

**NOTAS SOBRE *THALASSINOIDES* Y OTROS ICHNOFÓSILES EN TURBIDITAS DE LA FORMACIÓN JAIZKIBEL (IGUELDO, FLYSCH EOCENO DE GIPUZKOA) Y SUS ANALOGÍAS CON LOS HALLADOS EN PARAMOUDRAS**

Notes about *Thalassinoides* and other Ichnofossils in turbidites of the Jaizkibel Formation (Igueldo, Eocene flysch of Gipuzkoa) and their analogies with those found in Paramoudras



**Carlos GALAN; José M. RIVAS & Marian NIETO**

Laboratorio de Bioespeleología. Sociedad de Ciencias Aranzadi.

Octubre 2012.

# NOTAS SOBRE *THALASSINOIDES* Y OTROS ICHNOFÓSILES EN TURBIDITAS DE LA FORMACIÓN JAIZKIBEL (IGUELDO, FLYSCH EOCENO DE GIPUZKOA) Y SUS ANALOGÍAS CON LOS HALLADOS EN PARAMOUDRAS

Notes about *Thalassinoides* and other Ichnofossils in turbidites of the Jaizkibel Formation (Igueldo, Eocene flysch of Gipuzkoa) and their analogies with those found in Paramoudras

Carlos GALAN; José M. RIVAS & Marian NIETO

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

E-mail: cegalham@yahoo.es

Octubre 2012.

## RESUMEN

Se presentan datos sobre icnofósiles tubulares de gran desarrollo encontrados en estratos de arenisca carbonática en el litoral del monte Igueldo. Las rocas son parte de la secuencia de turbiditas abisales del flysch Eoceno de Gipuzkoa (País Vasco). Los icnofósiles corresponden a bioturbaciones de tipo burrows y presentan un cordón tubular central de débil diámetro, así como bifurcaciones en forma de Y y T, cuya morfología recuerda a la hallada en algunos Paramoudras de Jaizkibel.

Estas trazas fósiles se localizan en la base de estratos de arenisca en contacto con lutitas y margas. No poseen concreciones envolventes en torno a las trazas y los cordones tienen similar composición que la roca-caja adyacente. La presencia al mismo nivel de marcas de erosión de tipo flutes, generadas por paleocorrientes de turbidez, indican que las trazas corresponden a organismos que habitaban en sedimentos arcillosos, lo que las diferencia de las trazas halladas en Paramoudras, las cuales atraviesan un gran espesor de arenas y requieren de estructuras de soporte más sólidas para haberse conservado en este medio.

De modo inverso, la ocurrencia de una gran diversidad de Paramoudras (estrellados, decapitados, multiperforados) en la proximidad del contacto con intercalaciones de lutitas en una de las localidades de Jaizkibel, sugiere que los procesos redox de concrecionamiento pueden involucrar en estas zonas-límite mayor número de ichnotaxa, a la vez que pueden resultar incluidos en las concreciones muy diversas trazas de organismos del benthos que por sí mismas no generan Paramoudras.

Se analiza y discute la dificultad que presenta la interpretación de las trazas fósiles y la biología de los organismos abisales que están en su origen. Se destaca que el pseudokarst en arenisca de Jaizkibel reviste un extraordinario potencial de interés científico, por la gran cantidad, diversidad y complejidad de procesos y ejemplos involucrados, que están siendo objeto de estudio.

*Palabras clave:* Karst, arenisca, concreciones, trazas fósiles, icnología, biología de organismos, Paramoudras.

## ABSTRACT

Data are presented on tubular ichnofossils of great development found in carbonatic sandstone strata in the coast of Mount Igueldo. The rocks are part of the abyssal turbidite sequence of the Eocene flysch of Gipuzkoa (Basque Country). The ichnofossils correspond to bioturbations type burrows and present a central tubular cord of weak diameter, as well as Y-shaped and T-shaped bifurcations, whose morphology resembles to the one found in some of Jaizkibel Paramoudras.

These trace fossils are located at the base of sandstone strata in contact with shales and marls. They have no enveloping concretions around the traces and the cords have a similar composition to the adjacent rock-box. The presence at the same level of erosion marks type flutes, generated by turbidity palaeocurrents, indicates that traces correspond to organisms living in clay sediments, what differentiates them from traces found in Paramoudras, which cross a great thickness of sand and require stronger support structures to be preserved in this medium.

Conversely, the occurrence of a great diversity of Paramoudras (starred, decapitated, multidrilled) in proximity to the contact with interbedded shales in one of the localities of Jaizkibel, suggested that redox processes forming concretions may involve greater number of ichnotaxa in these boundary-zones, at the same time they may be included in the concretions very different traces of benthic organisms that do not generate themselves Paramoudras.

The difficulty of interpretation of trace fossils and biology of deep-sea organisms which generated them is analyzed and discussed. It is emphasized that the Jaizkibel sandstone pseudokarst has extraordinary potential of scientific interest, by the large number, diversity and complexity of processes involved and examples, which are under study.

*Key words:* Karst, sandstone, concretions, trace fossils, ichnology, biology of organisms, Paramoudras.

## INTRODUCCION - CONTEXTO GENERAL

La Formación Jaizkibel es una potente secuencia de facies flysch, donde se intercalan bancos duros de arenisca con otros más blandos de lutitas y margas calcáreas. La edad de la formación es Eoceno temprano a medio y suprayace a otras formaciones de facies flysch del Paleoceno, Cretácico tardío y parte del Cretácico temprano, las cuales alcanzan gran extensión a lo largo del litoral vasco, con espesores de hasta 5.000 m. La Formación Jaizkibel ha sido estudiada y descrita, entre otros, por: Jerez et al (1971), Campos (1979), Van Vliet (1982) y Rosell (1988). La formación forma un suave arco de concavidad hacia el N que se extiende 40 km entre Hondarribia y Zarauz, subdividido por empujes tectónicos en dos arcos menores.

En sentido amplio se denomina flysch a un conjunto de rocas sedimentarias que se han formado en ambientes marinos profundos (entre 1.000 y 4.000 m de profundidad) y que presentan una estratificación persistente en capas plano-paralelas alternas, duras y blandas, bien definidas. Estas rocas del flysch representan un registro prácticamente continuo de la sedimentación marina que ocurrió en la cuenca vasca en esos períodos y contienen numerosos restos y evidencias de las formas de vida que habitaron en dichos fondos (fósiles marinos, microfósiles y trazas fósiles), así como de los procesos que los afectaron (tal como p.ej. el depósito de capas de arena por corrientes de turbidez submarinas) (Galán et al, 2008).

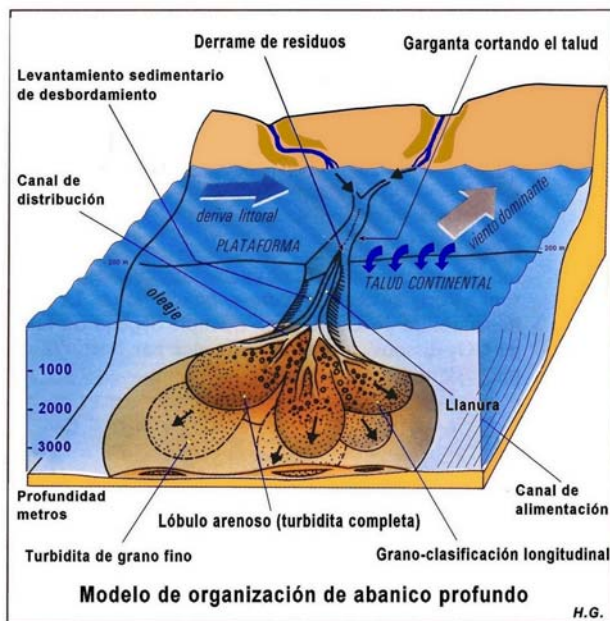
## MATERIAL Y METODOS

Se presenta el hallazgo en Igueldo de trazas fósiles cilíndricas de gran longitud y escaso diámetro, a menudo con bifurcaciones en Y o en T, y de orificios o perforaciones verticales en el sustrato, es decir, de un conjunto de trazas fósiles cuya morfología y dimensiones recuerda o se asemeja a otras encontradas en Paramoudras. Los datos fueron obtenidos durante prospecciones para la búsqueda de cavidades y geoformas de interés en el litoral de Igueldo, en areniscas y calizas arenosas de la Formación Jaizkibel. Se presenta una descripción de los ichnofósiles más significativos en relación a Paramoudras y de su contexto geológico, ilustrado con fotografías. Se discute las semejanzas y diferencias entre unos y otros, presentando una interpretación de conjunto.

## RESULTADOS

### FLYSCH EOCENO Y TURBIDITAS

El flysch Eoceno de Gipuzkoa está formado por dos grandes abanicos de deyección submarina, en forma de arcos cóncavos hacia el Norte, que se extienden entre Zarauz y San Sebastián el primero (litoral de Igueldo), y entre San Sebastián y Hondarribia el segundo (Ulía y Jaizkibel). Su disposición es monoclinnal, con buzamientos N, y su orientación local varía en función de la parte que



**Figura 1.** Esquema de la formación de turbiditas. Los sedimentos del borde de la plataforma deslizan por el talud y generan corrientes de turbidez. Estas redepositan los sedimentos en el fondo de la cuenca en forma de abanicos de deyección submarinos (Fuente: García, 2010).

ocupan en esos arcos (Campos, 1979). Este flysch de arenisca ha sido interpretado como un depósito de sistemas turbidíticos, según el modelo de Mutti (1985), y ha recibido también el nombre de "turbiditas terciarias de Guipúzcoa" (Rosell et al, 1985). El "fenómeno turbidítico" ha sido definido como la erosión y resedimentación parcial o total de una plataforma (Rosell, 1988). Las estructuras de corriente son muy frecuentes en la base de los estratos de arenisca. La formación se originó por acumulación de material detrítico en la desembocadura de un profundo surco submarino (Kruit et al, 1972). 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 conos de deyección submarinos; los fósiles hallados, claramente rodados, llevan a concluir que la acumulación se debió verificar a una profundidad variable entre 1.000 y 4.000 m, habiéndose depositado los materiales arenosos por corrientes de turbidez (Campos, 1979; Galán et al, 2008).

