

**HALLAZGO DE PROPARAMOUDRAS EN UN ACANTILADO DEL LITORAL CENTRAL DEL MONTE ULÍA  
(PUNTA ATALAYA, FLYSCH EOCENO DE SAN SEBASTIÁN, PAÍS VASCO)**

Finding of Proparamoudras in a cliff of the central coast of the mount Ulía (Atalaya Point, Saint Sebastian Eocene flysch, Basque Country)



**Carlos GALAN & José RIVAS.**

Sociedad de Ciencias Aranzadi. Alto de Zorroaga. E-20014 San Sebastián - Spain.  
E-mail: [cegalham@yahoo.es](mailto:cegalham@yahoo.es)  
(Enero 2009)

Con la colaboración de: **Marian NIETO; Marider BALERDI & Luis VIERA.**

# HALLAZGO DE PROPARAMOUDRAS EN UN ACANTILADO DEL LITORAL CENTRAL DEL MONTE ULÍA (PUNTA ATALAYA, FLYSCH EOCENO DE SAN SEBASTIÁN, PAÍS VASCO)

Finding of Proparamoudras in a cliff of the central coast of the mount Ulía (Atalaya Point, Saint Sebastian  
Eocene flysch, Basque Country)

**Carlos GALAN & José RIVAS.**

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

E-mail: cegalham@yahoo.es

(Enero 2009)

Con la colaboración de: **Marian NIETO; Marider BALERDI & Luis VIERA.**

## RESUMEN

Se describe el hallazgo de Proparamoudras en un acantilado del monte Ulía (San Sebastián), en estratos de caliza y caliza arenosa del flysch litoral de edad Eoceno (Formación Jaizkibel). Estos consisten en concreciones carbonatadas, de formas esféricas y cilíndricas, organizadas en torno a las trazas fósiles de tubos o madrigueras de organismos marinos. Poseen una estructura similar a la de los Paramoudras previamente descritos de la Formación Jaizkibel, hallados en estratos de arenisca, pero son menos conspicuos. Se señala también la presencia de numerosas pistas fósiles o bioturbaciones en estratos intercalados de lutitas, y de cannonballs en estratos contiguos de arenisca, de la serie flysch. Se discuten sus características, origen y bioichnología.

*Palabras clave:* Paramoudras, Proparamoudras, pseudokarst, caliza, arenisca, concreciones, geología, biología, ichnología.

## ABSTRACT

The finding of Proparamoudras in a cliff of the mount Ulía (Saint Sebastian) in limestone and sandy limestone beds of the littoral flysch of Eocene age (Jaizkibel Formation) are described. They are carbonated concretions of spherical and cylindrical shapes, organized around the fossil tubes or burrows of marine organisms. Their structure is similar to Paramoudras previously described from sandstone of the Jaizkibel Formation, but these ones are less eminent. We also appoint the presence of numerous bioturbations or fossil trails and burrows in interbedded mudstones, and the cannonballs in sandstone adjoining beds, of the flysch series. Their characteristics, origin and bioichnology are discussed.

*Key words:* Paramoudras, Proparamoudras, pseudokarst, limestone, sandstone, concretions, geology, biology, ichnology.

## INTRODUCCION

Desde hace dos décadas efectuamos exploraciones en numerosos enclaves del extenso litoral que se extiende cerca de San Sebastián, entre Orio y Hondarribia (montes Igueldo, Ulía y Jaizkibel), particularmente en los afloramientos más compactos y potentes de arenisca, donde se desarrolla un pseudokarst, con numerosas grutas, abrigos y pequeñas cavidades, algunas de las cuales albergan una fauna hipógea singular y notables geoformas.

A partir de los años 1980's el campo de la Bioespeleología experimenta una pequeña revolución. Los estudios hasta entonces estaban prácticamente restringidos al karst clásico en caliza, pero progresivamente se extienden a cavernas en otras litologías (cuevas en lava, cuevas anquihalinas, cuevas en cuarcitas, karsts en diversas zonas tropicales) y en medios transicionales distintos a cavernas (MSS - Medio Subterráneo Superficial, medio hemiedáfico, medio intersticial, minas, túneles y cavidades artificiales). El hallazgo de fauna cavernícola especializada en estos ambientes empieza a mostrar claramente que los cavernícolas estrictos o troglobios son esencialmente habitantes de mesocavernas o vacíos de tamaño medio (1 a 20 cm), siendo las cuevas clásicas en caliza sólo una parte de su habitat, y extendiéndose éste a medios subterráneos transicionales incluso en litologías donde no existen cuevas. La fauna troglobia está básicamente adaptada a mesocavernas y se presenta en cuevas o macrocavernas (mayores de 20 cm) cuando este habitat está disponible.

Nuestro interés por el estudio de la fauna cavernícola determinó que iniciáramos el estudio de medios transicionales en Gipuzkoa (MSS, minas y cuevas en litologías no-calizas) a partir de 1987. Entre estos detectamos mesocavernas y ambientes transicionales en arenisca del flysch Eoceno (GALAN, 1991, 1993, 2001), en la zona costera entre Hondarribia (frontera con Francia) y Orio. Adicionalmente, el estudio de zonas kársticas tropicales y cuevas en otras litologías, y particularmente los sucesivos descubrimientos de cuevas y de un auténtico karst en cuarcita (en países como Venezuela, Brasil y Sudáfrica), el



Sendero de descenso desde la parte alta de Ulía hacia el espolón rocoso de Punta Atalaya, con diversos abrigos pseudokársticos y numerosas concavidades en arenisca.



