

**CRUSTACEA MYSTACOCARIDA Y COPEPODA EN CAVIDADES EN ARENISCA EN EL RINCÓN
DEL BÚHO (MONTE ULÍA, DONOSTI, PAÍS VASCO).**

Crustacea Mystacocarida and Copepoda in sandstone caves in the Owl Corner (Mount Ulía, Donosti, Basque Country).



Carlos GALAN & Marian NIETO.
Sociedad de Ciencias Aranzadi.
Enero 2016.

CRUSTACEA MYSTACOCARIDA Y COPEPODA EN CAVIDADES EN ARENISCA EN EL RINCÓN DEL BÚHO (MONTE ULÍA, DONOSTI, PAÍS VASCO).

Crustacea Mystacocarida and Copepoda in sandstone caves in the Owl Corner (Mount Ulía, Donosti, Basque Country).

Carlos GALAN & Marian NIETO

Laboratorio de Bioespeleología. Sociedad de Ciencias Aranzadi.

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

E-mail: cegalham@yahoo.es

Enero 2016.

RESUMEN

En el litoral del monte Ulía, al Este de San Sebastián, el frente costero está recortado por acantilados verticales, con numerosos entrantes y salientes, producto del avance de la erosión marina. Los estratos de arenisca (de la serie flysch, de edad Eoceno) tienen una disposición subvertical y han resistido mejor a la erosión, formando prominentes puntas de roca y acantilados de más de 100 m de desnivel. En su base los bloques y placas de roca desprendidos forman una delgada franja litoral, batida por el oleaje, en la zona intermareal. En estos lugares de difícil acceso existen cuevas inter-estratos y de recubrimiento, bajo grandes bloques de arenisca.

El trabajo describe un conjunto de cavidades halladas en el entrante litoral del Rincón de Búho. En su formación ha intervenido la disolución intergranular de la arenisca, junto a la erosión normal y marina, existiendo cavidades con manantiales de agua dulce y otras que invaden las aguas marinas durante las pleamares. Algunas de ellas poseen una fauna cavernícola singular, que incluye crustáceos Mystacocarida, Copepoda y Amphipoda, entre otros invertebrados, así como espeleotemas, concreciones y geoformas. Se describen los rasgos de este peculiar relieve litoral, con formas kársticas en arenisca, y la fauna que lo habita.

Palabras clave: Espeleología, Karst en arenisca, Geomorfología, Biología subterránea, Crustacea Mystacocarida.

ABSTRACT

On the coast of Mount Ulía, east of San Sebastian, the coastal front is cut by vertical cliffs with numerous inlets and outlets, product of the advancement of marine erosion. Sandstone strata (of the Eocene flysch series) are arrangement subvertical and have better resisted erosion, forming prominent points of rock and cliffs over 100 m of altitude. At its base blocks and slabs of rock detached form a thin coast strip whipped by the waves, in the intertidal zone. In these places of difficult access exist inter-strata and covering caves under large blocks of sandstone.

The paper describes a set of caves found in the incoming coast of Owl Corner. In its formation has intervened intergranular dissolution of the sandstone, together with normal and marine erosion, existing caves with freshwater springs and other that invade seawater during high tides. Some of them have a unique and diverse cave fauna, which includes Crustacea Mystacocarida, Copepoda and Amphipoda, among other invertebrates, as well as speleothems, concretions and geoforms. The features of this unique coastal relief, with karst forms in sandstone, and the wildlife that inhabits it, are described.

Keywords: Speleology, Sandstone karst, Geomorphology, Subterranean Biology, Crustacea Mystacocarida.

INTRODUCCION

El medio subterráneo comprende cuevas y sistemas de vacíos en distintas litologías, entre ellas areniscas y cuarcitas, donde puede formarse un karst con sistemas de drenaje subterráneo y cavidades comparables a las que ocurren en el karst clásico en caliza y/u otras rocas más solubles (Urbani, 1981, 1986; Galán & Lagarde, 1988; Galán, 1991). Las cuarcitas y areniscas están compuestas por granos de cuarzo unidos por un cemento, silíceo en el primer caso y carbonático en el segundo. La karstificación se produce básicamente por procesos de disolución intergranular (del cemento entre los granos de cuarzo, a lo largo del límite entre los cristales, y minoritariamente por disolución de los propios granos de cuarzo) y piping (tubificación). Una vez establecido el drenaje subterráneo, los conductos y vacíos iniciales pueden ser ampliados por procesos de disolución, erosión y colapso. La roca, inicialmente dura y compacta, se transforma en disgregable e incoherente a lo largo de las vías de penetración del agua (proceso de arenización), formándose a continuación por piping sistemas de simas y cavernas (y formas de superficie relacionadas). Así, la disolución actúa no sólo a través de fisuras, sino fundamentalmente por procesos de disolución del cemento intergranular.