La distribución de los materiales en el fondo de la cuenca Eocena adoptó la forma de enormes conos de deyección (Figuras 1 y 2). Las descargas, procedentes del N, coexistían con aportes turbidíticos axiales alimentados desde el E, pero

éstos fueron reordenados por las imponentes masas de arenas aportadas por los cañones submarinos (Campos, 1979). Para Van Vliet (1982) y Rosell et al (1985) es a finales del Eoceno inferior cuando los aparatos deltaicos alcanzan dimensiones mayores, al mismo tiempo que tanto las paleocorrientes como su composición petrográfica revelan ya una cierta influencia del área fuente, aunque se desconocen las plataformas de las cuales derivan los sistemas turbidíticos.

La cuenca Eocena Pirenaica corresponde a un surco alineado de E a W donde las facies distales (profundas) se sitúan en la parte W (País Vasco). 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). La erosión y resedimentación de dicha plataforma originaría las turbiditas Eocenas del Arco Vasco. Por tratarse del sector de cuenca más abierto al océano, es probable que estas plataformas se hayan destruido por completo, lo cual al mismo tiempo explicaría el considerable desarrollo de sus sistemas turbidíticos, que alcanzan en Jaizkibel más de 3.000 m de espesor (Rosell, 1988).

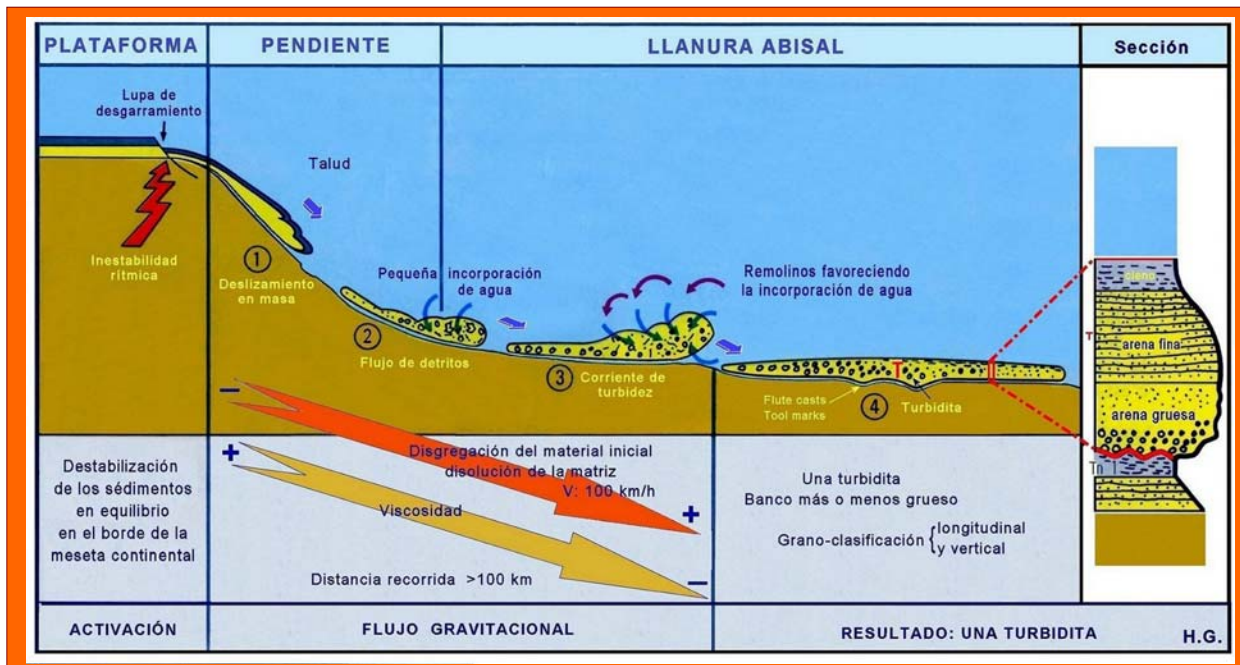


Figura 2. Esquema de la formación de turbiditas en sección transversal idealizada. Fuente: García, 2010.

## SEUDOKARST EN ARENISCA Y PARAMOUDRAS

En la región de estudio se desarrolla un notable pseudokarst en arenisca, en las partes centrales de Igueldo, Ulía y Jaizkibel, con numerosas cuevas y geofomas (Galán et al, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011; Galán & Nieto, 2010, 2011, 2012; Galán, 2010, 2011). En estas zonas los estratos de arenisca alcanzan gran potencia y prácticamente se apoyan unos sobre otros, presentando sólo delgadas intercalaciones de lutitas. Dentro de estas zonas, los sectores con mayor número de cavidades y geofomas se localizan en torno a relieves prominentes, sobre éstos y en escarpes verticales de sus flancos y de acantilados costeros. Adicionalmente, en estos tramos de arenisca en estratos gruesos (desde 3 á más de 8 m), se encontraron concreciones silíceas denominadas Paramoudras en dos localidades de Jaizkibel (Galán & Molia, 2008) y una de Igueldo (Galán et al, 2008; Galán, 2009), así como Proparamoudras (el equivalente calcificado de los Paramoudras) en una localidad de Ulía (Punta Atalaya) (Galán & Rivas, 2009). Los Paramoudras presentan la singularidad de haberse formado por concrecionamiento en la zona redox del sedimento durante una fase de diagénesis temprana, en torno a la traza fósil de organismos tubícolas marinos (poliquetos abisales y tal vez pogonóforos).

Los Paramoudras son concreciones con cementos silíceos, muy resistentes, y se caracterizan por poseer un cordón cilíndrico axial de 4-6 mm de diámetro, contorneado por las paredes de tubos de 1-2 mm de espesor, y rodeadas por una concreción envolvente de 10 á 100 cm de diámetro (30-60 cm en la mayoría de los casos). La analítica efectuada muestra que la composición del cordón central es similar a la de la concreción envolvente, con predominio de cementación silícea, mientras en las paredes de los tubos se ha encontrado mayor contenido en glauconita, hierro y calcita, con trazas de muchos otros elementos (Galán & Vera Martín, 2009; Galán & Oyarzabal, 2009; Galán et al, 2009, 2010). Las formas predominantes de las concreciones son esféricas y cilíndricas, a menudo conjugadas en figuras articuladas de curioso diseño (ver algunas ejemplos en Figuras 3 á 5), que pueden



**Figura 3.** Paramoudras esféricos de Jaizkibel anastomosados en figuras con forma de gusanitos articulados.



**Figura 4.** Paramoudras en forma de ánforas, cilindros verticales y figuras anastomosadas que recuerdan a focas tendidas (imagen superior) En la imagen inferior se aprecian Paramoudras de formas esféricas (o terminaciones semiesféricas), de hasta 1 m de diámetro, simples o conjugados en figuras horizontales anastomosadas. Nótese los orificios, en posiciones axiales y laterales.



**Figura 6.** Diversos ejemplos de Paramoudras de Jaizkibel. Las concreciones que afloran en forma de senos no son más que la terminación semiesférica de formas cilíndricas más largas, que se hunden verticalmente en el sustrato. Se aprecia la concreción envolvente, y los cordones axiales terminados en orificios, a menudo con espículas prominentes. Las paredes de los tubos han sido erosionadas en superficie, pero pueden seguirse a través de la concreción mediante cortes experimentales.

recordar a focas, tortugas, gusanitos, ánforas, formas fállicas, senos, obuses, balones de rugby y un largo etcétera). Su disposición espacial puede ser horizontal, vertical y oblicua, pudiendo alcanzar desarrollos de hasta 8-10 m y profundidades verticales de hasta 6 m. Habitualmente las formas que se hunden en el sustrato de arenisca adyacente (de cemento carbonático), afloran en superficie con forma de senos que no son más que la terminación semi-esférica de cilindros más largos, en cuyo extremo axial aflora el cordón en un orificio o depresión en forma de espículas prominentes. Este carácter, de presencia de orificios, a menudo con espículas, las diferencia en seguida de las concreciones esféricas denominadas cannonballs (muy frecuentes en la Formación Jaizkibel), las cuales son de cementación carbonatada y composición muy similar a la de la arenisca adyacente. El estudio de los Paramoudras de Jaizkibel a través de cortes naturales y experimentales y por observación de su desarrollo espacial en superficie y en cuevas y bloques fracturados ha mostrado que su cordón central frecuentemente presenta ramificaciones en Y y en T, así como desarrollos sinuosos, que se hunden en el sustrato variando su composición. También es frecuente que la concreción en sí esté rodeada o incluida en una ganga envolvente de naturaleza arcillosa más blanda y plástica, aunque en ocasiones presenta capas concéntricas que incluyen capas duras con óxidos de hierro y aluminio. La composición química de los tubos también varía al atravesar estas gangas y penetrar en el sustrato, alejándose de la zona redox donde se produjo lo esencial del concrecionamiento (Galán et al, 2010).

Es de destacar que los Paramoudras son concreciones extraordinariamente raras a nivel mundial, existiendo unos pocos ejemplos en países del norte de Europa y Nueva Zelanda. Estos además ocurren como concreciones de sílex principalmente en creta y margas calcáreas del Cretácico tardío, mientras que los de Jaizkibel ocurren en arenisca del Eoceno. Los Paramoudras de Jaizkibel constituyen los ejemplos mejor preservados a nivel mundial y poseen morfologías estéticamente remarquables.