Siguiendo a lo largo del espolón se accede al prominente cabo rocoso de Punta Talai o Punta Atalaya. 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.

cual muestra numerosas similitudes con formas pseudokársticas en arenisca, sugerían que futuras investigaciones en Jaizkibel podían poner al descubierto cavidades y sistemas subterráneos, hasta entonces no conocidos. Tras varias prospecciones en el MSS y medios transicionales en las areniscas de Jaizkibel e Igueldo, comenzamos a apreciar que en los escarpes más compactos de arenisca existía gran número de pequeñas cuevas, abrigos y grutas previamente no explorados.

Así, en los últimos años intensificamos las prospecciones, con interesantes hallazgos de cuevas, simas, geoformas y fauna hipógea de singulares características (GALAN et al., 2007, 2008; ZARAGOZA & GALAN, 2007). Entre estos hallazgos se produjo en 2008 el descubrimiento de Paramoudras en Jaizkibel e Igueldo (GALAN & MOLIA, 2008; GALAN et al., 2008), constituyendo algunos de los ejemplos más notables y mejor preservados de Paramoudras a nivel mundial. A su interés científico aunaban el hecho de poseer los más extravagantes diseños.

Debido a que una gran parte de las más espectaculares cavidades y geoformas en la arenisca de Jaizkibel se encuentran en enclaves de difícil acceso, algunos de ellos prácticamente colgados en las paredes verticales de acantilados, aéreas cornisas y profundos cañones, abordamos su prospección con técnicas de escalada y speleo. Lejos de defraudarnos, los esfuerzos desplegados para prospeccionar estos remotos parajes nos han aportado en cada ocasión nuevos hallazgos de interés. A la vez que una mejor comprensión de todos los factores involucrados en el desarrollo de un pseudokarst de gran belleza estética y de características geo y biológicas remarcables.

Ello nos llevó al finalizar el año 2008 a prospeccionar uno de los acantilados más prominentes del litoral de Ulía. Nos guiaba el hecho de haber encontrado previamente fauna hipógea de interés en varios túneles artificiales excavados en las areniscas de Ulía para la captación de agua (GALAN, 2001), así como la existencia de grutas y oquedades pseudokársticas en la parte superior de la prominente punta o cabo llamada Talai, Atalaya o Atalayero. Esta se encuentra en la parte central de Ulía, a medio camino entre la punta de Monpás y el Faro de La Plata, al W de la ensenada de cala Murguita. Un espolón rocoso avanza hacia el Norte desde la ladera en la cota 200 m snm, para precipitarse en vertiginosos acantilados sobre el mar. El último tramo constituye una aérea punta de 70 m de desnivel vertical.

En marea baja, en la base del acantilado, batido habitualmente por las fuertes rompientes del Mar Cantábrico, se encuentra una pequeña zona plana o rasa mareal con bloques y fragmentos tabulares de los estratos desprendidos. La parte superior del acantilado (50 m) está constituida por gruesos estratos de arenisca, con numerosas oquedades producto del vaciado de cannonballs, pero su parte inferior (20 m) es una sucesión de bancos delgados de caliza con intercalaciones de lutitas. Aunque no encontramos cuevas, como en otros afloramientos de la Formación Jaizkibel, en los estratos calcáreos hallamos diversos ejemplos de Proparamoudras, así como una interesante representación de pistas fósiles en los contactos con lutitas.

Los Paramoudras son grandes concreciones silíceas organizadas en torno a las trazas fósiles (ichnofósiles) de organismos tubícolas marinos. Los Proparamoudras son los equivalentes no silicificados sino calcificados de los Paramoudras, y su significado ichnológico es ampliamente similar. Por tratarse del primer reporte de este tipo (al igual que los Paramoudras recientemente descritos de Jaizkibel e Igueldo) para el País Vasco y para la Península Ibérica, describiremos a continuación sus principales macro-rasgos. Esta nota constituye sólo un avance preliminar.

## **RESULTADOS**

### **NOTAS GEOGRAFICAS Y GEOLOGICAS**

El término "flysch" define una alternancia de estratos duros (de caliza o arenisca) con otros blandos (de lutitas y margas), formados en ambientes turbidíticos. El flysch Eoceno de Gipuzkoa ha sido denominado Formación Jaizkibel (CAMPOS, 1979), alcanza 1.500 m de espesor y está formado por capas duras de arenisca, con intercalaciones de niveles delgados de lutitas, margas y calizas arenosas.

La estructura general es monoclinial y con buzamiento N. Debido a la plasticidad del flysch las rocas han sido plegadas desigual y enérgicamente. En algunos acantilados costeros, como en Igueldo, Isla de Santa Clara (San Sebastián), Ulía, y a ambos lados de la entrada al puerto de Pasajes, el buzamiento es alto y los estratos adoptan una disposición subvertical (70° a 80° N-NW). Aunque en amplias secciones de Jaizkibel e Igueldo el buzamiento es menor, generalmente comprendido entre 20° y 40° N. En el caso de Punta Atalaya (y de todo el sector comprendido entre la punta de Monpás y ésta), su disposición es relativamente anómala, ya que los estratos subverticales buzaban hacia el NE.

La Formación Jaizkibel forma un suave arco de concavidad al N que se extiende unos 40 km desde el Cabo Higer en Hondarribia hasta 10 km al W de Zarauz. Localmente, en San Sebastián y en Zarauz, el trazado del arco presenta dos zonas de convexidad N atribuidas a 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) (JEREZ et al., 1971).