En la arenisca de cemento carbonático la disolución se produce con mayor facilidad que en las cuarcitas de cemento silíceo, pero a la vez la roca puede disgregarse más fácilmente en arena, rebajando las superficies y contribuyendo a la erosión general, sin formar cavidades. Procesos incompletos de disolución y recementaciones (en el interior del acuífero intergranular) pueden a su vez generar una gran diversidad de geoformas (como los boxworks) y espeleotemas, en el interior de las cavidades.

Las areniscas de Ulía tienen además otras peculiaridades. Ya que se trata de turbiditas abisales, donde ingentes depósitos de arenas de antiguas plataformas continentales, deslizaron a lo largo del talud (corrientes de turbidez) emplazándose a profundidades abisales. Cada sucesiva avalancha submarina se alternaba con episodios de sedimentación más calma, de materiales finos y restos de organismos pelágicos, formando la secuencia sedimentaria denominada flysch o serie turbidítica (Mutti, 1985; Rosell, 1988). Estas secuencias alternan tramos de rocas duras (de arenisca o caliza) con otros de rocas blandas (lutitas y margas), a lo largo de un espesor considerable (superior a 1.000 m). La secuencia de edad Eoceno ha sido denominada Formación Jaizkibel (Campos, 1979) y se extiende a lo largo del litoral entre Hondarribia y Orio, estando constituida por estratos de arenisca intercalados con otros de lutitas y margas, menos resistentes y más disgregables. El espesor de los estratos de arenisca es también variable, existiendo zonas con estratificación delgada junto a otras donde la arenisca se presenta en estratos gruesos, de varios metros de potencia, y con intercalaciones menores de lutitas, por lo que prácticamente unos estratos se apoyan sobre otros formando paquetes de 20-50 m de espesor constituidos casi exclusivamente de arenisca. Es en estas zonas, donde predomina la arenisca en estratos gruesos, donde ocurren procesos de karstificación y espeleogénesis, con infinidad de cuevas, abrigos y geoformas (Galán et al, 2009).

Las cavidades que estudiaremos se encuentran en una de estas zonas con estratos gruesos casi continuos de arenisca, pero en un sector donde el dispositivo estructural es de fuerte buzamiento y disposición subvertical (Figuras 01 a 10). La infiltración en la zona superior sigue la estratificación y, junto a la acción basal de la erosión marina, produce el colapso lateral de los estratos gruesos, que se desprenden en grandes bloques paralelepípedicos, reabajados posteriormente por la erosión pluvial y el oleaje en la franja litoral. Predominan en consecuencia las cavidades desarrolladas a expensas de planos de estratificación, las cuevas de recubrimiento bajo grandes bloques de colapso y sistemas de pequeñas cuevas y mesocavernas en continuidad con las anteriores. Estas poseen así algunos rasgos singulares, diversas geoformas y una fauna mixta parcialmente cavernícola, propia de un ambiente gradacional entre el medio hipógeo marino y el terrestre.

MATERIAL Y MÉTODOS

La presente nota resume el resultado de prospecciones efectuadas en un sector del litoral de Ulía, de difícil acceso y por lo tanto prácticamente desconocido. En la exploración de cavidades se utilizaron diversas técnicas de escalada libre y espeleología vertical (cuerda estática y jumars), cascos con iluminación frontal de Leds, y material topográfico Suunto. Diversas muestras de roca y fauna fueron colectadas y estudiadas en laboratorio bajo microscopio binocular Nikon hasta 800 aumentos. El material faunístico fue preservado en alcohol etílico al 75% y se conserva en la Colección de Bioespeleología de la SCAranzadi. Fueron tomadas fotografías a color con una cámara digital (Canon PowerShot, de 16 megapíxeles de resolución), a fin de ilustrar los principales rasgos de las cavidades y su entorno. Varias muestras de espeleotemas fueron identificadas por sus propiedades físico-químicas y mediante comparación con otras muestras previamente estudiadas, procedentes de otras cuevas en la misma región y litología.

RESULTADOS

El flysch de arenisca de la Formación Jaizkibel ha sido interpretado como un depósito de sistemas turbidíticos en un profundo surco o cañón submarino (Kruit et al, 1972; Rosell, 1988; Mutti, 1985). 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).

La distribución de los materiales en el fondo de la cuenca Eocena adopta la forma de enormes conos de deyección, con disposición en abanico. Las descargas de arenas, procedentes del N, coexistían con aportes turbidíticos axiales alimentados desde el E. La cuenca Eocena corresponde a un surco alineado de E a W (a lo largo de lo que ahora son los Pirineos) donde las facies distales (profundas) se sitúan en la parte occidental (País Vasco). La edad de los materiales varía según los autores de Eoceno inferior a medio (Campos, 1979; Van Vliet, 1982; Rosell, 1988). Estos son los últimos sedimentos marinos depositados antes de la emersión del territorio y la orogénesis Pirenaica, la cual llevó a la configuración actual del País Vasco (como prolongación de la zona Norpirenaica francesa), sobre la placa tectónica Europea.

