

ESTRUCTURAS DE PENÉLOPE, CUEVAS Y GEOFORMAS EN ARENISCA DEL FLYSCH EOCENO, EN EL LITORAL DE LA PLACA CENTRAL DE IGUELDO (GIPUZKOA, PAÍS VASCO)

Penelope fabrics, caves and geoforms in sandstone of the Eocene flysch on the coast of Igueldo central plate (Gipuzkoa, Basque Country)



Carlos GALÁN; José M. RIVAS & David ARRIETA ECHAVE.
Laboratorio de Bioespeleología. Sociedad de Ciencias Aranzadi. Agosto 2013.

ESTRUCTURAS DE PENÉLOPE, CUEVAS Y GEOFORMAS EN ARENISCA DEL FLYSCH EOCENO, EN EL LITORAL DE LA PLACA CENTRAL DE IGUELDO (GIPUZKOA, PAÍS VASCO)

Penelope fabrics, caves and geofoms in sandstone of the Eocene flysch on the coast of Igueldo central plate (Gipuzkoa, Basque Country)

Carlos GALÁN; José RIVAS & David ARRIETA.

Laboratorio de Bioespeleología. Sociedad de Ciencias Aranzadi.

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

E-mail: cegalham@yahoo.es

Agosto 2013.

RESUMEN

La secuencia de turbiditas del flysch Eoceno (Formación Jaizkibel) presenta en la zona central de la cadena litoral de Igueldo diversos ejemplos de cuevas y geoformas en arenisca. En la línea de costa se presentan promontorios y puntas con acumulaciones de bloques de colapso. El recorte frontal y lateral de la placa de arenisca por la erosión marina deja escalones y escarpes verticales. Igualmente la erosión de los paquetes infrayacentes de lutitas y margas, desestabiliza el terreno y produce por descompresión mecánica el colapso de los estratos superiores. Bajo y entre los bloques, o teniendo a los estratos gruesos como techo, se forman cuevas, en cuya génesis interviene parcialmente la disolución de la arenisca y la erosión de las litologías más blandas. De este modo pueden formarse volúmenes subterráneos importantes, junto a redes de macro y mesocavernas. La cueva más grande estudiada en este trabajo tiene una sala de 40 m de diámetro y un desarrollo de 80 m, con diversidad de espeleotemas. En adición, el trabajo describe diversos tipos de geoformas alveolares, Estructuras de Penélope, Paramoudras y concreciones relacionadas, algunas de ellas novedosas, ilustrando sus rasgos con fotografía digital. Se discuten los factores que intervienen en su génesis.

Palabras clave: Arenisca, Geomorfología, Espeleología Física, karst, espeleotemas, geoformas, Paramoudras.

ABSTRACT

The Eocene flysch turbidites sequence (Jaizkibel Formation) has on the central zone of the Igueldo littoral chain several examples of sandstone caves and geofoms. In the coastal zone, headlands are formed by accumulations of collapse blocks. The front and side cutout of the sandstone plate from marine erosion leaves steps and vertical escarpments. Erosion also attacks underneath packages of shales and marls, destabilizes the ground and by mechanical decompression produces the collapse of the upper strata. Under and between the blocks, or having as roof thick strata, are formed caves whose genesis partially involved the dissolution of the sandstone and the erosion of softer lithologies. Thus important subterranean volumes may form, together with macro and mesocaverns networks. The largest cave studied in this work has a great hall of 40 m diameter and 80 m of development with a wide variety of speleothems. The paper also describes different types of alveolar geofoms, Penelope fabrics, Paramoudras and related concretions, some of them originals, illustrating their features with digital photography. We discuss the factors involved in its genesis.

Keywords: Sandstone, Geomorphology, Physical Speleology, karst, speleothems, geofoms, Paramoudras.

INTRODUCCION

En la arenisca de cemento carbonático de edad Eoceno de la Formación Jaizkibel (Campos, 1979) y sobre todo en los estratos más gruesos, que ocupan la parte superior de la secuencia de turbiditas, se desarrollan cuevas y formas pseudokársticas, generadas por procesos de disolución intergranular de la arenisca.

La zona central de la cadena Igueldo - Mendizorrotz (la cual se extiende entre San Sebastián y Orío) posee en la línea de costa diversos cabos y promontorios formados por la acumulación de bloques. En esta zona habíamos descrito anteriormente sistemas de cuevas y mesocavernas de decenas de metros de desarrollo, en el sector litoral de Urberde, con interesantes ejemplos de fauna cavernícola (Galán, 2001). Algo más al W otro sector litoral presenta interesantes ejemplos de Paramoudras (Galán et al., 2008). Pero los escarpes y caos de bloques en los afloramientos de arenisca son extensos, de abrupto relieve, y poseen áreas de potencial interés espeleológico, que sólo han sido exploradas parcialmente. Son terrenos poco conocidos, difíciles de recorrer, donde cada sucesiva exploración pone al descubierto nuevas cavidades y rasgos de interés. En esta nota exponemos nuevos ejemplos de cuevas y geoformas, incluyendo una cavidad de gran volumen interno que posee una sala de 40 m de diámetro.

MATERIAL Y METODOS

El trabajo reúne un conjunto de datos obtenidos durante prospecciones efectuadas en varias salidas en 2013 a la zona central de Igueldo. Es la continuación o segunda parte de un trabajo previo (Galán et al., 2013); en éste exponemos preferentemente datos sobre cuevas marinas y geoformas en la franja litoral. El área de estudio cubre 2 km de línea de costa, con zonas de grandes lajas de arenisca, escarpes y acumulaciones de bloques que forman promontorios en la zona litoral.