La Formación Jaizkibel se compone de potentes bancos de arenisca que presenta intercalados delgados niveles de lutitas y margas. El grosor de los estratos de arenisca, de varios metros, aumenta de abajo hacia arriba. En la zona de estudio de este trabajo los estratos individuales de arenisca alcanzan 10 m de potencia. 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.



Inicio del descenso del acantilado de Punta Atalaya. Puede apreciarse la potencia de los estratos de arenisca (10 m de espesor) y su disposición subvertical, lo que genera puntas prominentes al alcanzar el mar.



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, como en este caso.



Grosos estratos de arenisca en la parte superior del acantilado, con numeras cavidades semiesféricas debidas al vaciado de cannonballs. En la parte inferior los bancos de arenisca dan paso a estratos delgados de calizas y lutitas, más disgregables.

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 gryère característico. 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 intercaldos con lutitas.

El flysch de arenisca es un depósito de turbiditas (JEREZ et al., 1971; MUTTI, 1985; ROSELL, 1988; ROSELL et al., 1985), definido por la erosión parcial o total de una plataforma, su transporte por corrientes de turbidez y resedimentación a gran profundidad (abisal) en forma de grandes abanicos de deyección submarinos. CAMPOS (1979) distinguió en el área de estudio dos grandes abanicos submarinos, uno oriental (sector del monte Jaizkibel - Ulía), que comenzaría a formarse al final del Paleoceno superior y continuaría recibiendo aportes durante todo el Eoceno inferior, y otro, occidental (entre San Sebastián y Orio), cuya base se situaría en el Eoceno inferior y se extendería hasta el Eoceno medio. El buzamiento NE en el área de estudio es en parte explicado por ocupar dicha área el extremo W del arco oriental. Para ROSELL et al. (1985) la entera secuencia de areniscas es de edad Eoceno medio. La acumulación se verificó a una profundidad variable, de entre 1.000 y 4.000 m. La granulometría de la arenisca es más grosera hacia la parte alta de la secuencia, a la vez que aumenta progresivamente el espesor de los bancos.

Según VAN VLIET (1982) y ROSELL (1988) la cuenca eocénica pirenaica corresponde a un surco alineado de E a W, donde las facies distales (profundas) se sitúan en la parte occidental (País Vasco). Por tratarse del sector de cuenca más abierto al océano, estas plataformas han sido destruidas casi por completo, lo que explica el considerable desarrollo de sus sistemas turbidíticos. Las reconstrucciones paleogeográficas sugieren que la región formaba parte del margen meridional de un macizo europeo (Plateau de Las Landas), lo que explica la semejanza en la evolución sedimentaria entre ésta y la zona norpirenaica (ROBLES et al., 1988). Las descargas detríticas procedían del Norte y se produjeron en la desembocadura de cañones submarinos; los materiales arenosos van a formar conos de deyección, con disposición en abanico, en los que las descargas coexistían con aportes turbidíticos axiales alimentados desde el Este; éstos aportes, menos masivos, serían absorbidos y reordenados suturándose lateralmente con las masas de arenas (KRUIT et al., 1972).

Tras su diagénesis ocurre el levantamiento pirenaico por la colisión de las placas Ibérica y Europea, el cual comienza a finales del Eoceno, llevando los estratos del flysch hasta su posición actual. Cabe destacar que la región de estudio es una zona tectónica compleja, ya que hacia el W se formó corteza oceánica, y durante la fase compresiva se produce la subducción de la corteza oceánica bajo el margen continental de la placa Ibérica, conformando una cadena de subducción; mientras que hacia el E, durante la fase de rifting se produce un adelgazamiento de la corteza continental (sin llegar a formarse corteza oceánica); el posterior choque de las placas continentales, con corteza adelgazada, produce su soldadura y levanta la cadena de colisión de los Pirineos, en la cual la placa Ibérica se hunde bajo la Europea. La estructura actual del flysch Eoceno adopta una disposición monoclinial, con buzamiento general hacia el Norte.

La zona de estudio está situada en la parte superior W de la secuencia de turbiditas del abanico oriental, donde se ha desarrollado un pseudokarst sobre los bancos más compactos de arenisca. Intercalados entre los potentes bancos de arenisca, que forman en el relieve litoral prominentes puntas, se encuentran áreas donde los estratos duros del flysch están constituidos por calizas arenosas, en bancos métricos, con intercalaciones mucho más delgadas, centimétricas, de lutitas y margas.

El espolón o cabo que forma Punta Talai o Punta Atalaya está coronado por potentes bancos de arenisca, que han resistido mejor la erosión de superficie. En los estratos de arenisca son frecuentes procesos de disolución pseudokárstica intergranular, lo que ha generado numerosos abrigos, oquedades y pequeñas cuevas, muchas de ellas con diversas formas alveolares y boxworks, pero no tan notables como las halladas en las cavidades de Jaizkibel. Igualmente, sobre las paredes verticales son frecuentes y muy abundantes las concavidades producto de la remoción de cannonballs. Pero en la base del acantilado se encuentran tramos, mucho menos compactos y más disgregables, con alternancia de bancos duros de caliza y caliza arenosa, con tramos blandos de margas y lutitas de espesores centimétricos. En los estratos calcáreos más compactos es donde se produjo el hallazgo de Proparamoudras, los cuales faltan en las areniscas y lutitas.