Los esfuerzos compresivos levantaron los estratos del flysch Eoceno en una estructura monoclinal con buzamiento generalizado hacia el N y deformaciones locales. La plasticidad de las rocas del flysch ha dado lugar así a un plegamiento desigual y enérgico, que en la zona de estudio adopta una disposición anómala, en parte debido a ocupar la extremidad de un abanico turbidítico afectado por fallamiento. Los estratos adoptan una disposición casi vertical, con buzamiento NE de 70° a 80° y azimut de las capas en la punta de Monpás hacia el NW, la cual cierra por el E el entrante de la playa de la Zurriola de Donosti.

CAVIDADES Y GEOFORMAS

El área de estudio se extiende desde la punta de Monpás hacia el entrante topográfico que le sigue hacia el Este, denominado informalmente Rincón del Búho, al cual le siguen otras puntas y entrantes menores hasta punta Atalaya (y luego Cala Murguita, en la parte central de Ulía). Todo este frente costero está recortado por puntas y acantilados, separados por abruptos interfluvios. Las puntas en general corresponden a tramos con estratos gruesos de arenisca, cuyo buzamiento va cambiando hacia el N, siguiendo la curvatura cóncava del abanico de turbiditas a medida que se avanza hacia el E.

El Rincón del Búho ocupa así el entrante topográfico situado inmediatamente al E de la punta de Monpás, con una disposición subvertical de los estratos. Todo el frente marino posee fuertes pendientes y acantilados, de 50 á 120 m de desnivel, según los puntos. En los flancos más abruptos afloran estratos gruesos de arenisca, desprovistos de vegetación; los estratos intercalados de lutitas son en general de muy poco espesor, decimétricos, constituidos por lutitas margosas grises, con cierto grado de pizarrosidad. Visto en planta, el entrante tiene la forma de una V abierta, con el lado W más largo, dado que se prolonga hasta la misma punta de Monpás, paralelo a la estratificación. Ese flanco posee un entrante en ángulo menor, que recorta los estratos verticales. En este recorte y en el fondo en V del rincón se aprecia desde lejos la excavación de las intercalaciones blandas, que forman altos abrigos inter-estratos, mientras el resto del flanco posee paredes lisas siguiendo los estratos más resistentes (Figuras 07 á 11).

Sobre esas paredes lisas, en la parte media de la ladera, a 50 m snm, existe una zona deprimida, menos pendiente, con varias dolinas, que actúan como zona de absorción de las precipitaciones. La infiltración en este sector, junto a la erosión marina basal (y la erosión normal), han meteorizado las rocas formando el entrante. La meteorización de la arenisca a lo largo de diaclasas y planos de estratificación, unida a procesos de descompresión mecánica, fragmenta los estratos individuales en bloques cúbicos y lienzos de varios metros de lado. Por acción de la gravedad y la erosión marina los bloques colapsan y caen hacia el mar, donde van siendo disgregados, generando escarpes en progresivo retroceso. Así se forma también una orilla intermitente compuesta por una franja de bloques desprendidos sobre una pequeña rasa mareal de la que destacan algunos estratos en punta, como afiladas cuchillas. Es en estas zonas, sometidas a la acción de las mareas y el oleaje, donde se presenta el mayor número de cavidades (Figuras 12 á 18). Con marea alta esta orilla de bloques casi desaparece, cubierta por las aguas, mientras que en marea baja aflora del agua una extensión mayor, donde existen numerosas cuevas de recubrimiento entre las acumulaciones de bloques. Así como otras, en la base de las paredes, que se desarrollan a lo largo de fracturas y planos de estratificación, fundamentalmente.

Los procesos de meteorización de las rocas son facilitados por tratarse de zonas de clima atlántico. Las lluvias están bien repartidas a lo largo del ciclo anual y alcanzan valores de 1.700 - 1.800 mm/a. El abrupto relieve del litoral está también muy expuesto a la acción del oleaje, muy potente en el Cantábrico, y a la acción de las mareas y temporales. La erosión marina remueve los materiales desprendidos y excava la base del terreno, generando acantilados y taludes en activo proceso de erosión y recorte, con frecuentes desprendimientos de rocas y retroceso de las pendientes.

El sector explorado resulta de difícil acceso terrestre. Pero puede recorrerse durante las bajamareas, siempre y cuando el oleaje ese día no sea muy fuerte. Nosotros recurrimos a utilizar cuerdas y técnicas verticales para el acceso a algunos puntos. De todos modos se trata de una franja litoral, con sistemas de cuevas, que quedan parcialmente inundadas en marea alta o son sometidas a la acción de las olas cíclicamente (Figuras 12 a 21).