En las prospecciones se utilizó el material habitual de espeleología, con uso de cuerda estática para asegurar escaladas y destrepes de pequeñas verticales y/o tramos abruptos, e iluminación frontal con linternas Leds en la zona oscura de las cuevas. Levantamientos topográficos de cavidades fueron efectuados con instrumental de precisión Suunto. Se incluye también la descripción de espeleotemas y geoformas, ilustrada con fotografía digital. Se omiten datos precisos de localización y coordenadas UTM para proteger las cavidades y las geoformas más sensibles, algunas de ellas novedosas.

RESULTADOS

El área de estudio comprende la franja costera de una laja o placa inclinada casi continua de 2 km de longitud, con estructura monoclinical y buzamiento N de 35 á 40°, correspondiente a la parte central de la cadena Igueldo - Mendizorrotz, de 415 m snm de elevación máxima. El área queda comprendida entre dos pequeños valles cataclinales que a E y W limitan y recortan la placa.

Las prospecciones efectuadas han puesto de manifiesto que el flysch Eoceno en el área de estudio ha sido modelado por la erosión de superficie diferencialmente. La parte superior de la placa corresponde a varios estratos superpuesto de arenisca, de 4 m de potencia media cada uno, seguidos por una sucesión donde alternan lutitas, margas y areniscas en estratos delgados (Figuras 1 y 2). La serie puede repetirse, presentando sucesivas intercalaciones de paquetes gruesos de arenisca que afloran al resistir mejor a la erosión y rebajamiento de superficie. Por lo común, las zonas con estratos delgados del flysch, contienen materiales de baja permeabilidad más disgregables, no susceptibles de experimentar karstificación; pero en ocasiones los estratos gruesos de arenisca pueden servir de techo a cavidades formadas al erosionarse las intercalaciones de lutitas y margas calcáreas.

En general, en la vecindad de escarpes y zonas de fractura, los estratos gruesos de arenisca colapsan mecánicamente, produciendo pequeños escalones y fragmentando los estratos superiores en bloques, los cuales deslizan por gravedad, formando grandes acumulaciones de bloques desprendidos. Las zonas de borde recortadas lateral o frontalmente por la erosión de superficie y marina, presentan así sistemas de grietas y simas que se extienden hasta los planos de estratificación inferiores. Si la erosión marina remueve los materiales más disgregables, se forman entonces en la línea de costa prominentes cabos constituidos por estas acumulaciones de bloques de arenisca. Entre y bajo los bloques de colapso quedan espacios que forman cuevas de recubrimiento, cuya extensión total puede ser importante, ya que a menudo se prolongan en galerías inter-estratos y mesocavernas menores en roca compacta. Veremos a continuación algunos ejemplos de cuevas y geoformas hallados en el sector.

CONCRECIONES Y GEOFORMAS EN ZONA LITORAL

Son comunes en los estratos gruesos de arenisca las concreciones esféricas de cannonballs, de hasta 60-80 cm de diámetro, así como restos de las gangas envolventes de las mismas. Algunas fracturas de descompresión mecánica que han fracturado los bloques muestran estas concreciones en sección, indicando que poseen similar resistencia que la roca-caja adyacente. Las gangas o envolturas arcillo-arenosas poseen con frecuencia bandeados rítmicos de Liesegang, inclusiones de lutitas y láminas resistentes de óxidos de hierro y aluminio, con diversos colores y diseños (Galán et al., 2013).

También son frecuentes en el área de estudio los pro-paramoudras (el equivalente calcificado de los paramoudras). Muchos de ellos se presentan en bloques tabulares de espesor medio (1-2 m) que, batidos por la fuerza del oleaje, resultan desplazados y quedan amontonados con las inclinaciones más diversas (Figura 3). Entre las acumulaciones de bloques menores es posible encontrar cannonballs desprendidos (Figura 3), que normalmente son removidos de las paredes dejando en ellas sólo oquedades o concavidades semi-esféricas, con restos de las gangas envolventes donde estuvieron emplazados. Resulta obvio que se trata de concreciones esféricas y no de cantos rodados, porque se encuentran entre bloques angulosos poco o nada rodados. Así mismo son frecuentes en lajas y bloques delgados numerosas pistas y trazas fósiles (= ichnofósiles) de organismos marinos (*Thalassinoides*, *Ophiomorpha*, *Nereites*, *Saerichnites* y trazas afines).

Entre las microformas destacan ininidad de formas alveolares, probablemente producidas por desagregación intergranular y haloclastia. Generalmente se encuentran en bloques con superficies recementadas por carbonatos. La alteración de estas superficies endurecidas (= duricrust) deja en relieve las microformas alveolares, a menudo con intrincados diseños (Figura 4).

En los mismos sectores se encuentran mallas de fisuras a lo largo y en torno a las cuales se ha producido una movilización de soluciones de óxidos e hidróxidos de hierro. La roca cementada y teñida por estas soluciones en torno a las fisuras adquiere una resistencia mayor a la erosión posterior que la roca adyacente y la propia fisura, quedando a menudo en relieve positivo como anillos de Liesegang de doble quilla, formando mallas ortogonales de fisuras en relieve (Figura 4).



Figura 01. La placa central de Igueldo forma una laja de arenisca casi continua, coronada por estratos gruesos de arenisca. Bajo los mismos hay secuencias de estratificación delgada, constituidas por una alternancia rítmica de lutitas, margocalizas y areniscas, más disgregables. El recorte lateral y frontal de la placa forma promontorios prominentes, con acumulaciones de grandes bloques de colapso y sistemas de cuevas.



Figura 02. Estratos delgados de lutitas y margas bajo una serie de estratos gruesos de arenisca compacta. Nótese el pliegue en "L" en las lutitas (más plásticas y deformables) y como la erosión lateral de estos paquetes forma abrigos que tienen por techo los estratos gruesos de arenisca. Entre los planos de estratificación percolan a menudo láminas de agua.



Figura 03. Bloques tabulares desplazados por la acción del oleaje, y concreciones de tipo cannonballs seccionadas y sueltas.