## **DESCRIPCION DE PROPARAMOUDRAS**

Los Paramoudras son conocidos desde hace más de 100 años, particularmente de países del norte y centro de Europa. Recientemente han sido hallados también ejemplos por demás notables de Paramoudras en arenisca carbonática de la Formación Jaizkibel (Gipuzkoa, País Vasco) (una amplia descripción aparece en: GALAN & MOLIA, 2008; GALAN et al, 2008). Estas concreciones llaman la atención por su naturaleza, forma y dimensiones, la cual alcanza varios metros en los ejemplos mayores. Los Paramoudras son concreciones silíceas organizadas en torno a los tubos o madrigueras de pequeño diámetro de organismos marinos (BROMLEY et al, 1975). La generalidad del fenómeno de concrecionamiento (sea éste fosfatado-siderítico, silicificado o calcificado), en torno a los tubos o madrigueras de organismos marinos fosadores, ocurre en ambientes sedimentarios variados, principalmente en cretas y tufas, pero también en ambientes calcisiliciclásticos, e incluso en areniscas cuarzosas como las de la Formación Jaizkibel. Los Proparamoudras son definidos como los equivalentes no silicificados, sino



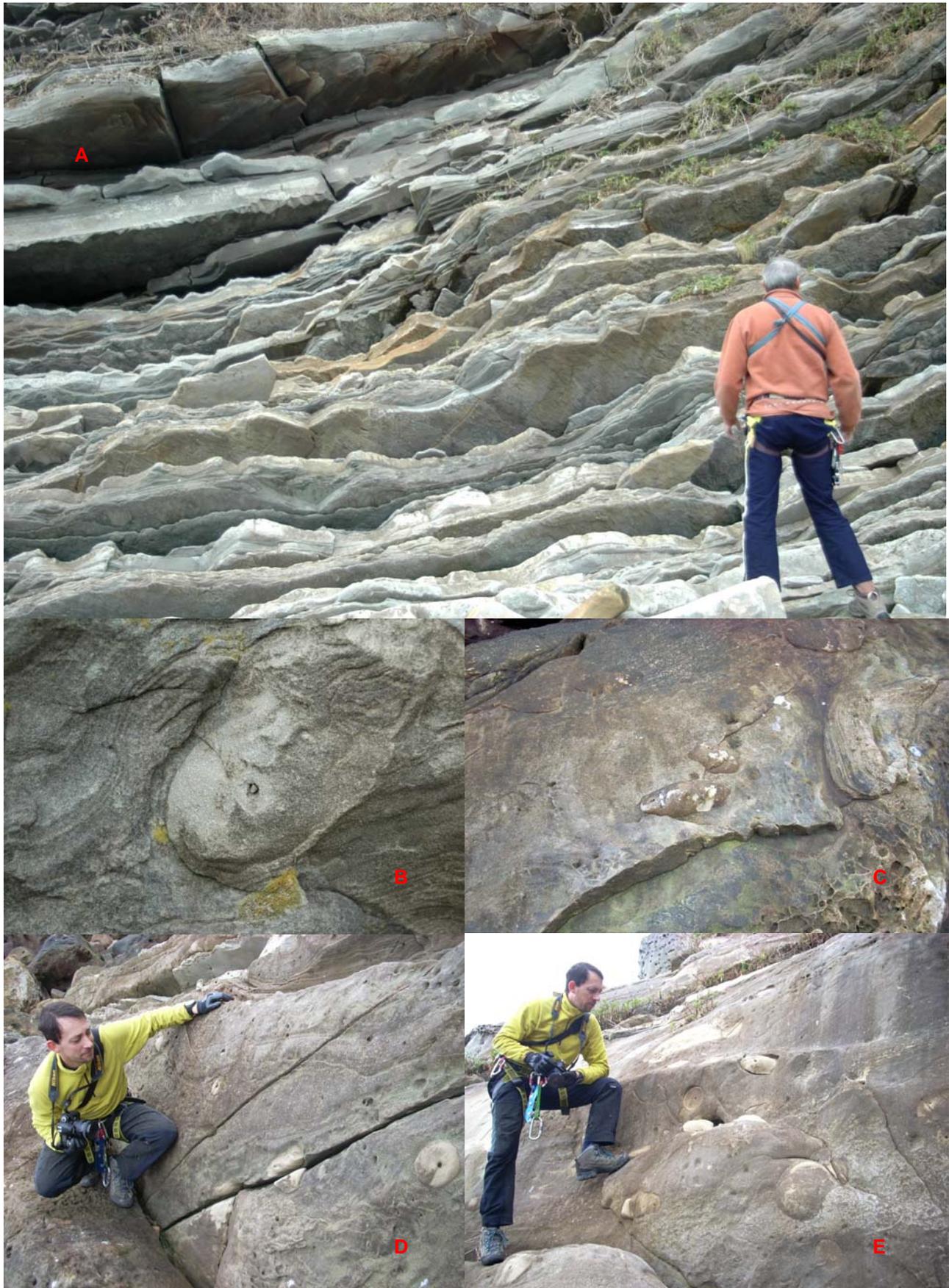
Concreciones de cemento carbonático. Arriba: Estrato delgado margocalizo con áreas irregulares más concrecionadas. Debajo: Estrato de caliza compacta de espesor métrico, con Proparamoudras esféricos y cilíndricos, en los que se aprecia las concreciones carbonáticas en torno a trazas (orificios y perforaciones) de organismos tubícolas, en posiciones axiales.



Proparamoudras. Arriba: Detalle de orificio con dos espículas en Proparamoudra de 20 cm en estrato métrico de caliza arenosa. Abajo: Panel de 3 m de ancho en estrato de caliza en los que se aprecian Proparamoudras, esféricos y cilíndricos, con orificios de organismos tubícolas. 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).