Los sistemas de cuevas más extensos están constituidos por cuevas de recubrimiento entre las acumulaciones de grandes bloques (Figuras 12 y 17-18). Normalmente les sirve de techo algún gran bloque, decamétrico, apoyado o en contacto con otros menores. Con frecuencia presentan varias bocas, a distintos niveles, formando redes laberínticas, con pasos estrechos y ampliaciones. Algunas galerías, tubulares, han sido formadas por la erosión marina. Nosotros exploramos una docena de cuevas de este tipo, con desarrollos que van de 10 á 80 m y desniveles de hasta -15 m, existiendo un conjunto de cuevas menores o que se extienden bajo el nivel marino. Algunas de ellas, adosadas a las paredes, están en continuidad con pequeñas galerías y mesocavernas formadas por disolución intergranular en los estratos gruesos de arenisca de las paredes. También hay algunas que poseen circulaciones hídricas de escaso caudal, con pequeñas pozas y rellenos arenosos. La diferencia de altura de las mareas (de hasta 4,5 m) y el oleaje contribuyen a la acción erosiva (en las zonas más bajas).

Adicionalmente existen cuevas inter-estratos, que pueden alcanzar cierta amplitud, particularmente en altura. Estas se han formado por disolución y erosión entre planos de estratificación de la arenisca, por remoción y vaciado de intercalaciones delgadas de lutitas, o por una combinación de ambos procesos. La denominada Cueva del Búho, que alberga un manantial de agua dulce en una de las paredes de su galería interna, alcanza 20 m de desarrollo, y consta de una alta galería inter-estratos con suelo plano de pequeños cantos rodados (Figura 13). Otras cavidades forman entrantes prominentes (tras el recorte W y en el vértice del rincón), con bocas a distintas alturas, separadas por bloques de colapso empotrados entre las paredes (Figuras 15-16). En su base, inundada por las aguas marinas, llegan a alcanzar 20 m de longitud, constituyendo abrigos en penumbra.

El conjunto de cavidades (techadas) puede comprender 1 km de desarrollo, del cual el 80% corresponde a zonas en penumbra, mientras las galerías o zonas en oscuridad total suman unos 200 m. Pero esto ocurre a nivel de macrocavernas (con espacios subterráneos de un diámetro tal que permiten el acceso del ser humano). Para la fauna, el desarrollo de mesocavernas es mucho mayor. En consecuencia, se trata de un peculiar hábitat hipógeo, de extensión significativa, susceptible de ser poblado y utilizado por numerosas especies de hábitos cavernícolas, tanto terrestres como de agua dulce y marinas.



Figura 1. Imágenes de Google Earth del área de estudio, con la ciudad de San Sebastián al fondo. Vista desde el NE.



Figura 02. Estratos subverticales de arenisca y bloques de colapso en la punta de Monpás, litoral de Ulía.



Figura 03. Los estratos amarillentos de arenisca se pliegan y levantan verticalmente en la punta de Monpás, con diversas geoformas alveolares, laminaciones y estructuras de corriente.