Figura 04. Bloques con superficies arenizadas con restos de duricrusts y tramas de microformas alveolares en ellas. Diaclasas ortogonales con quillas dobles (endurecidas por recementaciones) en torno a las fisuras.

ESTRUCTURAS DE PENÉLOPE

En este sector de Igueldo también encontramos un tipo de geoformas que resulta nuevo a nivel global y que denominamos *Estructuras de Penélope* (Figuras 5 y 6).

Utilizamos esta denominación por analogía con el tejido interminable que Penélope (uno de los personajes de la Odisea, esposa del rey de Ítaca) elaboraba de día, para deshacer por la noche lo creado durante el día, con el fin de mantener a la espera a sus pretendientes (a los que prometía un nuevo enlace a su término) durante el mayor tiempo posible, hasta que regresara su esposo de la Guerra de Troya. En el relato de Homero, cuando el esposo regresa a casa, Penélope termina la labor. Odiseo mata a los pretendientes y permanece con ella, razón por la que es considerada un símbolo de fidelidad, algo raro hoy en día.

Las *Estructuras de Penélope* se forman sobre las paredes de bloques de arenisca en los cuales la superficie recementada externa ha sido removida por el progreso de la disolución intergranular. En la superficie rebajada, más disgregable, se forman surcos con granulaciones diversas. En la Figura 5 dan la impresión de predominar las formas subverticales, como si se tratara de escurrimientos en surcos, pero la Figura 6 muestra que el progreso de esta desagregación de la roca deja una trama residual de duricrust con alveolos que recuerda un poco el diseño de las bandas de Moebius (Galán & Nieto, 2012) y geoformas cordadas (Galán et al., 2009). Las zonas rebajadas intermedias presentan superficies finamente granuladas. Donde resulta difícil discernir en qué medida actúan la disolución intergranular, la haloclastia y/u otros procesos de alteración de la roca. Las morfologías resultantes, con complejas filigranas, parece que se construyen y destruyen en un proceso sin fin. Por lo que nos pareció adecuado aludir a Penélope en su denominación. Resultan estéticamente remarcables y además son ejemplos de nuevos tipos de geoformas, sólo conocidas y descritas de estas localidades de Igueldo.

PROMONTORIOS, FRACTURAS, ESCARPES Y CAVIDADES

En algunas zonas de la placa central quedan pequeñas elevaciones topográficas que forman promontorios o puntas prominentes. Están coronadas a techo por estratos gruesos de arenisca, que tienen por debajo una serie de unos 15 m de potencia constituida por estratos delgados de lutitas, margas y areniscas, a la cual sigue hacia abajo una nueva serie de estratos gruesos de arenisca cuya superficie aflorante constituye la mayor extensión de la placa central (Figuras 07 a 09).

La erosión y recorte lateral de los paquetes de estratificación delgada forma escarpes. En los bordes de los estratos superiores de arenisca se acentúa la apertura de fracturas verticales, por descompresión mecánica. De este modo se genera el colapso y desprendimiento de grandes bloques desde el tramo superior (Figuras 08 y 09).

Las mayores acumulaciones de bloques se localizan en la zona litoral, donde el desgaste frontal y lateral de los estratos de arenisca por la erosión marina ha generado prominentes cabos y puntas, constituidas por las acumulaciones de bloques clásticos. La remoción de las lutitas infrayacentes, propicia de este modo el retroceso del frente marino, ya que resultan menos fáciles de remover las acumulaciones de grandes bloques de arenisca.

En estos caos gigantes de bloques se encuentran cuevas de recubrimiento y redes de mesocavernas inter-estratos, que pueden alcanzar varias decenas de metros de desarrollo, con zonas en acentuada oscuridad, y cuyas partes bajas resultan invadidas por el agua de mar durante las pleamares. También se forman en los bordes simas de hasta -15 m de desnivel, que pueden enlazar o no con cavidades inferiores (Figuras 07 y 09).

La fauna cavernícola en estas simas y cuevas acostumbra incluir una variada representación de invertebrados terrestres, dulceacuícolas, litorales y marinos (Galán, 2001), así como biotopos con recubrimientos de algas propias de la zona litoral. Los espeleotemas son poco frecuentes, pero localmente hemos encontrado casos de cavidades, donde las galerías más alejadas del nivel del mar presentan una amplia variedad de espeleotemas, de ópalo-A, calcita y muchas fases minerales amorfas (de silicatos de aluminio, óxidos e hidróxidos de hierro y aluminio, sulfatos, silicatos, etc.).

CUEVAS DE GRAN VOLUMEN INTERNO

En algunos de los promontorios se encuentran cuevas de gran volumen interno. Las Figuras 10 a 14 ilustran uno de estos casos. La cavidad abre su boca de acceso en un retículo de fracturas verticales ampliadas, de 5 a 8 m de desnivel, donde una galería (Figura 10) da paso a una sala espaciosa, cuya parte más baja es invadida por el agua de mar en marea alta.

Pero la mayor parte de la cavidad queda por encima y fuera del alcance de la acción marina. La sala central tiene 40 m de largo x 20 m de ancho y techo a 8-10 m de altura (Figura 11). El techo está constituido por un grueso estrato de arenisca, que es la base de la serie superior de arenisca. Las paredes del lado W corresponde a una secuencia de estratificación delgada de areniscas, margas y lutitas, mientras que las paredes del E son de tramos de arenisca compacta que han colapsado verticalmente (Figura 12). La cavidad presenta otra boca horizontal en la parte media y una boca superior en chimenea abierta en la arenisca de la parte superior de la serie (Figura 12). El suelo es en parte una laja de arenisca y contiene rellenos de bloques menores. La cavidad totaliza 80 m de desarrollo y 25 m de desnivel.



Figura 05. Estructuras de Penélope en la entrada de una cueva de recubrimiento. Nótese los surcos dobles en las áreas arenizadas y rebajadas, y microformas alveolares en las superficies recementadas remanentes.