Los Paramoudras anteriormente conocidos de otras partes del mundo, dadas las litologías disgregables en que se encuentran, se presentan muy meteorizados y la concreción en sí resulta poco destacable, mientras que son más visibles las trazas fósiles de los tubos o excavaciones de organismos (= ichnofósiles). En los Paramoudras de Jaizkibel las concreciones se encuentran muy bien delimitadas y preservadas, mientras que las trazas fósiles son visibles en cortos trayectos y, dada la dureza de la concreción y de la roca-caja adyacente, es difícil obtener cortes para seguir en su totalidad su desarrollo espacial, por lo que éstos son en gran parte inferidos a partir de los puntos en que afloran los tubos en superficie, fracturas y cavidades.

Lo interesante de este tipo de concrecionamiento, es que son los tubos de los organismos, que introducían oxígeno en la zona reductora del sedimento, lo que actuó como núcleo para alcanzar situaciones de equilibrio redox que dispararon el proceso de concrecionamiento, el cual ocurrió en una fase temprana de diagénesis y a cierta profundidad de enterramiento con respecto al suelo oceánico. Esto resulta posible por tratarse de tubos de gran longitud, que se hunden profundamente en el sustrato arenoso (los mayores ejemplos de *Batichnus paramoudrae* alcanzan 29 m de longitud). En Jaizkibel han sido identificados en los Paramoudras ichnofósiles afines a los siguientes taxa: *Batichnus paramoudrae*, *Batichnus isp.*, *Paratisoa contorta*, *Felderichnus multiturbatae*, *Megagylorithes ardescensis*, *Tasselia ordamensis*, *Caletichnus complicatus*. Pero existen muchos otros ichnotaxa, la mayoría de ellos constituyendo ichnoespecies nuevas para la Ciencia, que esperan ser adecuadamente descritas.

Los ichnofósiles de los Paramoudras corresponden así a las trazas dejadas por organismos tubícolas abisales que habitaban entre la superficie del fondo oceánico y la zona profunda del sedimento, construyendo estructuras (o excavaciones con paredes reforzadas) que formaron sistemas de tubos en la arena. Aunque la talla de los animales puede haber sido considerablemente menor que la longitud de los tubos, resulta más o menos obvio que debían ser animales elongados, de débil diámetro. Las especies animales que han generado tales estructuras tubulares siguen resultando un enigma, ya que no han dejado restos fósiles que permitan su identificación, probablemente por tratarse de invertebrados de cuerpos blandos, sin esqueletos, caparzones o partes duras y fosilizables. En un trabajo previo describimos como candidatos más probables a especies de poliquetos tubícolas abisales de las familias *Scalebrigmatidae*, *Dorvilleidae*, *Paraonidae*, *Sabellidae*, *Serpulidae* y *Chrysopetalidae* (Galán, 2009), sin descartar que algunas trazas simples pudieran corresponder a otros grupos, tales como pogonóforos o nemertinos. En todo caso estos organismos construían tubos y habitaban a mucha mayor profundidad del suelo oceánico que los biotopos de superficie y subsuperficie utilizados por otros organismos del bentos.

## ICHNOFÓSILES EN EL FLYSCH

Uno de los aspectos más llamativos del flysch de la franja litoral de Gipuzkoa (desde el Flysch Negro del Cretácico hasta el flysch Eoceno de Jaizkibel) es la presencia de restos fosilizados de los diferentes organismos que habitaron en los fondos abisales de la cuenca vasca a través de esos períodos. De dichos organismos se han preservado macrofósiles (tales como conchas de moluscos y exoesqueletos de equinodermos), microfósiles (principalmente de organismos del plancton, tales como foraminíferos, ostrácodos, radiolarios, diatomeas y dinoflagelados), y todo un conjunto de rastros de la actividad dejada por organismos sobre o dentro de los sedimentos, cuando aún estaban sin consolidar (trazas fósiles o ichnofósiles). Las trazas pueden mostrar rastros de animales de cuerpo blando que no han dejado restos fosilizados de sus partes corporales (tal como anélidos, crustáceos, y muchos otros invertebrados). Estos últimos son muy abundantes en el flysch Eoceno y son los que más nos interesan, en relación a este trabajo, para analizar sus analogías con los hallados en Paramoudras.





**Figura 6.** Algunos ejemplos de trazas fósiles en Jaizkibel (1-2) y Ulía (3-7). 1 = Trails (pistas) de *Taphrelminthopsis* en un bloque de arenisca. 2 = Otro ejemplo de *Taphrelminthopsis* en caliza arenosa y, en el lado derecho, pequeñas pistas de *Helminthoidea*. 3 = Burrows (galerías) de *Thalassinoides* en caliza. 4 = Huellas (tracks) de *Saerichnites abruptus* en un bloque de arenisca de 1 m de ancho (en la parte inferior, en un bloque de caliza, galerías radiales de *Glokerichnus*).



**Figura 7.** Varios ejemplos de *Thalassinoides* en Igueldo. La imagen superior corresponde a una zona próxima a ocurrencias de Paramoudras, situada al W de Urberde, en la parte central de Igueldo. Se aprecian numerosas trazas de *Thalassinoides* con bifurcaciones en Y y en T, de dos tamaños distintos y agujeros de estos mismos o de *Skolithos*. Las imágenes inferiores corresponden a una traza de 3 m de longitud en la zona de Perus (flechas rojas), en arenisca, donde se aprecia muy bien algunos tramos del cordón central (recuadro azul).

Entre los ichnofósiles destacan las estructuras de bioturbación, tal como huellas (= tracks), pistas (= trails) y excavaciones (= burrows), dejadas en el sedimento por diferentes tipos de organismos (crustáceos, anélidos, equinodermos, etc.) como resultado de su asentamiento sobre el fondo, su desplazamiento sobre él, la búsqueda de alimento o la construcción de refugios. Sin embargo, aunque podamos determinar la actividad orgánica a la que pertenece una traza, en la mayoría de los casos no es posible identificar el organismo que la ha generado. Una traza fósil puede haber sido producida por un único tipo de organismo, pero también puede ocurrir que haya sido generada por organismos distintos que tienen comportamientos semejantes, lo que puede dificultar su interpretación. Además, un mismo organismo puede generar diferentes estructuras sobre el sustrato sedimentario, cada una de las cuales correspondería a distintos estados de comportamiento o actividad durante su ciclo vital. Las tipologías que se reconocen en las rocas del flysch son muy variadas y por lo general se pueden observar bien en la base o en el techo de los estratos. En muchos casos un mismo estrato puede contener más de cinco tipos diferentes de trazas. Baceta et al (2012) han reportado para el flysch entre Deba y Zumaia (que comprende desde el Cretácico a base del Eoceno) los siguientes ichnotaxa: *Subphyllocorda*, *Granularia*, *Taphrelminthopsis*, *Scolicia*, *Chondrites*, *Helminthoidea*, *Zoophycos*, *Palaeodyction*, *Rotundusichnium zumayensis*, *Paleomeandron*, *Spirophycus*, *Lorenzina*, *Helminthopsis*, *Thalassinoides*, *Glokerichnus* (Baceta et al, 2012), y *Saerichnites abruptus*. Muchos de ellos han sido encontrados también en las turbiditas Eocenas de Ulía y Jaizkibel, entre ellos: *Subphyllocorda*, *Musteria bicornis*, *Fucoides*, *Bipodichnus*, *Saerichnites*, *Zoophycos*, *Taphrelminthopsis* y otros no identificados (Galán et al, 2008; Galán & Rivas, 2009). Pueden verse algunos ejemplos en la Figura 6. Los organismos o colonias de los mismos proliferaban en las capas arcillosas ahora litificadas como lutitas y sus huellas fósiles quedan como contramolde en positivo de dichas trazas en la cara inferior (estratigráficamente) de los estratos duros, tanto de arenisca como de calizas arenosas y margas.

### **THALASSINOIDES Y TRAZAS FÓSILES RELACIONADAS EN IGUELDO**

Los ichnofósiles reportados para el flysch Eoceno se presentan también en Igueldo. Nuestro interés se centra en diversos ejemplos hallados de excavaciones o galerías (burrows) de gran longitud y escaso diámetro, las cuales, a primera vista, comparten similitudes con las trazas halladas en Paramoudras (Figura 7).

La mayoría de ellas pueden atribuirse a trazas de *Thalassinoides* y otros ichnogéneros relacionados (*Ophiomorpha*, *Skolithos*, *Planolites*). Su diversidad y rango de dimensiones es considerable (Figuras 8 á 11). Los mejores ejemplos se presentan en la base de estratos de arenisca en contacto con lutitas. Las trazas de *Thalassinoides* de mayor longitud alcanzan 6 m, con cordones de 5-6 mm de diámetro. Otras algo menores (de varios metros) poseen cordones de 2 mm. En caliza arenosa se encuentran ejemplos de trazas de menos de 1 m de longitud pero con gran profusión de ellas y, en varios casos, con orificios y cortas trazas verticales, de similar diámetro atribuibles a *Skolithos*. Las trazas más gruesas, de aspecto o superficie granulada y generalmente de distinto color que la roca-caja, son identificadas como pertenecientes al ichnogénero *Ophiomorpha*. Hay también algunos ejemplos de trazas cortas atribuibles a *Planolites*. Pero digamos que la mayoría de ellas presentan un aspecto "thalassinideo". Se trata de burrows (galerías o excavaciones) que pueden servir simultáneamente como galerías de alimentación o de habitación.

