de Paramoudra (Formación Jaizkibel, País Vasco). P.web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 10 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.; C. Vera Martin & M. Molia. 2010. Datos por espectrometría Raman y difracción de rayos X (DRX) de envolturas (gangas de separación) y tubos de Paramoudras en arenisca de la Formación Jaizkibel. Pag. web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 11 pp.
- Galán, C. & M. Nieto. 2010. Bandas de Moebius, Boxworks y otras raras Geoformas en arenisca de la Formación Jaizkibel. Pag web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 30 pp.
- Galán, C. 2010. Patrones y estructuras disipativas en cuevas y geoformas del pseudokarst de Jaizkibel. Pag web Cota0.com + Pag web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 30 pp.
- Galán, C. & C. Vera Martin. 2010. Espeleotemas de cuarzo y silicatos de hierro y aluminio, en una cueva hidrológicamente activa en arenisca de Jaizkibel: Descripción general de la cavidad y caracterización por espectroscopía Raman y difracción de rayos X (DRX). Pag web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 12 pp.
- Galán, C. & C. Vera Martin. 2010. Espeleotemas de magnetita, hematita, yeso, ópalo-A y otros minerales secundarios en una cueva del pseudokarst de Jaizkibel: Caracterización por espectroscopía Raman, difracción de rayos X (DRX) y espectrometría por dispersión de energía (EDS). Pag web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 16 pp.
- Galán, C.; M. Nieto; O. Zubizarreta & C. Vera Martin. 2010. Nuevos datos sobre vermiculaciones arcillosas y espeleotemas de ópalo-A, hematita y yeso, en cuevas en arenisca del pseudokarst de Jaizkibel. Pag web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 15 pp.
- Galán, C. & C. Vera Martin. 2011. Microanálisis por dispersión de energía XPS de espeleotemas de yeso y ópalo-A en una cueva en arenisca de Jaizkibel (País Vasco). Pag web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 8 pp.
- Jérez Mir, L.; Esnaola, J. & V. Rubio 1971. Estudio Geológico de la Provincia de Guipúzcoa. Mem. IGME (Inst. Geol. Min. España), Tomo 79, Madrid, 130 pp.
- Kruit, C.; Brouwer, J. & P. Ealey. 1972. A Deep-Water Sand Fan in the Eocene Bay of Biscay. *Nature Physical Science*, 240: 59-61.
- 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.
- 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.
- Zaragoza, J. & C. Galán. 2007. Pseudoescorpiones cavernícolas de Gipuzkoa y zonas próximas. *Lapiaz*, 31: 1-14. + Pag web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 14 pp.