Figura 06. *Estructuras de Penélope.* Constituyen un nuevo tipo de geoformas, descrito en este trabajo. La superficie recementada externa del bloque es rota y removida por el progreso de la disolución intergranular, dejando una trama remanente con microformas alveolares. Nótese la fina granulación de las áreas deprimidas y el complejo diseño de la trama remanente, la cual se extiende en distintas direcciones en la parte lateral e inferior del bloque.



Figura 07. Escarpe lateral por erosión del tramo inferior de lutitas y margas, de estratificación delgada, y muy disgregable. En los estratos superiores de arenisca, de varios metros de potencia, se intensifica la apertura de fracturas verticales, por descompresión mecánica de la zona de borde del escarpe. De este modo se generan simas y fracturas, y se produce el desprendimiento de grandes bloques clásticos.



Figura 08. Grandes extensiones de lajas costeras, concordantes con el buzamiento, en el litoral de la placa central de Igueldo. Se observan recortes, producidos por la erosión marina, y acumulaciones de bloques en torno a escalones y escarpes.



Figura 09. La erosión marina recorta lateral y frontalmente la laja costera, produciendo escarpes acantilados y dejando sistemas de corredores y fracturas verticales en los tramos fragmentados y entre bloques colapsados. En el interior de estas simas y corredores se abren bocas de cuevas que profundizan en la roca-caja a expensas de los planos de estratificación.

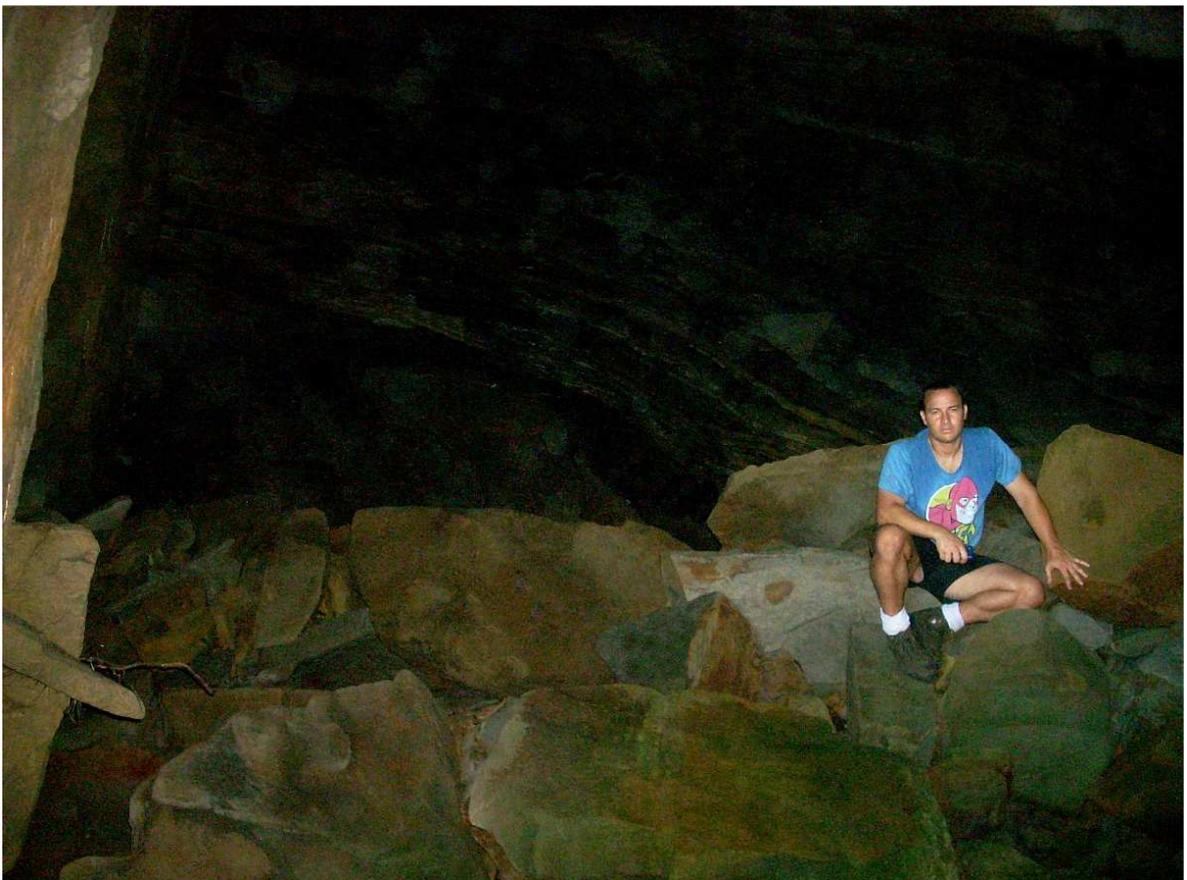


Figura 10. En el fondo de un corredor se abre la galería de acceso a una cueva que profundiza en la roca-caja y posee grandes volúmenes internos.



Figura 11. Gran sala en oscuridad (de 40 m de largo x 20 m de ancho y techo a 8-10 m de altura). La luz del flash sólo ilumina parcialmente el espacio y la imagen sale pixelada, pero puede notarse que la pared del lado derecho es una sucesión de estratificación delgada de lutitas y margas, teniendo por techo estratos gruesos de arenisca.