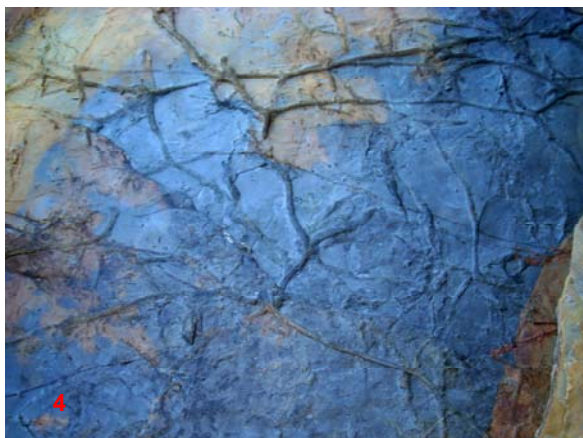
Las trazas fósiles de *Thalassinoides* ocurren desde el Paleozoico temprano pero su abundancia se incrementa repentinamente a comienzos del Mesozoico, siendo un componente común de la ichnofacies *Zoophycos*, la cual ocurre en sustratos fangosos deficientes en oxígeno, con predominio de organismos sedimentívoros o limnófagos (Myrow, 1995). *Thalassinoides* agrupa burrows con bifurcaciones en Y o en T, aisladas o formando redes horizontales y poligonales de galerías, a veces con perforaciones verticales. Se componen de un tubo o núcleo interno de pequeño diámetro (3-8 mm), carente de ornamentos, líneas o marcas, y de una pared exterior (de 3-4 mm), representando esta última un halo diagenético formado alrededor de una galería impregnada de mucus. Existen muchos estilos de conservación según la presencia o ausencia de relleno en la galería y según los patrones de reemplazamiento mineral y de alteración (Myrow, 1995; Brownley, 1996). Los diámetros son siempre pequeños en relación a su longitud y las bifurcaciones muestran una gran regularidad.

Las galerías modernas de tipo *Thalassinoides* son construidas por una amplia variedad de organismos marinos (han sido propuestos crustáceos, poliquetos, gusanos hemicordados *Balanoglossus*, anémonas *Cerianthus* o incluso pequeños peces). Las más comunes, ampliamente, son las galerías recientes de crustáceos decápodos Thalassinidea (Brownley, 1996). Hay no obstante ejemplos del Paleozoico, que representan poblaciones densas de burrows de *Thalassinoides* ("galerías moteadas" en calizas del Ordovícico), las cuales se cree que fueron hechas por organismos de cuerpo blando que hicieron túneles semi-permanentes o permanentes dentro de sedimentos relativamente firmes. El registro paleontológico de decápodos comienza sólo en el Devónico y, por tanto, existe un amplio espacio de tiempo entre las ocurrencias iniciales de *Thalassinoides* y los más antiguos fósiles de organismos comúnmente asociados a su construcción. Los sistemas de tubos abiertos de *Thalassinoides* representan así la actividad de algunos de los más antiguos organismos de alimentación suspensívora que colonizaron hábitats infaunales.

Thalassinidea es un grupo (anteriormente infraorden) de crustáceos decápodos, que viven en galerías excavadas en fondos arcillosos, en todos los océanos del mundo (Dworschak, 2000). Los burrows hechos por thalassinideos son frecuentemente preservados y su registro fósil se remonta hasta el Jurásico tardío. El grupo fue subdividido por representar dos linajes separados, ahora reconocidos como infraórdenes: Gebiidea y Axiidea (Sakai, 2004; De Grave et al, 2009) (Ver algunos ejemplos en Figura 12).



**Figura 8.** En una zona de Igueldo entre el Peine de los Vientos y la punta del Faro, hay un estrato de arenisca con marcas de corriente (flutes). Los estratos buzan  $75$  a  $85^\circ$  hacia el NW y las flutes indican que el depósito de turbiditas procedía del NE. También hay pequeñas cuevas y mesocavernas en la arenisca. En el citado estrato hay un ejemplo notable de *Thalassinoides* de  $6$  m de longitud y débil diámetro (detalle en imagen inferior derecha), el cual se extiende en paralelo a la estratificación. Sobre los bancos de caliza arenosa, a su izquierda, hay algunos otros ejemplos pero de menor significación, mientras que en las lutitas faltan. Las flechas amarillas indican la dirección de la paleocorriente.



**Figura 9.** La zona de Igueldo, entre el Peine de los Vientos y la punta del Faro, presenta numerosas trazas fósiles en estratos de arenisca, de buzamiento subvertical, con intercalaciones de bancos delgados de caliza arenosa, margas y lutitas. Los mejores ejemplos se encuentran en la base de estratos de arenisca en contacto con lutitas. 1, 3 y 4 = trazas de *Thalassinoides*. 2 = trazas atribuibles a *Ophiomorpha*, en calizas arenosas. 5 = *Thalassinoides*, en arenisca, junto a percolaciones de óxidos de hierro a lo largo de fisuras.



**Figura 10.** Vista del estrato de arenisca con “flutes” de la figura 8, con detalles del contacto con lutitas (flechas rojas) y de las trazas fósiles de *Thalassinoides* con 2 diámetros distintos: los cordones más gruesos (flechas azules) de 5 mm y los más delgados (flechas amarillas) de 2 mm.

Recientes análisis moleculares han mostrado que los thalassinideos están estrechamente relacionados con los Brachyura (cangrejos) y Anomura (cangrejos hermitaños y formas relacionadas). Comprenden un conjunto de 556 especies en 96 géneros (Dworschak, 2005), con su mayor diversidad en los trópicos. Cerca del 95% de sus especies viven en aguas someras, con sólo 3 taxa viviendo bajo los 2.000 m (Dworschak, 2000). Las familias Axiidae y Calocarididae tienen representantes abisales y bathiales, mientras que Callianassidae, Upogebiidae, Thalassinidae, Laomedidae y Strahlaxiidae habitan en fondos más someros. Las morfologías de todos ellos son elongadas y por sus hábitos de vida son los más firmes candidatos para haber generado los burrows de tipo *Thalassinoides* que se encuentran en las areniscas Eocenas de la Formación Jaizkibel, aunque algunas trazas pueden corresponder a otros crustáceos y las más delgadas a otros invertebrados tal como poliquetos y nemertinos.

*Ophiomorpha* es un ichnogénero usualmente interpretado como burrow, y frecuentemente considerado parte de la ichnofacies *Skolithos*, la cual ocurre en sedimentos fangosos y arenosos inestables o de alta energía, donde predominan organismos suspensívoros (Boggs, 1995). Su morfología es gruesa y las paredes de los tubos son granuladas. El exterior del burrow se caracteriza por una estructura bulbosa debida al refuerzo de la galería con pellets, aunque a veces sólo se aprecia un molde interno. Es muy frecuente entre las trazas fósiles. Su análogo moderno mejor conocido es *Callianassa major*, especie que por sí misma es muy variable etológica y ecológicamente, pero ésta es solo una entre varias especies de camarones del fango y cangrejos thalassinideos que rutinariamente construyen tubos granulados. Otras especies análogas actuales incluyen no sólo a especies adicionales de *Callianassa*, sino también a ciertas especies de *Upogebia* y posiblemente *Axius*. Cada especie tiene su peculiar rango de hábitos y habitats. El resultado conjunto de las formas recientes y antiguas es un amplio espectro de morfología de galerías y distribuciones ambientales. Las morfologías de *Ophiomorpha* se solapan con las de ichnogéneros tales como *Gyrolithes*, *Teichichnus*, y *Thalassinoides*. Las ichnoespecies descritas de *Ophiomorpha* también muestran rasgos intergradacionales (Freya et al, 1978). Los criterios taxonómicos se han basado más en los modos de construcción de las paredes que en la configuración o dimensiones de las galerías.

*Skolithos* es un ichnogénero común cuya forma original consiste en tubos cilíndricos aproximadamente verticales (dispuestos perpendiculares a la estratificación). Se trata de tubos rectos, del orden de 35 cm de longitud y 1-4 cm de diámetro, aparentemente construidos por anélidos poliquetos (Woolfe, 1990). Tales trazas son conocidas en todo el mundo en arenas y areniscas depositadas habitualmente en aguas marinas someras y en ambientes de alta energía, desde el Cámbrico hasta el presente (Vohohonsky et al, 2008; Desjardins et al, 2010). Algunos ejemplos tienen formas helicoidales. Ichnotaxa relacionados son *Ophiomorpha* y *Diplocraterion*.

*Planolites* presenta tubos sin líneas, raramente ramificados, rectos a débilmente curvados, a veces tortuosos, elípticos a circulares en sección transversal, con paredes irregulares; dimensiones variables (desde unos pocos hasta 20 cm de largo y 3-10 mm de diámetro); cordón de diferente litología que la roca-caja y generalmente de distinto color (Corrales et al, 1977; Pemberton & Frey, 1982). Por lo general dispuestos en paralelo a los planos de estratificación; los tubos son preservados en relieve positivo, como salientes cilíndricos; los túneles pueden sobresalir del sustrato y algunos pueden cruzarse sobre otros.

Del conjunto de trazas fósiles citadas para Iguelde de tipo thalassinideo, es decir, relativamente largas en proporción a sus diámetros, las más elongadas corresponden a *Thalassinoides*. Los organismos constructores de estos largos tubos o galerías eran probablemente crustáceos Gebiidea y Axiidea. Las trazas de sus galerías se disponían en paralelo a la superficie del fondo marino, a escasa profundidad vertical en sedimentos predominantemente arcillosos. Sus ichnofósiles han quedado preservados como contramolde en positivo en la base de estratos de arenisca prácticamente en el contacto con lutitas, en paralelo a la estratificación. Las evidencias de flutes y otras marcas de erosión sugieren que sucesivas avalanchas de turbiditas arenosas recubrieron los biotopos de arcillas y fangos en que habitaban y construían sus galerías estos animales, que tampoco profundizaban excesivamente en el sustrato. Por otro lado también es de destacar que en estas zonas de ocurrencia de *Thalassinoides* y trazas fósiles relacionadas, la estratificación es delgada y alternante (facies flysch) siendo el espesor de los bancos más gruesos de arenisca del orden de 1-2 m.