Diversos ejemplos de Proparamoudras. A = Estrato de caliza arenosa compacta, con Proparamoudras esféricos y cilíndricos, de 10 á 25 cm de diámetro. B = Detalle de perforaciones y traza de surcos en superficie. C = Orificios con espículas. D = Proparamoudra cilíndrico (seccionado) con orificio centrado en su eje axial. E = Otros ejemplos de formas esféricas, con orificios, en estrato delgado de caliza margosa de espesor métrico.



En la base del acantilado de Punta Atalaya (A), los estratos gruesos de arenisca dan paso a estratos delgados de calizas arenosas, lutitas y margas, con diversos ejemplos de Proparamoudras (B-E) en los bancos métricos de caliza y caliza arenosa: B = Detalle de orificio con espícula; C = Proparamoudras cilíndricos, en relieve positivo; D-E = ejemplos de Proparamoudras esféricos, poco prominentes, con orificios centrados en sus ejes axiales.

solamente calcificados, de los Paramoudras. Ambos ocurren en medios carbonáticos (en el caso de las areniscas se trata de areniscas de cemento carbonático); sus concreciones rodean a las trazas fosilizadas (= ichnofósiles) de los organismos, donde el contenido de materia orgánica es alto y ha actuado como núcleo catalizador o iniciador del concrecionamiento envolvente, el cual puede alcanzar desarrollos verticales de 2- 5 m y desarrollos horizontales importantes, de hasta 10-15 m.

La diagénesis de la concreción implica un gradiente redox entre los tubos de los organismos y el sedimento. Según el sentido de circulación de los fluidos, pueden formarse por encima o debajo de la frontera redox del sedimento (CLAYTON, 1986; ZILJSTRA, 1995). En los tubos el agua oxigenada puede circular hacia la zona anóxica inferior del sedimento, o bien puede ascender agua rica en sulfuros hacia la zona oxigenada, generándose el concrecionamiento en la proximidad de la frontera oxígeno-anóxica. En consecuencia, se trata de fenómenos frecuentes, que ocurren cuando las condiciones físico-químicas lo permiten. En todo caso, el concrecionamiento ocurre siempre en momentos tempranos, anteriores a la compactación y diagénesis del conjunto del sedimento.

En cuanto a sus edades, la inmensa mayoría de los ejemplos conocidos se dan en rocas de edades Cretácicas a Paleocenas (Cenomaniense a Danense), pero en nuestro caso se extienden al Eoceno (GALAN & MOLIA, 2008), lo que constituye una diferencia con la mayoría de los Paramoudras descritos.

Los Proparamoudras de Punta Atalaya se localizan en estratos gruesos de caliza arenosa compacta, de 1 á 3 m de potencia, faltando en los estratos más delgados, en los más margosos y en las lutitas. En los gruesos bancos de arenisca suprayacentes tampoco ocurren, siendo en cambio muy frecuentes y numerosos en ellos las concreciones esféricas de arenisca más dura o cannonballs. En los cannonballs estudiados en la Formación Jaizkibel (JEREZ et al., 1971), su litología sólo parece diferir en un tamaño más grueso de los granos de sílice, presencia de pequeños contenidos en glauconita, y mayor cementación carbonatada. La litología de los Proparamoudras de Punta Atalaya aún no ha sido estudiada. Pero da la impresión de que poseen también una mayor cementación, y ésta es carbonatada, no silíceo como en los Paramoudras descritos de Jaizkibel e Igueldo (GALAN et al, 2008). Por esta razón resultan también poco eminentes y son meteorizados o resisten a la erosión en un grado comparable a la caliza adyacente, destacando poco de ella en el relieve.

En general son de formas columnares o cilíndricas, aunque su sección en superficie muestra formas esféricas. Sus diámetros varían entre 8 y 25 cm. El mayor desarrollo longitudinal observado es de 1,5 m pero sus extremos se hunden en el sustrato. Algunos de ellos afloran ligeramente como semiesferas, pero probablemente se trata de la extremidad semiesférica de cilindros más largos. En la generalidad de los casos poseen orificios centrados en su polo o eje axial, a veces dos muy próximos. Los tubos de los ichnofósiles son de pequeño diámetro, en torno a 5 mm. Varios ejemplos presentan orificios con espículas centrales agudas y prominentes, que corresponden al cordón central del ichnofósil. En un caso (como también hallamos en Paramoudras de Jaizkibel) existen dos espículas en el mismo orificio (Ver fotografías anexas. Para ampliar la definición de orificios, cordones y espículas ver: GALAN & MOLIA, 2008).

Algunos indicios sugieren que existe disolución intergranular, la cual permite disolver el cemento carbonático, liberando los granos de cuarzo y permitiendo la remoción completa de la geoforma, la cual resulta vaciada quedando su molde en negativo en el sustrato calcáreo adyacente. Otras veces, la similar nivelación de los Proparamoudras y la caliza arenosa adyacente, sugiere un grado comparable de cementación y resistencia a la erosión. No obstante, las concreciones de los Proparamoudras están bien delimitadas de la roca-caja adyacente y son claramente discernibles, siendo conspicua la presencia de orificios.

En un punto del área de estudio, con Proparamoudras, encontramos una colada estalagmítica con microgours, que recubre la caliza y las concreciones. Este detalle prueba que existe disolución y posterior precipitación de los carbonatos de la matriz de roca de dicho estrato calcáreo.

Adicionalmente, son muy frecuentes en los contactos (planos de estratificación) entre calizas, margas y lutitas las huellas o pistas fósiles de numerosos organismos, tales como *Musteria bicornis*, *Fucoides*, *Subphyllocorda*, *Bipodichnus* y otros no identificados. Los organismos o colonias de los mismos proliferaban en las capas arcillosas ahora litificadas como lutitas y sus huellas fósiles (ichnofósiles) quedan como contramolde en positivo de dichas trazas en la cara inferior (estratigráficamente) de los estratos duros. (Ver diversos ejemplos en las fotografías anexas).