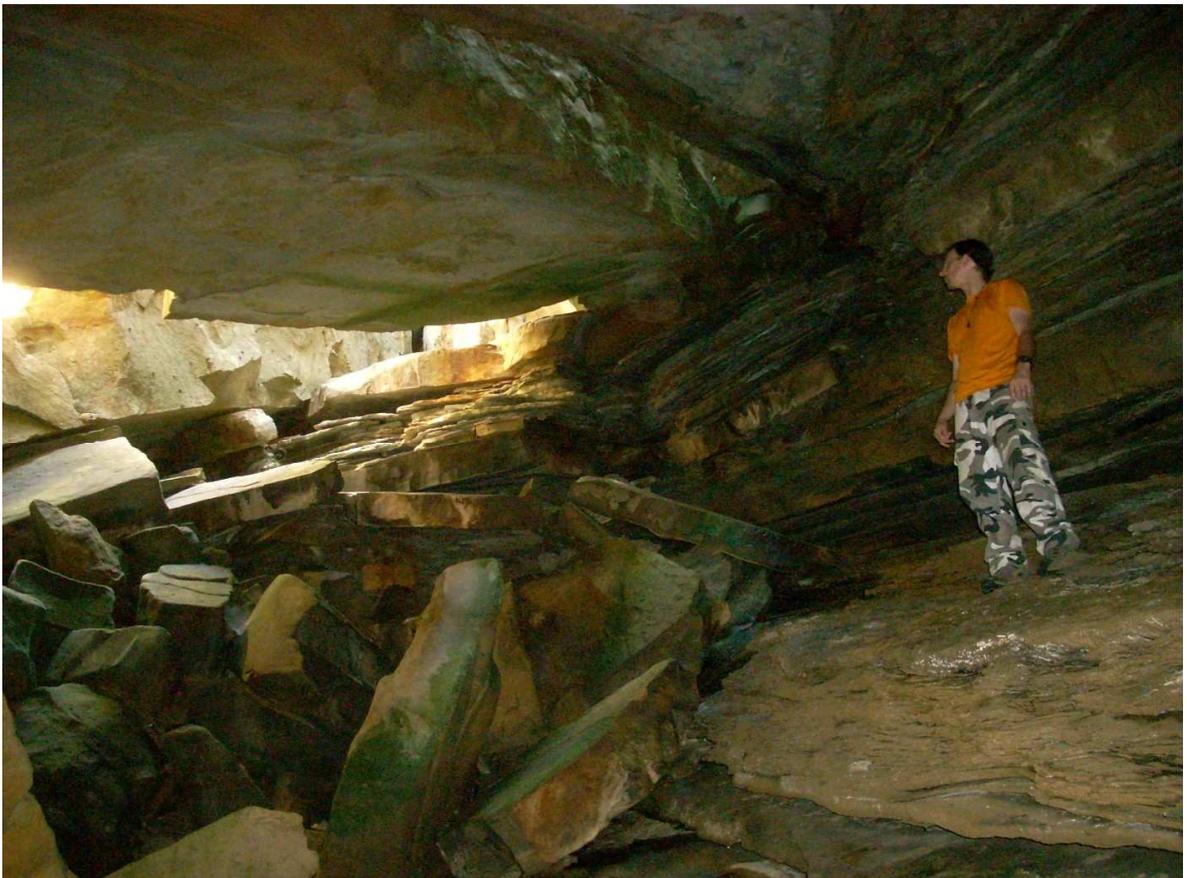


Figura 12. Parte superior de la sala, con la chimenea o claraboya que constituye la entrada superior. Nótese que el volumen subterráneo ha sido excavado por remoción de los estratos delgados de lutitas, margas y areniscas, comprendidos entre estratos gruesos y compactos de arenisca.

La cavidad presenta una moderada actividad hídrica, con láminas de agua que surgen de entre los planos de estratificación. La cueva ha sido formada así por disolución y ampliación de fisuras en la arenisca y sobre todo por la remoción del paquete intermedio de estratos delgados de lutitas y margas (Figuras 12 á 14).

El agua de infiltración que percola a través de los planos de estratificación ha generado numerosas espeleotemas (numerosos detalles en Figuras 13 á 14). Sobre los estratos delgados se forman espeleotemas botroidales y excéntricas de ópalo-A, otras arborescentes de ópalo-A con terminaciones más amplias de cristales de yeso, de tipo wisklers. Hay además recubrimientos y coladas de calcita, que en algunos puntos formas banderas y estalactitas de varios centímetros. En la placa de techo son comunes films milimétricos de silicatos de aluminio amorfo, de calcita, de yeso criptocristalino y de oxi-hidróxidos de hierro. Esta diversidad en parte obedece a que el agua mana o percola a través de estratos de distinta litología.

La cavidad posee atmósfera húmeda y zonas en oscuridad total, aunque la penumbra se extiende en zonas próximas a las tres entradas, que son mucho más ventiladas.

En la zona existen otras cuevas de este tipo, que constituyen ejemplos de formas mixtas de disolución y excavación, y no simples cuevas de recubrimiento entre bloques. No obstante, puede comprenderse que en su génesis influyen una serie de factores conjugados, incluyendo los procesos clásticos mecánicos.

La mayoría de las espeleotemas son formadas por la precipitación de minerales secundarios a partir de componentes de la roca-caja disueltos por el paso de agua intergranular, que filtra preferentemente a través de los planos de estratificación, pero también de la porosidad de las rocas. Algunas de ellas, sobre todo en los techos próximos a zonas de penumbra, están asociadas a films orgánicos que sugieren un origen biogénico, donde el crecimiento cristalino es propiciado o está influido por la actividad metabólica bacteriana (Galán & Vera Martín, 2011; Galán et al., 2010, 2013).

BLOQUES Y CUEVAS DE RECUBRIMIENTO

Otras cuevas de rasgos intermedios entre los dos tipos anteriores se encuentran en zonas fracturadas de la laja costera y entre bloques desprendidos y desplazados de la misma. En estos puntos, las fracturas y bloques desplazados del tramo superior de la secuencia de arenisca, deja corredores y vacíos interestratos, a menudo en continuidad con bloques menores desgastados por la erosión marina. Varios ejemplos son ilustrados en las Figuras 15 á 17.