## THALASSINOIDES Y PARAMOUDRAS

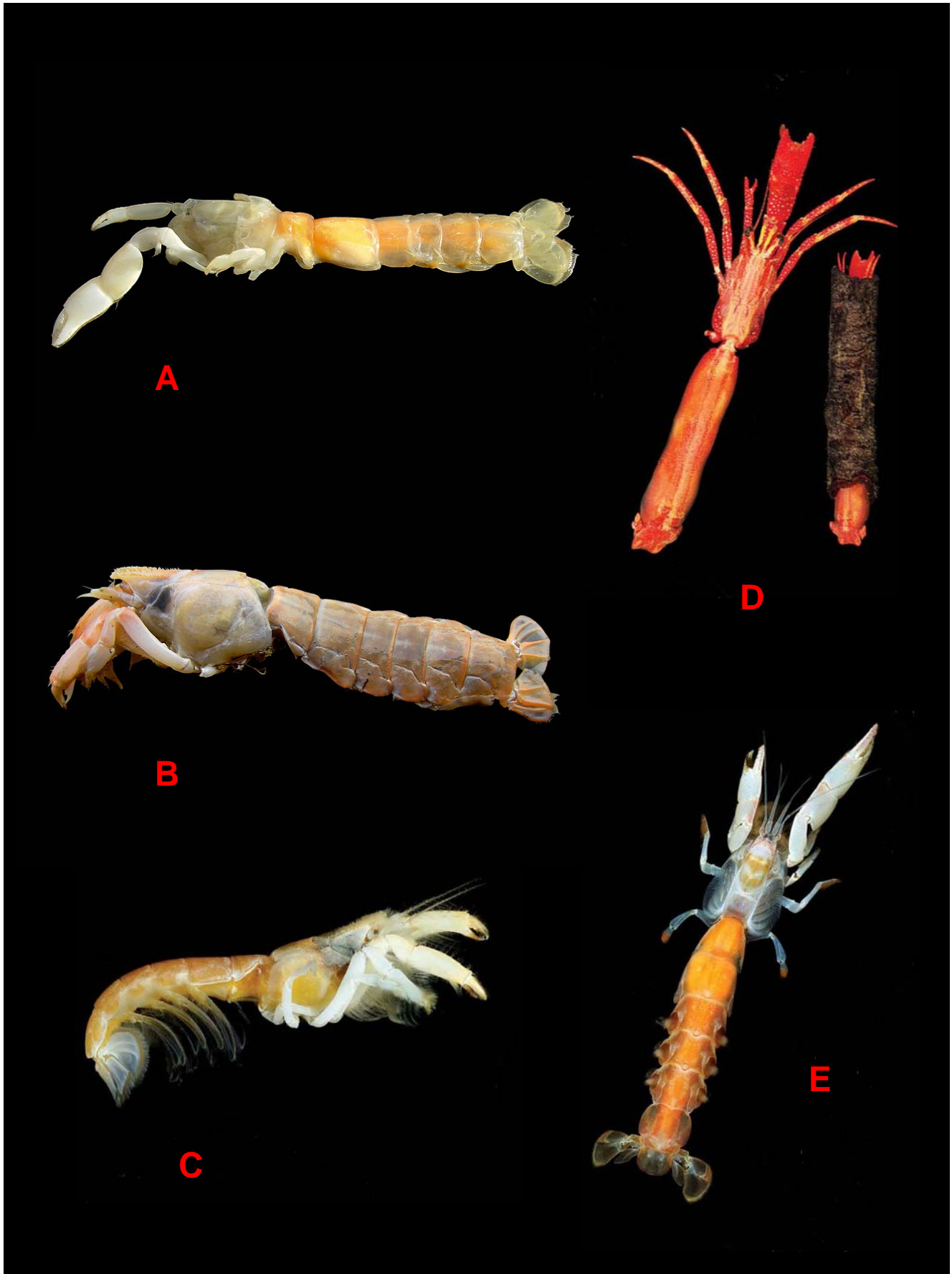
La morfología y diámetros de las trazas más largas de *Thalassinoides*, que acabamos de describir de Iguelde, se asemejan a las que se presentan en las concreciones de los Paramoudras hallados en bancos gruesos de arenisca de la Formación Jaizkibel. Tanto por sus cordones centrales (molde rellenos de sus galerías internas) como por el equivalente a las paredes de los tubos. En las trazas de *Thalassinoides* estas paredes resultan erosionadas, mientras que en los Paramoudras son puestas de manifiesto por su contenido en glauconita y enriquecimiento en otros minerales, aunque en superficie también resultan erosionadas, delimitando las espículas que afloran en orificios.

A pesar de estas aparentes similitudes, lo que diferencia a las trazas de Paramoudras no es sólo que en torno a ellas se han desarrollado las concreciones envolventes (de cementación silíceas), sino que están profundamente incluidas en el sustrato de arenisca, profundizando verticalmente hasta 6 m en Jaizkibel (con un máximo de 9 m en otras localidades europeas: Bromley et al, 1975; Breton, 2006).



**Figura 11.** Detalles de las trazas de *Thalassinoides* y flutes de la Figuras 10, con cordones de dos diámetros distintos: 5 mm (fila media) y 2 mm (fila inferior, izquierda). En la fila inferior, derecha, otro ejemplo en el mismo sector de flutes y trazas de *Thalassinoides*, de 6 mm de diámetro.





**Figura 12.** Diversos ejemplos de crustáceos decápodos que excavan galerías o pueden habitar en ellas. A = *Pestarella tyrrhena* (Callianasidae, Axiidea). B = *Upogebia deltaura* (Upogebiidae, Gebiidea). C = *Upogebia annae* (Upogebiidae, Gebiidea). D = *Acanthacarus caeca* (Nephropidae, Nephropoidea). E = *Lepidophthalmus jamaicensis* (Callianassidae, Axiidea). Fuente: A-B: Hans Hillewaert, 2006, in: Wikimedia Commons. C-E: De Grave et al, 2009.

La estratificación de la arenisca en estas zonas es gruesa, con bancos individuales de hasta 8 m de potencia, los cuales prácticamente se apoyan unos sobre otros, faltando o siendo casi inapreciables las intercalaciones de lutitas. Es en estas zonas, de relieves prominentes (con paredes verticales y acantilados de hasta 40 m de altura), donde precisamente se ha podido formar un notable pseudokarst en arenisca (con numerosas cavidades y geoformas). Por consiguiente, las trazas fósiles de los Paramoudras las formaron organismos que excavaban galerías o tubos con paredes reforzadas en arenas inconsolidadas, un medio en el cual difícilmente se podrían conservar las trazas de crustáceos thalassinoideos. Muchos tubos (y concreciones) de Paramoudras pueden ser seguidos hasta 3-6 m de profundidad en el interior de los estratos de arenisca, con bifurcaciones y ramificaciones en Y, en T, y en U, que se extienden preferentemente vertical y oblicuamente.

Opinamos por ello que en un medio inconsolidado de arenas de grano medio a grueso, las galerías usuales de crustáceos, moluscos, o anélidos no tubícolas, no dejarían huellas fosilizables, siendo los candidatos más probables para generar estas trazas organismos tales como poliquetos y tal vez pogonóforos (en algunos casos de tubos simples). Los tubos de poliquetos presentan a este respecto una variedad extraordinaria en sus composiciones, y sus paredes pueden estar revestidas de carbonato de calcio, de sustancias quitinosas y apergaminadas, de agregaciones de partículas (granos de arena, espículas de esponjas, conchas de perópodos, etc.) que aglutinan y cementan con mucus y otras excreciones elaboradas o segregadas por ellos mismos. Lo que otorga a los tubos la suficiente consistencia, flexibilidad y resistencia, para no resultar destruidos y poder dejar trazas fósiles en un medio de alta energía y dinamismo sometido a periódicas avalanchas de turbiditas. En adición, mientras las especies de thalassinoideos abisales son raras, los poliquetos resultan predominantes en las zonas abisales, habiendo sido colectadas algunas especies hasta 10.150 m de profundidad.

Es conocido que la naturaleza de los organismos y sus relaciones con el sedimento se encuentran entre los más difíciles problemas planteados por los Paramoudras (Bromley et al, 1975). Pocas claves emergen del estudio de la bibliografía ichnológica ya que los ejemplos de estructuras de bioturbación o trazas fósiles de huellas, pistas y excavaciones (= tracks, trails and burrows) difieren en sus características de las halladas en Paramoudras y raramente se aproximan a las dimensiones extremas (especialmente en sentido vertical) que alcanzan estas últimas. Los organismos que generan las bioturbaciones habitan sobre y entre sedimentos arcillosos blandos (limos, fangos), mientras que los que han generado los Paramoudras de Jaizkibel habitaron en arenas cuarzosas, correspondiendo a organismos de la infauna que penetran varios metros en el sustrato. Además, aunque el limo y el fango pueden soportar una multiplicidad de formas de vida, estas se restringen a la capa superior, ya que en sedimentos de granulometría fina se crean nuevos problemas al contener éstos menos oxígeno disuelto y más altos tenores de sulfuro de hidrógeno. Los Paramoudras se desarrollan a mayores profundidades en el sedimento, en condiciones anaerobias, y los organismos son capaces de subsistir en estos niveles profundos porque establecen contacto con el agua superior mediante sus sistemas de tubos. Esto constituye otra importante diferencia con las trazas de bioturbaciones, que raramente profundizan en el sustrato, estando situadas por encima del biotopo de los Paramoudras.