Los organismos que dieron origen a las concreciones que ahora forman los Proparamoudras habitaban en el Eoceno en los sedimentos abisales y son desconocidos. Sus trazas fósiles, al igual que las de los Paramoudras previamente descritos de Jaizkibel e Igueldo, corresponden probablemente a poliquetos tubícolas (Annelida: Polychaeta), pero no se descarta que puedan incluir especies adicionales de pogonóforos (Pogonophora ó Vestimentifera), braquiópodos (Brachiopoda: Ecardines), o equiuroideos (Echiuroidea). Su estudio bioichnológico está por realizar.

## DISCUSION Y CONCLUSIONES

Los fenómenos de concrecionamiento que generan cannonballs están ampliamente difundidos en la arenisca de la Formación Jaizkibel, existiendo estratos donde su número es considerablemente elevado. Además existen ejemplos de concreciones silíceas (Paramoudras) y carbonáticas (Proparamoudras), organizadas en ambos casos en torno a los tubos o madrigueras excavadas por organismos en el sedimento.



En los estratos de caliza con Proparamoudras ocurren procesos actuales de disolución pseudokárstica de los cementos carbonatados. Prueba de ello es la precipitación de calcita (procedente de la evaporación de agua intergranular), la cual genera coladas estalagmíticas (con microgours) en superficie (imagen superior). Al lado de la colada, Proparamoudras esféricos, rebajados por disolución del cemento intergranular. En la imagen inferior puede apreciarse la alternancia de estratos delgados de calizas y calizas arenosas con lutitas, con numerosos ejemplos de pistas fósiles de organismos en las caras en contacto con lutitas.



En los estratos delgados de calizas arenosas y bloques fragmentados de los mismos (A), se encuentran numerosas estructuras de bioturbación o pistas fósiles (B-E). Estas comprenden diversas huellas (= tracks), pistas (= trails) y excavaciones (= burrows). Hay ejemplos de *Fucoides*, *Subphyllocorda*, *Musteria bicornis*, *Bipodichnus*, y otros ichnotaxa no identificados. En B se aprecian trazas de pistas que prosiguen en excavaciones (burrows). En D las huellas en relieve positivo corresponden a *Bipodichnus*, con el molde de pisadas (tracks) sobre las lutitas contiguas. En C y E trails en forma de surcos.



Alternancia de estratos duros (de caliza o arenisca) y blandos (de lutitas) característicos del flysch (A), donde son frecuentes las bioturbaciones o pistas fósiles (B-E). La proliferación de organismos ocurre preferentemente en las arcillas, pero dejan sus pistas fósiles en los contactos. Generalmente las rocas duras muestran en su cara inferior el contramolde en positivo de las impresiones en las lutitas infrayacentes. En B un buen ejemplo de *Musteria bicornis*, junto a *Fucoides*. En E un trazo doble de *Subphyllocorda*. C y D, no identificados. En A la traza de los surcos donde está la persona es de grosor centimétrico.



Detalle de intercalaciones delgadas de lutitas entre estratos de caliza de espesor métrico (imagen superior). En la imagen inferior un curioso detalle del relieve de la *spreite* tubular de un ichnofósil no identificado; el cordón tiene en torno a 1 cm de diámetro y 20 cm de largo. El organismo excavador del tubo (= burrow) reordenó los minerales generando esta traza fósil.

Las concreciones esféricas llamadas cannonballs son cuerpos de roca, claramente limitados, incluidos entre sedimentos más blandos de la misma composición, y se forman en la arenisca a partir del agua entre poros por precipitación selectiva de los minerales disueltos, comúnmente carbonato de calcio. Cuando estos minerales precipitan, rellenan los espacios porosos entre los granos de cuarzo, cementándolos juntos. Estas concreciones en la arenisca de la Formación Jaizkibel son masivas y sin estructura, aunque en algunos casos preservan en su interior fragmentos de fósiles o materia orgánica habitualmente litificada con la consistencia de una lutita. Contienen pequeñas cantidades de glauconita y su cementación es más consistente. Por ello resultan más resistentes a la meteorización que la roca encajante que las rodea. Al avanzar la erosión son removidas y se desprenden por gravedad, dejando en el relieve las concavidades que dan a la roca su aspecto de gryère característico.

En el caso de los Paramoudras y Proparamoudras el concrecionamiento adopta generalmente desarrollos cilíndricos o columnares, dado que se desarrollan en torno a los tubos de organismos individuales o de colonias de los mismos, por lo que también son frecuentes ramificaciones, gemaciones y aglutinaciones en masas mayores. La conspicua diagénesis que toma lugar en torno a los tubos o madrigueras parece estar mediada por las condiciones anómalas creadas en el sedimento por la presencia de los organismos. Sus galerías y tubos crean unas condiciones microambientales de oxigenación, que introducen en el sedimento profundo. Pero además, su más significativa consecuencia es que la presencia de los organismos introduce cantidades considerables de materia orgánica a niveles en que normalmente sería removida por actividad bacteriana (BROMLEY et al., 1975). Las fases orgánicas serán difundidas en el sedimento como resultado de los procesos metabólicos durante la vida de los organismos así como también por la descomposición de sus cuerpos tras sus muertes. Los gradientes químicos bajo estas desiguales distribuciones de materia orgánica, en ambiente anaerobio, proveen así la base para explicar la diagénesis temprana de los Paramoudras y Proparamoudras.