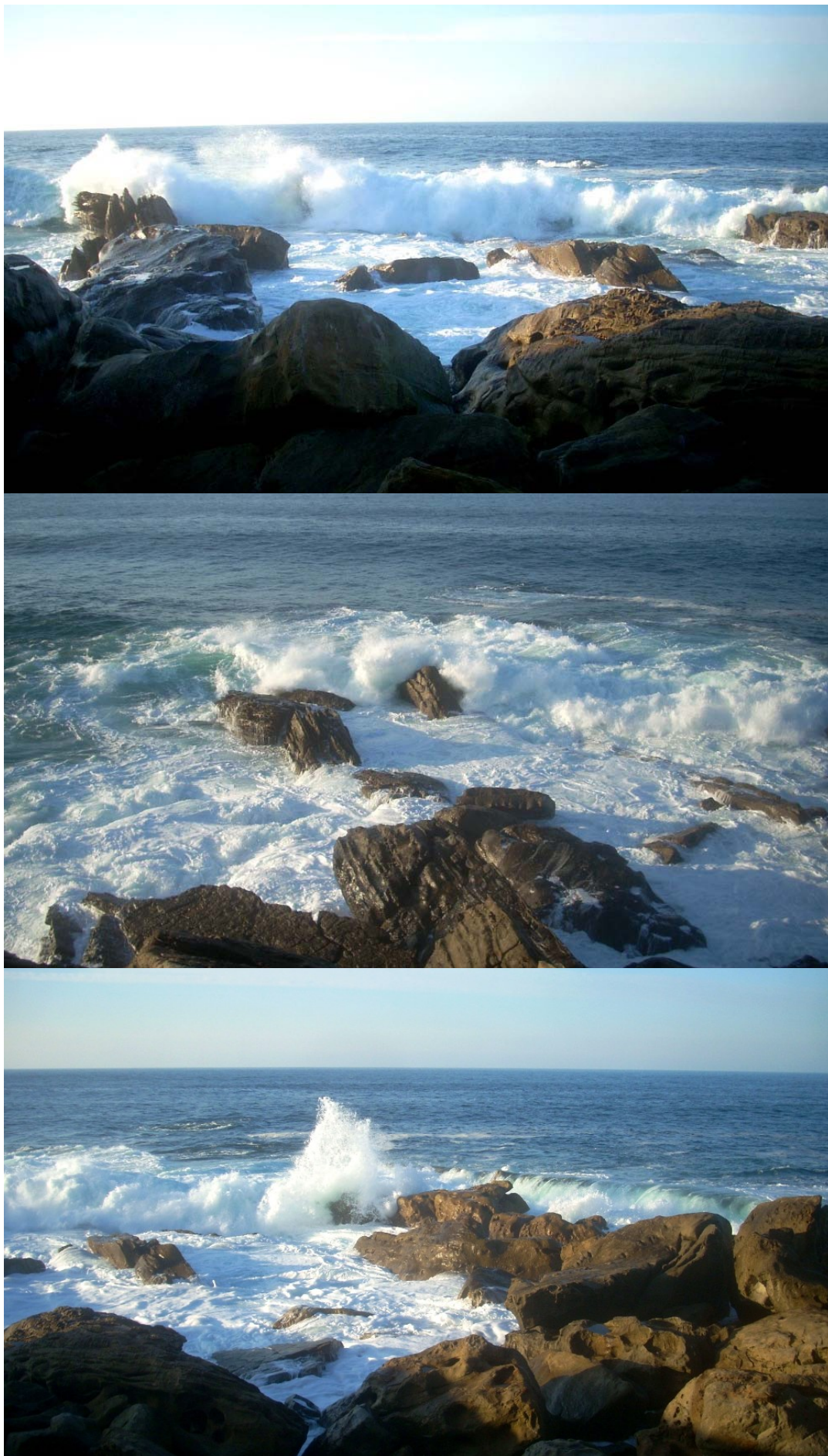


Figura 04. Franja litoral, donde las mareas y el oleaje ejercen su acción erosiva sobre las areniscas.



Figura 06. Tras la punta de Monpás se encuentra el entrante del Rincón del Búho, con prominentes acantilados, que superan los 100 m de desnivel. Los estratos van perdiendo inclinación hacia el E.