Por otro lado y de modo inverso, una revisión de las características y ocurrencias de Paramoudras, muestra que en un sector de una de las localidades de Jaizkibel, existe todo un conjunto y una gran profusión de Paramoudras inusuales o atípicos, que informalmente denominados Paramoudras decapitados, estrellados y multiperforados (Galán et al, 2008) (Figuras 13 á 15). Este sector precisamente ocupa el techo de un estrato grueso de arenisca, que forma una laja costera escalonada. La superficie de esa laja con Paramoudras atípicos está muy próxima a una intercalación con un banco de lutitas de unos 40 cm de espesor. En tales estratos de lutitas intercalados en la serie, y sobretudo en la base o techo de los estratos de arenisca en contacto con las lutitas, es frecuente que se conserven pistas fósiles. Generalmente la arenisca presenta en posición invertida el contramolde en relieve positivo de la huella negativa dejada por los organismos que se encontraban en las arcillas ahora litificadas como lutitas.

La proliferación de organismos en el fango (en estratos de poco espesor) es considerablemente mayor que la de organismos tubícolas y excavadores que se entierran en la arena. No obstante, en ambos casos, los organismos pueden generar considerables cantidades de materia orgánica (como producto de su metabolismo y descomposición de sus restos). Así, el número de organismos y el contenido orgánico se multiplica en la base y en el techo de los estratos arenosos en contacto con lutitas. Y dado que de una forma u otra es el contenido orgánico el que propicia el concrecionamiento, planteamos la hipótesis de que una mayor cantidad y diversidad de organismos puede haber propiciado la formación de Paramoudras con alto número de ichnofósiles. Que es lo que hemos hallado en los ejemplos atípicos citados, donde los Paramoudras presentan una auténtica explosión de perforaciones tubulares en las concreciones.

Destaca en primer lugar la presencia de Paramoudras que hemos denominado decapitados o seccionados (Figura 13). Estos pueden tener formas circulares, festoneadas e irregulares, con escasos orificios, y se interrumpen abruptamente en forma plana, paralela a la superficie de la laja costera. Su interrupción planar coincide con el límite inferior de un estrato delgado de lutitas. Esto sugiere que, o bien el desarrollo vertical de los Paramoudras se interrumpe al faltar las arenas, o bien, en caso de que las concreciones se extendieran hasta las arcillas, éstas porciones han sido erosionadas y removidas en su totalidad.

A 2-5 cm por debajo del nivel anterior hay ejemplos de surcos y perforaciones, sobre la superficie plana de la laja costera, con diseños estrellados (Figura 14). Su centro posee perforaciones verticales y está rodeado por surcos radiales, rectilíneos, de hasta 50 cm de longitud. A un nivel estratigráfico ligeramente inferior, los surcos radiales más grandes son similares a Paramoudras



**Figura 13.** Paramoudras decapitados o seccionados en un sector de la localidad 2 de Jaizkibel. Su interrupción planar coincide con el límite inferior de un estrato delgado de lutitas (flechas rojas).



**Figura 14.** Paramoudras estrellados. Nótese que en la imagen superior y las de la izquierda son apenas surcos cuyos lados sobresalen sólo un poco de la roca-caja, mientras que las del lado derecho presentan una imagen más completa como cilindros horizontales. Por su aspecto sugieren que la cementación de la concreción es casi una fase intermedia entre la de la roca-caja y la de los Paramoudras típicos, como si se estuviera ante una zona de frontera de límites poco precisos en cuanto a las características de su concrecionamiento.

cilíndricos de escaso diámetro, con su envoltura externa parcialmente erosionada. Es decir, las formas estrelladas parecen ser los restos decapitados de delgados cilindros horizontales, con raíces verticales que se hunden en el sustrato.

A 10-20 cm por debajo del contacto con la intercalación de lutitas, se presentan Paramoudras cuya forma en planta recuerda a los hallados en Igueldo (Galán et al, 2009), los cuales destacan del sustrato con escasos centímetros de elevación y topes subaplanados, paralelos a la estratificación. Estos Paramoudras están acribillados por decenas a centenares de perforaciones, en forma intrincada y compleja. Al mismo nivel estratigráfico, otros Paramoudras, esféricos y cilíndricos, presentan un alto número de perforaciones, considerablemente mayor que el patrón habitual (Figura 15). Lo que asociamos a la presencia del nivel de lutitas, con mayor contenido orgánico, el cual resulta acribillado por auténticos enjambres de galerías hechas por organismos excavadores.

Estos ejemplos nos llevan reflexionar que el concrecionamiento que genera los Paramoudras, organizado a lo largo del gradiente redox, puede involucrar (y envolver), en la proximidad de los contactos arenisca-lutita, a trazas fósiles de los burrows de *Thalassinoides* e ichnotaxa relacionados, abarcando entonces las trazas fósiles de una multiplicidad de organismos distintos, en forma mucho más compleja que lo habitualmente considerado. Así, algunas trazas halladas en estos Paramoudras atípicos pueden incluir burrows de *Ophiomorpha*, *Chondrites*, *Zoophycos*, *Thalassinoides*, *Planolites*, *Skolithos*, además de las propias de *Bathichnus paramoudrae* e ichnotaxa próximos. De ser correcta esta hipótesis, ella corroboraría y suministraría una explicación satisfactoria de la ocurrencia de estos Paramoudras complejos y atípicos, tema que será retomado con mayor amplitud en la discusión.

## DISCUSION Y CONCLUSIONES

El tipo de ichnofacies en el medio marino depende principalmente del tipo de sustrato y su grado de consolidación. Diversos factores influyen o condicionan la representación de organismos (y sus trazas fósiles), entre ellos, la profundidad, la consistencia del sedimento, la disponibilidad de nutrientes, la turbulencia, la cantidad de oxígeno y la salinidad.

En zonas menos profundas o de mayor turbulencia, hay un suministro importante de nutrientes en suspensión y esto provoca una mayor biodegradación y una mayor biomasa por área. Hay mayor diversidad pero también mayor depredación. Por tanto, los organismos que tendrán más éxito en estos ambientes serán aquellos capaces de desarrollar cavidades en el sedimento para escapar de los depredadores, es decir, organismos suspensívoros.

En zonas más profundas o de menor turbulencia, hay menos oxígeno y los nutrientes se encuentran en el sedimento. La biodegradación en el fondo es menor y habrá una cierta concentración, además la biomasa por área es menor y, por consiguiente hay una menor depredación. Así los organismos mejor adaptados serán aquellos capaces de nutrirse tomando partículas orgánicas del sedimento, es decir los sedimentívoros o limnófagos. Adicionalmente, pueden habitar organismos filtradores (que se refugian en tubos o galerías y se alimentan en superficie), tal como muchos poliquetos, y organismos con un tipo especial de alimentación, como puede ser el caso de pogonóforos, que se alimentan de bacterias cuyas poblaciones son sostenidas por emisiones de sulfuro de hidrógeno procedentes de la zona de matanogénesis.

En sedimentos donde hay un gradiente de oxígeno desde la superficie hacia el interior, los organismos son distintos según este gradiente, ya que cuanto más cerca de la superficie más dependen del suministro de oxígeno. Ordenados de mayor a menor dependencia de oxígeno se encuentran: *Planolites* > *Thalassinoides* > *Zoophycos* > *Chondrites*. Los organismos de mayor tamaño son también los más superficiales. Al aumentar la profundidad dominan aquellos organismos adaptados a un mayor déficit de oxígeno. Como estas divisiones en función de la profundidad no son exactas, a menudo aparecen estructuras que interfieren unas con otras, este fenómeno se denomina "tiering". A partir del Cámbrico las especies del benthos adquieren una mayor capacidad de bioturbación, así en el Paleozoico era solo de unos centímetros, en el Mesozoico llegaba hasta cerca de un metro y en el Cenozoico alcanza 1-2 m de profundidad. Las galerías actuales de organismos excavadores evolucionan por lo general en el primer metro del sedimento. Weaver & Schultheiss (1983) han reportado, como máximo conocido, galerías verticales de 5 mm de diámetro que se hunden 115 cm en el sedimento; y de 0,5 á 1,2 mm de diámetro (*Trichichnus isp.*) que se hunden 214 cm, en turbiditas pelágicas profundas. Como contrapartida, las trazas de *Bathichnus paramoudrae* e ichnotaxa relacionados se pueden hundir 9 m en el sedimento, por lo que las partes profundas de sus tubos se encuentran en la zona anóxica y rica en sulfuros del sedimento.

Bromley et al (1975) y Bromley (1996) señalan que algunas ocurrencias de burrows de Paramoudras en margas calcáreas contienen signos de bioturbación, habiendo sido reconocidos entre otros ichnotaxa a *Thalassinoides*, *Chondrites* y *Zoophycos*. La glauconita sólo muy raramente está asociada a estas trazas y sólo a las de *Thalassinoides*, y de modo muy local y débil. En algunos casos observados los burrows de Paramoudras cortan a los de otras trazas y claramente las postdatan. Esto ulteriormente enfatiza que los burrows de Paramoudras descienden a mucha mayor profundidad bajo el suelo oceánico que las demás trazas fósiles.