En los Paramoudras previamente estudiados de Jaizkibel, los tubos habitualmente poseen un alto contenido en glauconita y magnesita, y trazas de minerales de hierro y/o manganeso. Mientras que el cemento de la concreción es fundamentalmente silíceo. La composición interna es muy homogénea, sin estructuras concéntricas. En muchas ocasiones las concreciones silíceas están rodeadas por gangas o envolturas más blandas, de composición margo-arcillosa y alto contenido en minerales de hierro (limonita, siderita, hematita).

La presencia de orificios en posición axial en la superficie de los Paramoudras muestra que las partes excavadas han resultado menos resistentes a la acción erosiva. Cuando no se observan espículas, es todo el cordón y su envoltura lo que es erosionado (superficialmente), mientras que en orificios con espícula la erosión ha afectado al tubo o funda envolvente del cordón, mientras que el cordón en sí puede mostrar similar resistencia (y a menudo similar composición) que la concreción que lo envuelve. Las secciones experimentales efectuadas sobre muestras de Paramoudras confirman que los tubos de los organismos son de pequeño diámetro (5-8 mm), siendo el espesor de las paredes de los tubos del orden de 0,2-0,5 mm.

Los Proparamoudras de Punta Atalaya muestran una morfología similar, presentando en superficie orificios con espículas de similares diámetros. Su delimitación con respecto a la roca-caja es muy neta y patente, pero no poseen envolturas o gangas margoarcillosas de separación. La roca-caja en que se localizan es una caliza compacta, más o menos arenosa, de grano grueso. Las concreciones poseen cemento carbonático. Esta similitud entre la cementación carbonatada y la composición de la caliza envolvente aparentemente es responsable de que los Proparamoudras resulten poco eminentes y destaquen poco en el relieve de superficie. Es probable también que la estructura de grano grueso facilite procesos actuales de disolución y desagregación intergranulares, con el resultado de que la erosión puede rebajar los Proparamoudras casi tanto como la caliza adyacente, o bien remover las concreciones dejando su molde vaciado, en negativo sobre el sustrato. Sospechamos que el tamaño grueso de grano es también responsable de la remoción y vaciado de cannonballs.

En la formación de Paramoudras se crean gradientes redox a lo largo de los cuales se organizan los equilibrios químicos, ocurriendo sucesivamente: primero la disolución y posterior precipitación de la calcita; después, la disolución de la calcita y precipitación de la sílice (si un exceso de sílice está disponible). El encadenamiento de las reacciones depende, entre otros factores, de las concentraciones en carbonatos y de la disponibilidad de sílice. En los Proparamoudras se podría decir que el proceso es incompleto: se alcanza la fase de precipitación de carbonatos, pero no parecen estar disponibles suficientes iones hidrosilícicos para producir la epigénesis de la calcita en sílice (ZILJSTRA, 1995, BRETON, 2006).

En conjunto, los Paramoudras y Proparamoudras hallados en la Formación Jaizkibel son el resultado de procesos de concrecionamiento. La presencia de organismos ha introducido materia orgánica a niveles profundos; las fases orgánicas difundidas en el sedimento generan gradientes químicos que promueven la diagénesis temprana de las concreciones. Los minerales presentes en las concreciones y en los ichnofósiles pueden variar a tenor de las condiciones de equilibrio en cada situación concreta, condicionada a su vez por las concentraciones de los elementos disponibles a lo largo de los gradientes redox y de otras variables químicas y microambientales. Para explicar la ocurrencia de un tipo u otro de concreción sería necesario contar con analítica más detallada, que de momento está faltando. Tanto sobre los cementos de las concreciones como de los minerales presentes en las trazas de los ichnofósiles. Así mismo, sobre las composiciones respectivas de las rocas (sustratos adyacentes) de la serie flysch, en cada caso.

Cabe recordar que la presencia de estas concreciones ha ocurrido en ambientes turbidíticos, en sedimentos emplazados a grandes profundidades (en zona abisal) durante el Eoceno. Los procesos físico-químicos responsables de la diagénesis de Paramoudras y Proparamoudras son actualmente bien comprendidos (BRETON, 2006; BROMLEY et al., 1975; CLAYTON, 1986; TOYTON & PARSONS, 1990; ZILJSTRA, 1995). Los aspectos biológicos son en cambio mucho peor entendidos. El



Vista del litoral de Ulía entre Punta Atalaya y Monpás (con el castillo de Igueldo al fondo), desde la vertical de descenso. La posición de la cuerda da una idea de la verticalidad del tramo aéreo superior, de 50 m (imagen superior). La fotografía inferior ha sido tomada desde una exigua repisa intermedia. En total, la pared del acantilado tiene 70 m de desnivel. Puede apreciarse la disposición subvertical de los estratos del flysch en este tramo del litoral.



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.



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 guyère) en los estratos compactos de arenisca.

mayor interrogante lo representa la identidad de los organismos marinos que originaron los tubos y su ecología. Es muy probable que se trate de poliquetos, pero es poco o nada lo que conocemos sobre representantes de este grupo (o de otros afines) para el Eoceno, más aún teniendo en cuenta que en este caso se trata de auténticos extremófilos, los cuales habitaban en un medio por demás adverso.

Los datos presentados son preliminares y de naturaleza descriptiva. Reportan la presencia de Proparamoudras en Punta Atalaya y describen sus principales rasgos y las características del enclave en que se produjo el hallazgo.