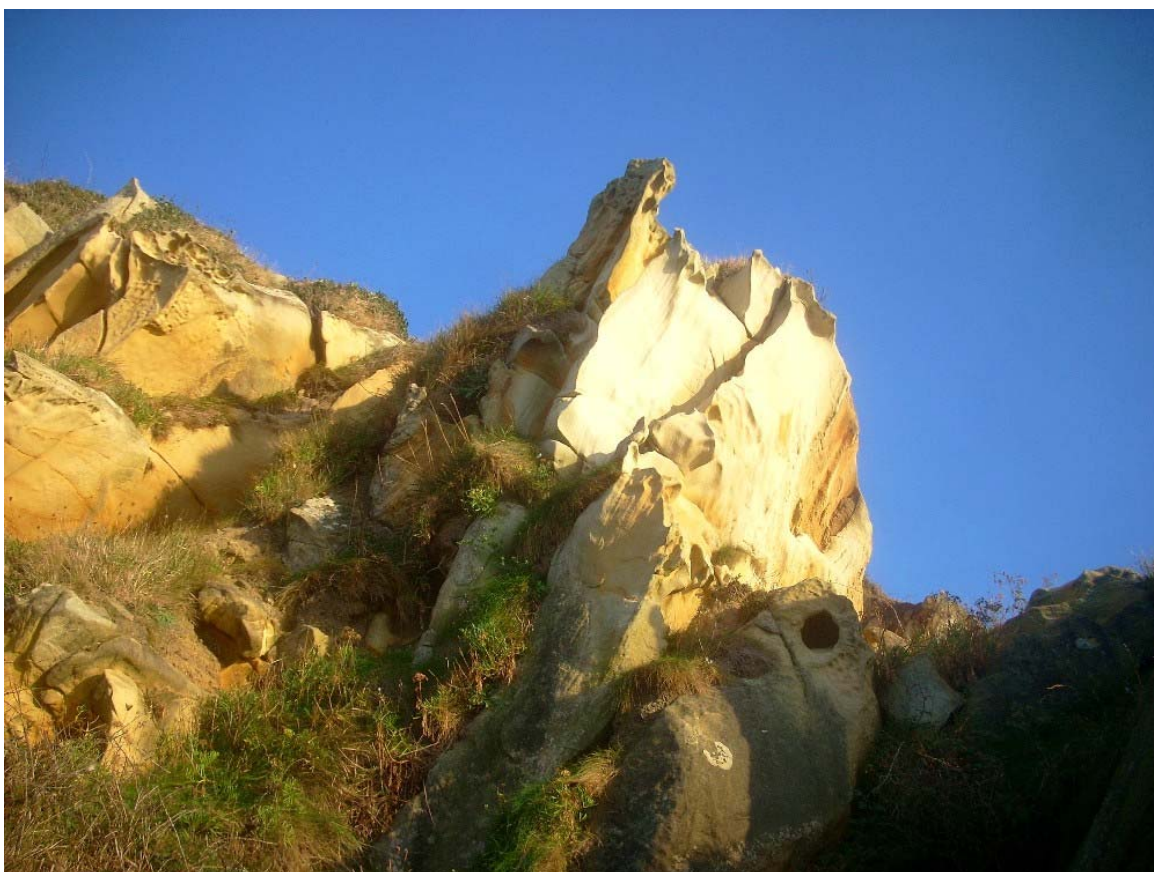


Figura 05. Los estratos de areniscas amarillas se elevan formando acantilados sobre la estrecha franja litoral. Un terreno abrupto y de difícil acceso, que alberga interesantes cavidades.



Figura 07. El Rincón del Búho, con una estrecha franja litoral de bloques, batida por el oleaje.



Figura 08. Ruta normal de acceso al litoral del Rincón del Búho en marea baja y con el mar en calma. Se aprecian las cavidades inter-estratos en el vértice del rincón y en el recorte central.



Figura 09. Detalle de la disposición de los estratos en el entrante central, desde la vía de descenso.



Figura 10. Paredes y grandes bloques, con sistemas de cuevas de recubrimiento en la zona litoral. En la imagen inferior se aprecia la cuerda de descenso en un tramo expuesto cuando está húmedo.

Este peculiar conjunto de cuevas de recubrimiento e inter-estratos es de trazado laberíntico, por lo que nos limitamos a hacer algunos croquis (sin plantearnos su topografía detallada) y a tomar fotografías de sus rasgos más prominentes o significativos: morfologías, presencia de espeleotemas o geoformas, datos faunísticos.

Entre las geoformas destaca la ocurrencia de distintos tipos de formas alveolares o celdas tipo "panal de abejas", incluyendo grandes boxworks. Estos generalmente se han formado en las caras inferiores y laterales de los grandes bloques desprendidos, que constituyen ahora el techo de algunas cuevas (Figura 17). También es frecuente encontrar concavidades semiesféricas, producto del vaciado de concreciones denominadas cannonballs (Figura 18). Estas "bolas de cañón" son concreciones de arenisca de igual composición que la roca-caja, pero con una más consistente cementación carbonatada, por lo que resultan más resistentes a la erosión (aunque no a la disolución intergranular). Por ello, con frecuencia resultan completamente removidas. En algunas cuevas del sector hallamos ejemplos de grandes cannonballs, de hasta 70 cm de diámetro, entre bloques menores en el suelo de las cuevas. En las paredes internas de las cuevas y en el suelo de bloques, en zona seca donde no alcanzan las mareas, son frecuentes finos dibujos en roca arenizada, formados por la laminación y forma ondulada de las estructuras de corriente que contiene la roca, con líneas de distinto colorido. Los dibujos son diversos y pueden resultar de gran belleza estética (Figura 19). En las zonas bajas tales rasgos no son visibles, ya que quedan enmascarados bajo recubrimientos de algas verdes y rojas, así como por crecimientos de organismos incrustantes y perforadores (fouling). En algunas cuevas existen también ejemplos de precipitación rítmica de óxidos de hierro conformando bandeados y anillos de Liesegang, así como vetas y recubrimientos con silicificaciones locales.

Encontramos también algunos ejemplos (en general raros) de espeleotemas y depósitos arenosos en zonas secas del interior de las cuevas. Las espeleotemas más frecuentes comprenden recubrimientos botroidales y pequeñas estalactitas de ópalo-A, de origen biogénico, formadas por precipitación de la sílice disuelta por el agua intergranular. También hay ejemplos de espeleotemas de oxi-hidróxidos de hierro y silicatos de aluminio formando costras milimétricas, de colores ocre-oscuro y blanco, respectivamente. En zonas habitualmente inundadas por agua marina existen así mismo depósitos rugosos de carbonatos, formados por organismos incrustantes (principalmente cirrípedos y poliquetos). En diverso grado, difícil de elucidar, las espeleotemas encontradas pueden tener un origen biogénico o estar mediadas por la actividad metabólica de diferentes microorganismos, que habitan en las aguas intergranulares que percolan a través de la arenisca. Unos rasgos, por consiguiente, singulares.