Dada la extraordinaria naturaleza de los Paramoudras y su diagénesis, conviene considerar el ambiente físico-químico de sus burrows con algún detalle. El decrecimiento de Eh (potencial de oxidación) con la profundidad en los sedimentos es complejo y guarda relación con la profundidad de la barrera redox bajo el suelo oceánico. Parece claro que esta profundidad puede haber variado diferentes veces (de horizonte a horizonte) según como el ambiente deposicional fue fluctuando. Donde las aguas del fondo están oxigenadas (con presencia de benthos), los dos factores que controlan el Eh del sedimento son la cantidad de materia orgánica en el mismo y la tasa de descomposición bacteriana. La materia orgánica introducida en el sustrato por el benthos puede ser



**Figura 15.** Paramoudras multiperforados. Nótese su posición con respecto al plano de estratificación con lutitas intercaladas. Los de niveles más altos están acribillados de burrows, de muy distintos tipos, mientras que al bajar de nivel unos cm se reduce su número.

considerable, y aumenta con la caída de detritus pelágicos del plankton y nekton. El agotamiento de O<sub>2</sub> libre en el sedimento por descomposición bacteriana aeróbica de la materia orgánica puede ser compensada por difusión del oxígeno disuelto hacia abajo desde el suelo oceánico y presumiblemente también hacia fuera desde los sistemas de tubos abiertos de burrows en los sedimentos. Cuanto más lenta la tasa de deposición, más materia orgánica puede ser oxidada cerca de la superficie y menos puede esperarse que sea preservada por enterramiento (Emery & Rittenberg, 1952). Las rocas con burrows de Paramoudras están en general muy libres de arcilla y su porosidad es alta. La difusión hacia abajo de oxígeno desde el suelo oceánico debe haber sido rápida. La tasa de deposición fue también relativamente lenta, marcada por frecuentes interrupciones, que permitirían oxidar mucha materia orgánica cerca de la superficie. Muchos horizontes además presentan una considerable bioturbación. Con las capas superiores removidas varias veces antes de su enterramiento final. Por último, el suelo oceánico siempre contiene redes de sistemas de burrows de *Thalassinoides* abiertos al suelo oceánico, que descienden 1-2 m bajo el mismo, y a través de los cuales sus habitantes crustáceos bombean una continua corriente de agua de mar oxigenada. Todo lo cual sugiere que el sedimento del suelo oceánico en estas zonas fue generalmente oxidante hasta una profundidad de varios cm y posiblemente 1 m ó más durante gran parte del tiempo de la diagénesis de las concreciones silíceas de los Paramoudras.

La forma y preservación de las trazas de *Thalassinoides* soportan esto. Los burrows de *Thalassinoides*, *Zoophycos*, *Chondrites* y *Planolites* son en esencia el trabajo de animales suspensívoros y/o sedimentívoros. Cuando el color de su relleno resulta visible, *Thalassinoides* puede ser seguido verticalmente hasta 1-1,5 m, mientras *Zoophycos*, *Chondrites* y *Planolites* característicamente posdatan a *Thalassinoides*, retrabajando sus paredes y llenando o meramente cortando sus galerías a través de ellas. Estas galerías han sido excavadas a similar profundidad bajo la interfase deposicional, hasta 1-1,5 m, es decir, en un medio oxigenado o sólo levemente reductor del sedimento, y el nivel al que estos organismos excavadores dejan de operar queda por encima de la barrera redox (Breton, 2006).

Es probable que bajo el nivel inferior que alcanzan los burrows de *Thalassinoides*, los sedimentos aún tengan cierto contenido de materia orgánica, más resistente a la descomposición. De igual modo la actividad bacteriana declina mucho con la profundidad. Teniendo en mente la baja tasa de deposición, alta porosidad, completa bioturbación y aparente extensión de la zona oxidante, tal cantidad no debe ser significativa. Pero la presencia de los tubos de Paramoudras a mayor profundidad puede removilizar la materia orgánica inestable, creando así una condición anómala en la zona reductora. Las condiciones oxigenantes introducidas en el sedimento profundo crean una nueva frontera redox entre el interior de los tubos y el sedimento adyacente, con nuevos gradientes químicos que crean la base para generar el concrecionamiento de los Paramoudras en torno a sus burrows.

Los animales que producen los burrows de Paramoudras hasta 3-9 m bajo el suelo oceánico, cuando los futuros sitios de horizontes silíceos ya han sido determinados, ocurren cuando aún la sílice está en una forma dispersa, bien sea como complejos orgánicos o como lepisferas de cristobalita. La creación de microambientes en torno de los burrows, por introducción de materia orgánica altamente reactiva y productos de descomposición concentrados, reorienta completamente los gradientes químicos. Cuando los burrows pasan a través de incipientes horizontes silíceos, la sílice es removilizada y redispersada en torno a los burrows, a lo largo de un nuevo frente químico. El estudio del disturbio del patrón de desarrollo de horizontes con nódulos de sílex muestra que la localización de estos horizontes ya estaba determinada, pero que ello no ofreció resistencia al paso de los excavadores y la subsecuente formación de columnas de Paramoudras (Bromley, 1996).

En las turbiditas emplazadas en la zona abisal, entre 1.000 y 4.000 m de profundidad para la Formación Jaizkibel, la materia orgánica contenida entre las arenas (y la que prosiguiera cayendo como detritos planctónicos o como restos de organismos de la infauna del bentos), iba siendo alterada por la presencia de poblaciones de bacterias. A partir de la interfase agua-sedimento del fondo submarino se suceden verticalmente: una zona aerobia, una zona de sulfato-reducción y a una zona de metanogénesis. Entre el fondo marino y la zona de metanogénesis se organiza un gradiente redox, con cierto número de equilibrios químicos. Es aceptado que las concreciones silíceas de los Paramoudras se forman en torno a la zona de frontera oxígeno-anóxica. A su vez, entre los tubos o madrigueras de los organismos y el sedimento contiguo, se organiza otro gradiente redox a tenor del sentido de circulación de las aguas, pudiendo tanto hundirse agua rica en oxígeno hacia la zona anóxica profunda del sedimento o, a la inversa, ascendiendo hacia la superficie agua rica en sulfuros que atraviesa las zonas oxigenadas del sedimento. Ziljstra (1995) y Clayton (1986) han propuesto hipótesis alternas (representadas en la Figura 16), según las cuales los Paramoudras serían formados en torno a los tubos, bien por encima o debajo de la frontera oxígeno-anóxica, aunque el caso más frecuente parece ser el segundo (Figura 17). Tanto desde una perspectiva diagenética (Toyton & Parsons, 1990; Juignet & Breton, 1997) como geoquímica (Clayton, 1986; Ziljstra, 1995) cada vez resulta más claro que la silicificación de la concreción ocurre en una fase temprana y el papel preponderante es debido a la disolución de la calcita y precipitación de sílice en la frontera entre una zona oxidada superficial del sedimento y la zona profunda anóxica, rica en sulfuros. Las dos hipótesis, más que opuestas, son complementarias (Galán & Molia, 2008; Galán et al, 2008).

La expuesta es la explicación general para la formación de Paramoudras. Obviamente, muchos otros detalles dependerán de las características, condiciones locales y equilibrios químicos que ocurren en cada caso concreto. Los casos de Paramoudras atípicos comentados parecen implicar también a trazas de *Thalassinoides* debido a la proximidad de ese sector a un nivel delgado de lutitas, en el cual proliferarían muchos otros organismos del bentos que generan trazas de tipo thalassinideo, constituyendo así una zona de frontera o de mezcla gradacional, límite inferior para las galerías de *Thalassinoides* (habitantes del nivel delgado de

Las hipótesis más probables para explicar la formación de Paramoudras son debidas a ZILJSTRA (1995) y CLAYTON (1986).

Ambos casos suponen que los Paramoudras son formados por concrecionamiento en torno a galerías o tubos de organismos que excavaban los sedimentos arenosos. Las concreciones son generadas por procesos físico-químicos a lo largo de un gradiente redox, en el que ocurre primero la disolución y precipitación de la calcita, y luego la epigénesis de la calcita en sílice, dando origen al concrecionamiento síliceo.

**A: Hipótesis de ZILJSTRA (1995).**

**B: Hipótesis de CLAYTON (1986).**

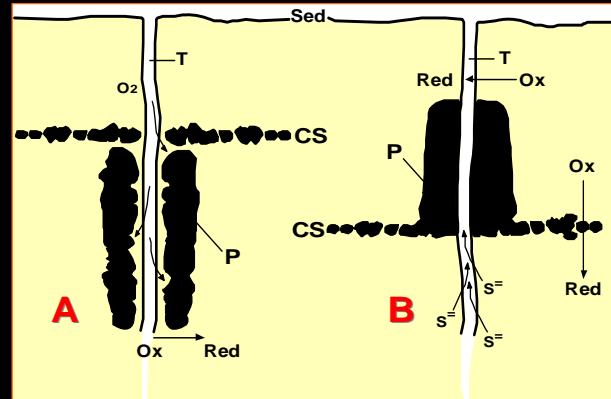
Concreciones síliceas en negro sólido. Las flechas Ox > Red indican los gradientes redox.

P = concreciones síliceas de los Paramoudras. CS = último lecho de concreciones síliceas.

Sed = superficie del sedimento. T = Tubos.

Las flechas curvas indican el tránsito de oxígeno ( $O_2$ ) desde el tubo o madriguera hacia el sedimento (en A) o de sulfuros ( $S^{2-}$ ) desde el sedimento hacia los tubos.

(Fuente: BRETON (2006), modificado).



**Figura 16. 1.** Hipótesis propuestas para explicar la formación de Paramoudras. Tanto desde una perspectiva diagénética (TOYTON & PARSONS, 1990; JUIGNET & BRETON, 1997) como geoquímica (CLAYTON, 1986; ZILJSTRA, 1995) cada vez resulta más claro que la silicificación de la concreción ocurre en una fase temprana y el papel preponderante es debido a la disolución de la calcita y precipitación de sílice en la frontera entre una zona oxidada superficial del sedimento y la zona profunda anóxica, rica en sulfuros. Las dos hipótesis, más que opuestas, son complementarias.