En estos casos se trata de cavidades entre los estratos o entre éstos y grandes bloques tabulares desprendidos. En algunos de ellos circulan láminas de agua permanentes y hay ejemplos que muestran en el suelo de las galerías concavidades y marmitas de erosión turbillonar (Figura 16), probablemente excavadas cuando circulan mayores caudales durante épocas de fuertes lluvias.

En la zona costera, durante la marea baja, quedan al descubierto muchas cuevas de recubrimiento desarrolladas bajo y entre rellenos heterométricos de bloques (Figura 17). Con mareas vivas, durante la bajamar, son accesibles decenas de metros de pseudogalerías entre y bajo bloques de este tipo, con zonas oscuras, y también con galerías y conductos menores (Figura 18) que aprovechan la intersección entre fisuras y planos de estratificación de los estratos compactos de la laja costera.

OTRAS CONCRECIONES Y GEOFORMAS

Las figuras 18 y 19 muestran diversos ejemplos de láminas y concreciones de silicatos y óxidos de hierro y aluminio. Algunas concreciones son láminas horizontales mientras que otras de complejo diseño parecen ser parte de envolturas de cannonballs vaciados. También existen conjuntos de concavidades de cannonballs y proparamoudras que han sido vaciados y forman galerías de hasta varios metros de desarrollo, prolongadas en mesocavernas menores. En estas se pueden encontrar bandeados rítmicos de Liesegang y concreciones laminares de diversa composición.

PARAMOUDRAS Y FORMAS RELACIONADAS

En distintos sectores de esta zona litoral se encuentran Paramoudras y concreciones afines (Figuras 20 á 22). Los más próximos al nivel del mar están muy meteorizados por las salpicaduras del oleaje y erosión marina, por lo que son poco conspicuos. Pero por encima del nivel de alcance de las olas hay ejemplos muy bien preservados, esféricos y cilíndricos, con orificios axiales y prominentes espículas (Galán et al., 2008). Algunos bloques de colapso muestran en el plano de fractura extraordinarios ejemplos de Paramoudras seccionados a lo largo de toda su longitud (Figura 21) y/o transversalmente (Figura 22).

En algunas de estas zonas con Paramoudras existen sistemas adicionales de cuevas de recubrimiento, bajo y entre grandes bloques tabulares. Algunas de las exploradas poseen galerías inter-estratos con actividad hídrica y alcanzan varias decenas de metros de desarrollo.

Difícilmente podemos clamar que estos relieves caóticos, con sistemas de cuevas y abrigos, han sido totalmente explorados. En realidad sólo una ínfima parte ha sido objeto de exploración minuciosa, por lo que es de preveer que sucesivas exploraciones aporten nuevos hallazgos de cavidades y geoformas de interés.

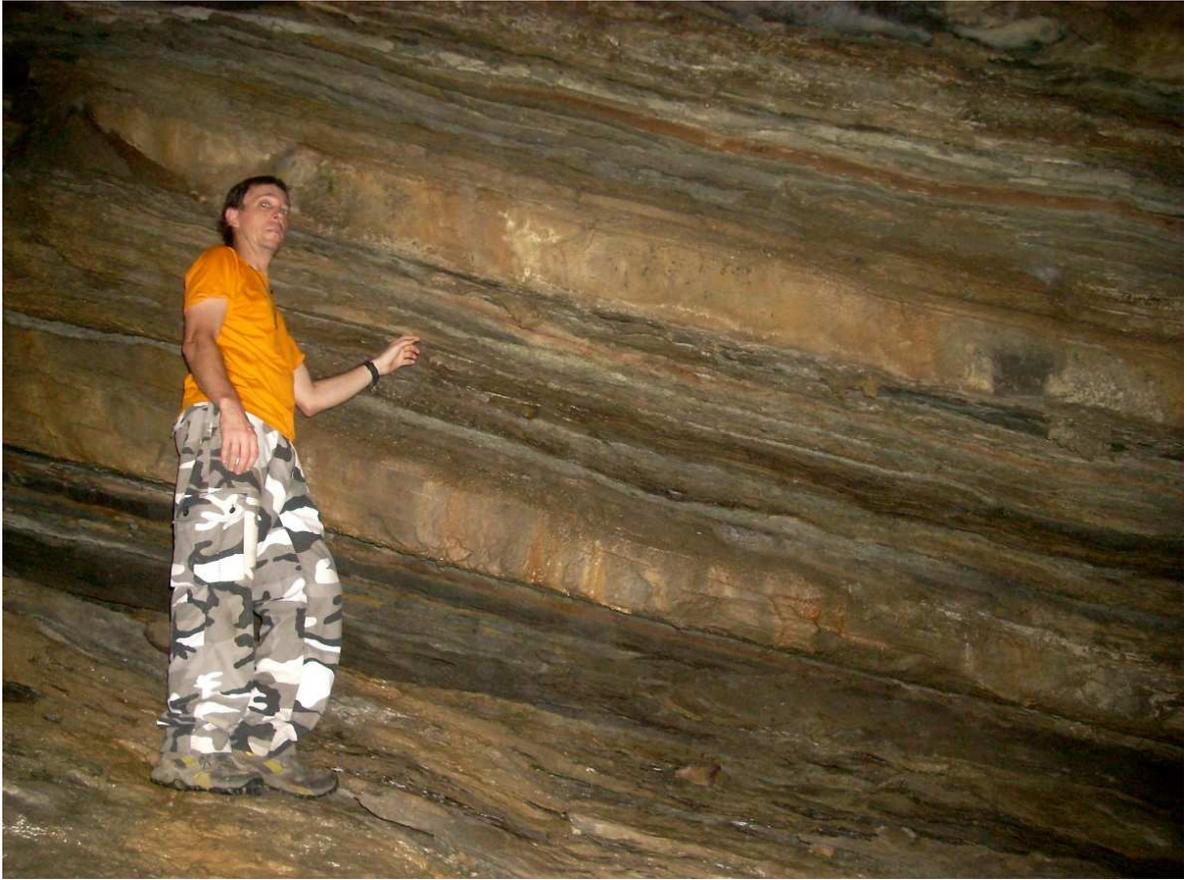


Figura 13. Detalle de las paredes con estratificación y crecimientos de espeleotemas de calcita, ópalo-A y formas compuestas con una base tubular de ópalo y terminaciones distales arborescentes de yeso, de tipo wisklers.