FAUNA HIPÓGEA

En este sector del litoral habita una colonia numerosa de gaviotas, que tienen sus posaderos y nidos en relieves escarpados de los acantilados. Con frecuencia se alimentan de detritos arrojados por el mar sobre las rocas y predan sobre diversos invertebrados, especialmente cangrejos. Este detalle es sólo para referir que las preferencias de los cangrejos para frecuentar oquedades y cuevas de recubrimiento en parte pueden obedecer a que a su vez les brindan refugio contra la predación. El nombre de "Rincón del Búho" y "Cueva del Búho" puede dar la equivocada impresión de que habitan búhos en estas cavidades, pero esto no ocurre. Sí obedece a que varias veces en horas nocturnas se ha detectado la presencia de cárabos (*Strix aluco*) en una vaguada del bosque superior, en la cota 150 m snm, donde son abundantes los topillos y roedores, que excavan sus galerías en el suelo, pero que no hemos observado en la zona litoral de bloques y paredes de roca, desprovista de suelos y vegetación.

De la fauna de vertebrados terrestres que utilizan cuevas sólo encontramos en una cavidad la presencia del murciélago pequeño de herradura *Rhinolophus hipposideros* (Chiroptera: Rhinolophidae).

Las prospecciones efectuadas en los sistemas de cuevas en la arenisca han revelado, en cambio, la presencia de muchas especies de invertebrados. En cavidades en la zona intermareal son muy abundantes los cirrípedos Thoracica, principalmente dientes de perro (*Balanus*) y percebes (*Pollicipes cornucopia*), varias especies de cangrejos Grapsidae (*Pachygrapsus marmoratus*) y Portunidae (*Portunus puber*), entre otros, y moluscos marinos, como lapas *Patella vulgaris* (Patellidae) y diversos caracoles litorales (Littorinidae, Trochidae, Turbinidae). En realidad se trata de fauna común de las rocas del litoral marino, y no puede considerarse cavernícola, ya que no presenta adaptaciones para la vida hipógea. No obstante penetra en la zona de penumbra, y en el caso de los percebes y cangrejos incluso en zonas de oscuridad total o muy acentuada (Figura 21).

Por encima del nivel de marea alta, en galerías en zona oscura, hemos hallado una fauna litoral de isópodos *Ligia oceanica* (Ligiidae), *Sphaeroma serratum* (Sphaeromatidae), moluscos prosobranquios (de los géneros *Littorina* y *Thais*); poliquetos perforantes Terebellidae (*Terebella lapidaria*) y algunos más raros poliquetos errantes de la familia Nereidae.

En el ambiente hipógeo terrestre más alejado del mar (y por encima del alcance de las olas) se encuentran diversas especies de aráneos, opiliones, y dípteros, así como especies troglófilas de tisanuros Zygentoma Lepismatidae e isópodos *Porcellio scaber* (Oniscidae). Este ambiente es progresivamente más oscuro e isotérmico a medida que se profundiza y puede equipararse al biotopo litoclásico de las fisuras del lapiaz en caliza. Contiene así una fauna transicional entre los biotopos marinos y terrestres epígeos y los propiamente cavernícolas o hipógeos.

La fauna acuática estudiada fue colectada por filtrado y tamizado de sedimentos de un pequeño caudal de agua subterránea, en zona oscura, procedente de una mesocaverna con rellenos de arena y grava. Su análisis microscópico permitió detectar la ocurrencia de varias especies de crustáceos, integrantes de la meiofauna hipógea e intersticial. Entre ellas identificamos las siguientes: juveniles de anfípodos *Echinogammarus berilloni* (Gammaridae), copépodos *Paracyclops fimbriatus*, *Megacyclops viridis* (ambos Cyclopidae), otras especies planctónicas indeterminadas, y diminutos y raros mystacocáridos del género *Derocheilocaris* (psb. *Derocheilocaris remanei biscayensis* Delamare-Deboutteville, 1953), de 0,5 mm de talla. Esta última es una especie intersticial marina, pero tolera bien aguas salobres y mixohalinas.

El pequeño caudal, surgente, corresponde a un acuífero subterráneo de agua dulce en la arenisca (por fisuras e intergranular), que contiene sedimentos arenosos, pero que en su zona baja puede recibir aportes de agua de mar durante las pleamares vivas o por salpicaduras del oleaje, drenando en aguas bajas una mezcla salobre. Ello explicaría así la ocurrencia de especies de anfípodos y copépodos dulceacuícolas, junto a representantes marinos, que en todos los casos toleran variaciones de la salinidad.