**Figura 16. 2.** Los Paramoudras de Jaizkibel, con sus formas predominantes esféricas y cilíndricas, y cuyas trazas fósiles pueden hundirse profundamente en el sustrato, constituyen un tipo de concreciones síliceas en arenisca carbonática con ejemplos únicos en el mundo. De gran interés por su particular diagénesis a lo largo de tubos de organismos y procesos geoquímicos envueltos. Algunos aspectos de su génesis resultan aún enigmáticos, así como la biología de los organismos involucrados, por lo que ofrecen un amplio campo de estudio para desarrollar investigaciones adicionales.





**Figura 17.** En fracturas y cavidades se puede seguir el desarrollo vertical de Paramoudras, de hasta 2 m, con terminaciones semiesféricas. Arriba, con ramificación en Y. Abajo, desarrollo simple. Nótese los orificios y perforaciones a lo largo de sus ejes axiales.

arcillas) y límite superior de preservación para las trazas de *Bathichnus* y taxa relacionados (habitantes de los estratos gruesos de arenas), y probablemente también, constituyendo la frontera oxígeno-anóxica bajo la cual se formaron las concreciones síliceas de los Paramoudras en ese momento.

En todo caso podemos concluir que a través del largo proceso de diagénesis del conjunto de rocas del flysch, ocurrieron eventos que traducen una gran complejidad de detalles locales, tanto en las sucesivas fases de formación de niveles de Paramoudras y otras concreciones, como en los de fosilización de las trazas de burrows de tipo thalassinoideo.

Aunque las investigaciones sobre el flysch de Gipuzkoa parecen haberse centrado en torno a la importancia del límite K-T, las prospecciones y estudios del seudokarst en areniscas Eocenas de la Formación Jaizkibel están aportando incontables datos novedosos de considerable interés científico. Tanto sobre cuevas, espeleotemas y geofomas en las zonas con mayor potencia de las areniscas, como sobre Paramoudras, concreciones, ichnofósiles y otros aspectos relacionados, algunos de ellos constituyendo casos únicos nuevos para la Ciencia y otros representando los mejores y más espectaculares ejemplos en su tipo a nivel mundial. El seudokarst de Jaizkibel contiene así un enorme potencial de puntos y aspectos de interés geológico y biológico, que progresivamente están siendo puestos de relieve, y que ofrecen un amplio abanico de temas de investigación.

## AGRADECIMIENTOS

A todos los compañeros y colaboradores de la Sociedad de Ciencias Aranzadi que nos han acompañado o ayudado de algún modo en los trabajos de campo y laboratorio, y de modo especial, en relación a este trabajo, a Michel Molia, Iñigo Herraiz, Marider Balerdi, Daniel Arrieta, Carlos Oyarzabal y Luis Viera. A todos ellos nuestra gratitud.

## BIBLIOGRAFIA

- Baceta, J.I.; X, Orue-Etxebarria; E. Apellaniz et al. 2012. El flysch del litoral Deba-Zumaia: una "ventana" a los secretos de nuestro pasado geológico. Univ. País Vasco - EHU, Fac. Ciencia y Tecnología. Serv. Ed. Univ. País Vasco, PDF, 138 pp.
- Boggs, S., Jr. 1995. Principles of Sedimentology and Stratigraphy, 2nd Edition. University of Oregon, Prentice Hall, Inc.
- Breton, G. 2006. Paramoudras et autres concrétions autour d'un terrier. Bull. Inf. Géol. Bass. Parris, 43 (3): 18-43.
- Bromley, R.G. 1996. Trace Fossils: Biology, Taphonomy and Applications (2nd ed.). Routledge Ed.
- Bromley, R.G.; Schulz, M. & N. B. Peake. 1975. Paramoudras: giant flints, long burrows and the early diagénesis 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, S.C.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.
- Corrales, I.; J. Rosell; L. Sánchez; J.A. Vera & L. Vilas. 1977. Estratigrafía. Ed. Rueda, Madrid.
- De Grave, S.; N.D. Pentcheff; S.T. Ah Yong et al. 2009. A classification of living and fossil genera of decapod crustaceans. Raffles Bulletin of Zoology Suppl. 21: 1-109.
- Desjardins, P.R.; G. Mangano; Buatois, L.A. & B.R. Pratt. 2010. Skolithos pipe rock and associated ichnofabrics from the southern Rocky Mountains, Canada: colonization trends and environmental controls in an early Cambrian sand-sheet complex. Lethaia, 43 (4): 507.
- Dworschak, P.C. 2005. Global diversity in the Thalassinidea (Decapoda): an update (1998-2004). Nauplius 13 (1): 57-63.
- Dworschak, P.C. 2000. Global diversity in the Thalassinidea (Decapoda). Journal of Crustacean Biology 20: 238-243.
- Emery, K.O. & S.C. Rittenberg. 1952. Early diagenesis of California basin sediments in relation to origin of oil. Bull. Amer. Assoc. petrol. Geol., 36: 735-806. Tulsa,
- Freya, R.W.; J.D. Howard & W.A. Pryora. 1978. *Ophiomorpha*: Its morphologic, taxonomic, and environmental significance. Palaeogeography, Palaeoclimatology & Palaeoecology, 23: 199-229.
- Galán, C.; J. Rivas & M. Nieto. 2007. Pseudokarst en arenisca del flysch costero Eoceno, Gipuzkoa. Lapiaz, nº 31: 44 pp. + Pag web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 44 pp. + Versión en francés en Spelunca 2008 (2º trimestre).
- Galán, C.; J. Rivas & M. Nieto. 2007. Notas suplementarias sobre formas pseudokársticas en arenisca del flysch Eoceno, Gipuzkoa. Lapiaz, nº 32: 20 pp. + Pag web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 20 pp.
- Galán, C.; J. Rivas & M. Nieto. 2008. Geofomas 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 ichnotaxa 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.
- Galán, C.; J. Rivas & M. Nieto. 2011. Los acantilados de Ulía, sus cavidades y geoformas (San Sebastián, País Vasco). Pag web aranzadi-sciences.org, PDF, 26 pp.
- Galán, C. & M. Nieto. 2011. El pseudokarst en arenisca del monte Ulía (Formación Jaizkibel, San Sebastián): notas biológicas y geológicas. Pag web aranzadi-sciences.org, PDF, 28 pp.
- Galán, C. 2011. Notas sobre cuevas, concreciones y geoformas en arenisca del monte Ulía (San Sebastián). Pag web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 30 pp.
- Galán, C.; M. Nieto; J. Rivas & B. Recht. 2011. La Cueva del Elefante: formas pseudokársticas residuales en arenisca de la Formación Jaizkibel. Pag web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 22 pp.
- Galán, C. & M. Nieto. 2012. Bandas de Moebius, Boxworks y otras raras Geoformas en arenisca de la Formación Jaizkibel. *Bol. SEDECK*, 8 (2012): 20-41. Reedición modificada de Galán & Nieto, 2010 in: aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 30 pp.
- García, H. 2010. Echino, cuenca de Vera, ichnofósiles. In: [echino.wordpress.com/tag/thalassinoides](http://echino.wordpress.com/tag/thalassinoides).
- 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.
- Juignet, P. & G. Breton. 1997. Brèches de silex, diagenèse et déformation dans les craies de Haute-Normandie (France). *Ann. Soc. Géol. Nord*, 5, 2e sér., pp: 227-240.
- 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.
- Myrow, P.M. 1995. Thalassinoides and the enigma of Early Paleozoic open-framework burrow systems. *Palaios, Soc. Sedimentary Geol.*, Vol. 10 (1): 58-74.
- Pemberton, R.K. & R.W. Frey. 1982. Trace fossils nomenclature and Planolites Palaeophycus dilemma. *Journal of Paleontology*, 56(2): 416-439.
- Robles, S.; V. Pujalte & J. García-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. Gabaldón. 1985. Serie turbidítica del Cretácico Superior del País Vasco. *Bol. Geol. Min.*, 96: 361-366.
- Sakai, K. 2004. The diphyletic nature of the Infraorder Thalassinidea (Decapoda, Pleocyemata) as derived from the morphology of the gastric mill. *Crustaceana* 77 (9): 1117-1129.
- Toyton, R. & D. W. Parsons. 1990. The compaction history of a composite flint and his host sediment. *Proc. Geol. Ass.*, 101 (4): 315-333.
- Volohonskya, E.; M. Wisshak; D. Blomeierb; A. Seilachera; S. Snigirevskyd & A. Freiwaldc. 2008. A new helical trace fossil from the Lower Devonian of Spitsbergen (Svalbard) and its palaeoenvironmental significance. *Palaeogeography, Palaeoclimatology & Palaeoecology*, 267: 17.
- Weaver, P. & P. Schultheiss. 1983. Vertical open burrows in deep-sea sediments 2 m length. *Nature*, 301: 329-331.
- Woolfe, K.J. 1990. Trace fossils as paleoenvironmental indicators in the Taylor Group (Devonian) of Antarctica. *Palaeogeography, Palaeoclimatology & Palaeoecology*, 80 (3-4): 301-310.
- Zijlstra, H. 1995. *The Sedimentology of chalk. Lectures notes in Earth Sciences*, 54, Springer Verlag, Berlin, New York, 194 p.
- Van Vliet, A. 1982. Submarine fans and associated deposits in the Lower Tertiary of Guipúzcoa (Northern Spain). *Thesis Doct., Univ. Utrecht, Netherlands*, 180 pp.
-