Figura 14. Diversidad de espeleotemas en paredes y techos. Sobre las paredes son comunes coladas de calcita y espeleotemas botroidales y coraloides de ópalo-A. En los techos predominan recubrimientos de silicatos de aluminio, oxi-hidróxidos de hierro y banderas lineales de calcita.



Figura 15. La laja costera con duricrusts recementados por carbonatos y óxidos de hierro, crecimientos de líquenes amarillos, y grandes bloques de colapso en las puntas y zonas de borde de escarpes.



Figura 16. Ejemplos de corredores y cuevas de recubrimiento entre estratos tabulares de la parte superior de la serie.

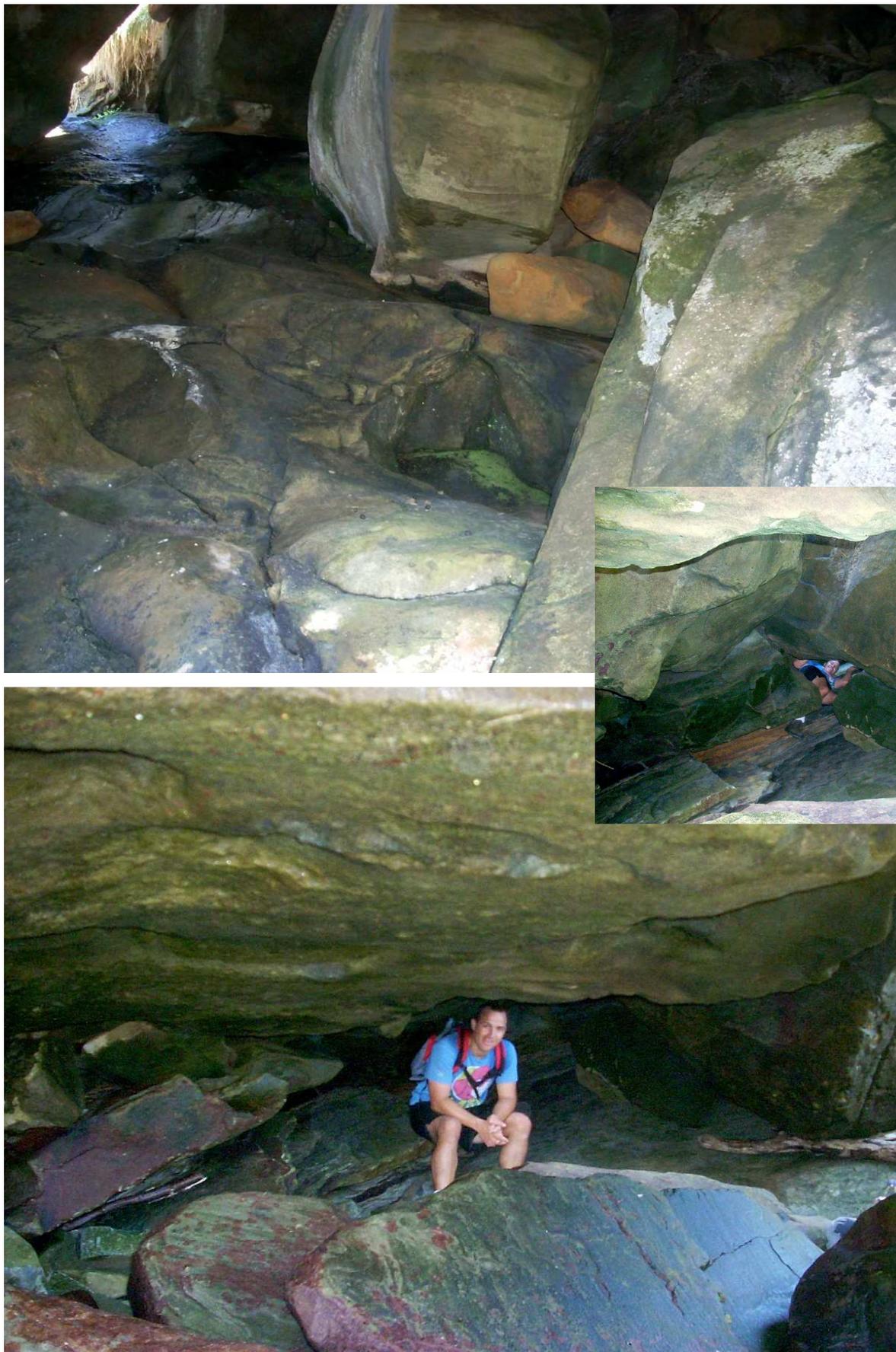


Figura 17. Cuevas de recubrimiento bajo bloques tabulares. Algunas presentan actividad hídrica y se prolongan en macro y mesocavernas en zona oscura. Las partes más bajas son invadidas por agua de mar y presentan crecimientos de algas.



Figura 18. Pequeñas galerías formadas a expensas del vaciado y ampliación de series de cannonballs (imagen superior), a menudo en continuidad con otras galerías y cavidades mayores. En la imagen inferior, concreciones laminares de carbonatos y óxidos de hierro y aluminio. Las manchas ocre-anaranjadas corresponden a crecimientos de líquenes.



Figura 19. Concreciones laminares de óxidos de hierro, de complejo diseño, ocupando concavidades de cannonballs. Al fondo, gaviotas sobre la laja costera.



Figura 20. Paramoudras en la laja costera. Los más próximos al mar fuertemente meteorizados por salpicaduras del oleaje. Los Paramoudras son concreciones silíceas organizadas en torno a las trazas fósiles (= ichnofósiles) de tubos de organismos marinos (poliquetos abisales). En menor proporción hay carbonatos en los cementos, existiendo formas intermedias.