Nuestra principal conclusión es que el Pseudokarst en arenisca de la Formación Jaizkibel presenta numerosos elementos de gran interés geo y biológico, ofrece una amplia temática de estudio, y su investigación científica sólo está en sus fases iniciales.

## AGRADECIMIENTOS

A Luis Viera, por sus útiles comentarios y aportes bibliográficos. De modo especial a Marian Nieto y Marider Balerdi por su continuada ayuda en las exploraciones del pseudokarst de la Formación Jaizkibel y en los trabajos de campo. A todos los colaboradores que en distintas ocasiones nos acompañaron en las prospecciones de los litorales de Jaizkibel, Ulía e Igueldo, contribuyendo con su aporte. Entre ellos a: Daniel Adrián Decon, Iñigo Herraiz, Michel Molia, Daniel Arrieta, Hugo Pérez Leunda, Carlos Oyarzabal, Malkoa Zarandona, Maider Carrascal, Christian Besance, Olatz Zubizarreta, Izaskun Katarain, y Pablo Roldan Intxusta.

## BIBLIOGRAFIA

- BRETON, G. 2006. Paramoudras et autres concrétions autour d'un terrier. Bull. Inf. Géol. Bass. Parris, 43 (3): 18-43.
- BROMLEY, R.G.; SCHULZ, M. & N. B. PEAKE. 1975. Paramoudras: giant flints, long burrows and the early diagenesis of chalks. Mus. Min. et Geol. Univ. Copenhagen, Comm. Paleontol., 224: 1-31 + 5 plates.
- CAMPOS, J. 1979. Estudio geológico del Pirineo vasco al W del río Bidasoa. Munibe, Soc. Cienc. Aranzadi, 31(1-2): 3-139.
- CLAYTON, C.J. 1986. The chemical environment of flint formation in Upper Cretaceous chalks. In: Sieveking, G. & M: Hart (Ed.). The scientific study of Flint and Chert. Cambridge Univ. Press, pp: 43-54.
- GALAN, 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.
- GALAN, C. 1993. Fauna Hipógea de Gipuzkoa: su ecología, biogeografía y evolución. Munibe (Ciencias Naturales), Soc. Cienc. Aranzadi, 45 (número monográfico): 1-163.
- GALAN, C. 2001. Primeros datos sobre el Medio Subterráneo Superficial y otros habitats subterráneos transicionales en el País Vasco. Munibe (Ciencias Naturales), Soc. Cienc. Aranzadi, 51: 67-78.
- GALAN, C. & M. MOLIA. 2008. ¿Geología o Paleontología? Las concreciones esféricas con perforaciones tubulares: Nuevos ichnotaxa de Paramoudras (Pseudokarst en arenisca del flysch Eoceno, Jaizkibel, Gipuzkoa). Pag. web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 43 pp.
- GALAN, C.; J. RIVAS & M. NIETO. 2007. Pseudokarst en arenisca del flysch costero Eoceno, Gipuzkoa. Pag web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 44 pp. + Pag web Cota0.com, Art. Cienc. en PDF, 44 pp.
- GALAN, C.; J. RIVAS & M. NIETO. 2007. Notas suplementarias sobre formas pseudokársticas en arenisca del flysch Eoceno, Gipuzkoa. Lapiaz, nº 32: 20 pp (en prensa). + Pag web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 20 pp.
- GALAN, C.; J. RIVAS & M. NIETO. 2008. Geoformas cordadas en arenisca del flysch costero Eoceno, Gipuzkoa. Pag web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 28 pp.
- GALAN, C.; J. RIVAS; M. NIETO & I. HERRAIZ. 2008. Cañones, acantilados, escarpes y su relación con cavidades en arenisca (flysch costero Eoceno, Gipuzkoa). Pag web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 28 pp.
- GALAN, 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.
- GALAN, 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 pp.
- JEREZ MIR, L.; ESNAOLA, J. & V. RUBIO. 1971. Estudio Geológico de la Provincia de Guipúzcoa. Mem. IGME (Inst. Geol. y Min. España), Tomo 79, Madrid, 130 pp + Fotograf.
- 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, Cetraro-Cosenza, Italy. Reidel Publ. Co., Dordrecht, Netherlands, 65-93.
- ROBLES, S.; V. PUJALTE & J. GARCIA-MONDEJAR. 1988. Evolución de los sistemas sedimentarios del Margen continental Cantábrico durante el Albiense y Cenomaniense, en la transversal del litoral vizcaíno. Rev. Soc. Geol. España, Márgenes continentales de la Península Ibérica, Vol. 1 (3-4): 409-441.
- 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.
- ROSELL, J.; REMACHA, E.; ZAMARANO, M. & V. GABALDON. 1985. Serie turbidítica del Cretácico Superior del País Vasco. Bol. Geol. Min., 96: 361-366.
- TOYTON, R. & D. W. PARSONS. 1990. The compactation history of a composite flint and his host sediment. Proc. Geol. Ass., 101 (4): 315-333.
- 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. GALAN. 2007. Pseudoescorpiones cavernícolas de Gipuzkoa y zonas próximas. Lapiaz, nº 31: 14 pp. + Pag web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 14 pp.
- ZILJSTRA, H. 1995. The Sedimentology of chalk. Lectures notes in Earth Sciences, 54, Spinger Verlag, Berlin, New York, 194 p.



Abrigos pseudokársticos en arenisca en la zona superior de Punta Atalaya, con formas alveolares y cannonballs.



Exploración de acantilados, cañones y escarpes verticales, en otras localidades. Pseudokarst en arenisca de la Formación Jaizkibel. Un amplio campo de estudio, de gran interés científico, cuyo estudio sólo está en sus fases iniciales.