Figura 21. Espectacular ejemplo de Paramoudra de 6 m de longitud en sección longitudinal. El ichnofósil ha sido denominado *Batichnus paramoudrae* pero se desconoce la identidad del animal que ha originado los tubos.



Figura 22. Zona con gran diversidad de Paramoudras. Entre los bloques tabulares existen muchas cuevas de recubrimiento sólo parcialmente exploradas. Un amplio territorio para futuras investigaciones y ulteriores hallazgos.

DISCUSION Y CONCLUSIONES

El dispositivo estratigráfico de las turbiditas del flysch Eoceno, con intercalación de niveles delgados de lutitas y margas entre las areniscas, dificulta la infiltración y la génesis de cuevas de gran extensión. En un trabajo reciente sobre esta región de Igueldo (Galán et al., 2013) mostramos que el flysch Eoceno es una sucesión rítmica de materiales de distinta litología (no sólo arenisca), y según confluyan o no un conjunto de factores locales, puede verse facilitada la creación de cavidades o, por el contrario, se generarán formas de superficie peculiares. La infiltración y circulación subterránea de las aguas en la arenisca coexiste de este modo con la erosión normal del modelado de superficie, otorgando al conjunto su carácter pseudokárstico, con desigual desarrollo de procesos de cavernamiento.

En esta nota nos hemos referido especialmente a los ejemplos de cavidades y geoformas en arenisca hallados a lo largo de la franja litoral de la placa central de Igueldo. Los ejemplos más llamativos de geoformas incluyen estructuras de Penélope, diversas microformas alveolares y concreciones laminares de silicatos y óxidos de hierro y aluminio, de curiosos diseños. Las cavidades incluyen ejemplos de gran volumen interno, cuevas inter-estratos, corredores y simas tectónicas, cuevas de recubrimiento bajo y entre rellenos de grandes bloques de colapso. Y una relativamente amplia variedad de espeleotemas, cuya caracterización química y mineralógica detallada, sobre todo en el caso de compuestos microcristalinos y amorfos, requeriría de analítica adicional. Así mismo ha sido reportada la ocurrencia de concreciones en la roca-caja, incluyendo interesantes ejemplos de cannonballs y Paramoudras.

Los fenómenos espeleológicos están desigualmente representados en la arenisca del flysch Eoceno, dado que la disolución intergranular de las rocas y su karstificación coexisten con los procesos erosivos normales. Tratándose en consecuencia de un peculiar pseudokarst en arenisca. También ha sido señalado que, desde un punto de vista biológico, la extensión sumada de los espacios subterráneos llega a ser considerable y constituye de este modo un importante medio hipógeo, con biotopos peculiares, habitado por una variada representación de fauna cavernícola. Lo que lo hace un medio equiparable al MSS (Medio Subterráneo Subsuperficial) y otros habitats subterráneos transicionales.

El hallazgo de cuevas peculiares y geoformas novedosas (con rasgos y diseños remarcables), amplían la gama de variación previamente conocida para el pseudokarst en arenisca de la Formación Jaizkibel. Motivo para recomendar ampliamente la puesta en valor y adecuada conservación de este valioso patrimonio geo-biológico, mediante figuras de protección y gestión adecuadas, que actualmente están faltando. Recordemos que este pseudokarst en arenisca (que abarca extensas zonas de Jaizkibel, Ulía e Igueldo) contiene valores notables en geodiversidad y diversidad biológica, incluyendo ejemplos nuevos para la Ciencia, únicos en el mundo.

AGRADECIMIENTOS

A todos los compañeros y colaboradores del Laboratorio de Bioespeleología de la S.C.Aranzadi que nos acompañaron en prospecciones en el área o aportaron revisiones críticas, observaciones y sugerencias, entre ellos a: Marian Nieto, Daniel Arrieta, Piero Di Bartolomeo, Robert Ionescu, e Iñigo Herraiz. También agradecemos a Carolina Vera Martín, Carlos Oyarzabal y Franco Urbani por su invaluable ayuda en el análisis de muestras de concreciones, espeleotemas y paramoudras.

BIBLIOGRAFÍA

- Campos, J. 1979. Estudio geológico del Pirineo vasco al W del río Bidasoa. *Munibe, S.C.Aranzadi*, 31(1-2): 3-139.
- 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. & C. Vera Martín. 2011. Microanálisis por dispersión de energía XPS de espeleotemas de yeso y ópalo-A en una cueva en arenisca de Jaizkibel (País Vasco). *Web aranzadi-sciences.org*, Archivo PDF, 8 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). *Web aranzadi-sciences.org*, Archivo PDF, 44 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.; M. Nieto; O. Zubizarreta & C. Vera Martín. 2010. Nuevos datos sobre vermiculaciones arcillosas y espeleotemas de ópalo-A, hematita y yeso, en cuevas en arenisca del pseudokarst de Jaizkibel. *Web aranzadi-sciences.org*, Archivo PDF, 15 pp.
- Galán, C. & M. Nieto. 2012. Bandas de Moebius, Boxworks y otras raras Geoformas en arenisca de la Formación Jaizkibel. *Bol. SEDECK - Sociedad Española de Espeleología y Ciencias del Karst*, 8 (2012): 20-41. Reedición modificada de Galán & Nieto, 2010 in: *aranzadi-sciences.org*, Archivo PDF, 30 pp.
- Galán, C.; M. Nieto; J. Rivas; D. Arrieta; Dv. Arrieta & P. Di Bartolomeo. 2013. Notas sobre geomorfología, cuevas de recubrimiento, espeleotemas y geoformas en arenisca del flysch Eoceno (zona central de Igueldo). *Web aranzadi-sciences.org*, Archivo PDF, 45 pp.