Un comentario especial merece el hallazgo de mystacocáridos. Los Mystacocarida son una subclase de crustáceos, cercana a los copépodos, raros y con rasgos primitivos. La subclase se compone de una única familia (Derocheilocaridae) con sólo 13 especies en el mundo (agrupadas en dos géneros: *Ctenocheilocaris* y *Derocheilocaris*). Sólo dos especies de *Derocheilocaris* están representadas en Europa y una en la península Ibérica: *D. remanei*. La especie fue descrita de la playa de Canet, cercana a Perpignan, Francia, y fue encontrada posteriormente en el Mediterráneo (Mallorca y Sitges) y en el litoral atlántico de Las Landas (Francia), Portugal y costa atlántica africana, pero en localidades muy separadas espacialmente. La población de las Landas (golfo de Gascogne) fue descrita como una subespecie (*D. remanei biscayensis*), diferenciada de la forma típica (*D. remanei remanei*) (Delamare Deboutteville, 1954, 1957, 1960; Delamare Deboutteville & Chappuis, 1951, 1954; Delamare Deboutteville et al, 1954).

Se trata de crustáceos diminutos, de cuerpo vermiforme, que viven en el medio intersticial en depósitos arenosos litorales y sublitorales, generalmente en playas costeras exteriores (Figura 22). Se alimentan de microalgas y bacterias que viven en la superficie de los granos de arena. El movimiento de sus apéndices bucales les permite también capturar partículas orgánicas en los espacios intersticiales. Habitan en la zona profunda de la arena hasta varios metros hacia el interior de la línea de bajamar, donde el agua de mar penetra en marea alta, pero a menudo los individuos están por encima del nivel freático (durante la marea baja), entre el cual percola el agua de lluvia y/o flujos de aguas subterráneas de agua dulce. También han sido dragados de fondo marinos arenosos a 20 m de profundidad. Los mystacocáridos cavan y se desplazan con sus antenas en este medio, subterráneo, sin salir de él. Las cavidades en la arenisca de Ulía también contienen depósitos arenosos. Igualmente, los fondos marinos del Rincón del Búho son principalmente de arena y someros (5-10 m de profundidad). Existe por tanto una continuidad de biotopos intersticiales oscuros (subterráneos y submarinos) que pueden permitir el desplazamiento hacia el afloramiento de arenisca del flysch, sea de huevos, estados larvarios o adultos, en zona oscura.

Este medio transicional, en contacto con la roca de los acantilados costeros, constituye un micro-ecosistema con condiciones comparativamente adversas y extremas, donde existe una continuidad entre el medio intersticial y crevicular de los fondos marinos con el medio hipógeo continental, constituyendo la vía más frecuentemente utilizada para colonizar las aguas dulces subterráneas del karst por los ancestros de la fauna stygobia o troglobios acuáticos, que en su mayoría son de origen marino directo. En Gipuzkoa tenemos ejemplos comparables en isópodos acuáticos Sphaeromatidae y Jaeridae.

Sphaeroma hookeri es una especie típica de aguas salobres, citada por Margalef & Balcells (1951) de un meandro de agua salobre en San Sebastián y posteriormente encontrada en la Cueva de Unanue, cuyo río subterráneo es alimentado por el Sumidero de Matxitxu (a escasos 4 km de Ondarreta, San Sebastián) (Galán, 1993). Es conocida de lagunas salobres del litoral mediterráneo occidental y del atlántico europeo. Se alimenta principalmente de detritos vegetales y es considerada una forma troglófila. La familia Jaeridae (antes Janiridae) incluye a la especie troglófila *Jaëra ortizi*, descrita por Margalef (1953) de un riachuelo sobre sustrato calizo en un pequeño macizo kárstico próximo a Pasaia. En el mismo también habitaba el anfípodo *Echinogammarus berilloni*. En opinión de Margalef las especies de *Jaëra* observadas en la península ibérica (*J.ortizi* y *J.balearica*, esta última de Mallorca) se pueden considerar derivadas de la especie marina *J.nordmanni* (Rathke), de la cual difieren muy poco. Henry (1981) colecta una especie indeterminada de *Jaëra*, afín a *J.nordmanni*, en la Cueva de las Brujas (Zugarramurdi, Navarra), probablemente atribuible a *J.ortizi*, la cual constituye así un endemismo vasco, sólo conocida de las localidades citadas. Estos casos, como el de Mystacocarida, ilustran muy bien el proceso de colonización del medio kárstico a partir de elementos marinos.

El conocimiento sobre los Mystacocarida es aún parcial, ya que a pesar de su amplia distribución, son conocidos de pocas localidades. Ha sido escrito mucho sobre su ecología y algunos aspectos de su biología (Delamare Deboutteville, 1960; Hessler, 1971; Pretus, 1991). Los Mystacocarida tienden a ser descritos como organismos puramente intersticiales de playas arenosas intermareales o sin mareas. En las primeras se concentran a nivel de marea alta a media y en las segundas son más abundantes donde las olas remojan y se sumen en la arena. Viven a salinidades desde 5 a 40 ‰ y a temperaturas entre 0°C y 25°C. Aunque predominan en arenas silíceas, bien escogidas, de grano medio a grueso, también han sido hallados en arenas compuestas primariamente por carbonato de calcio con muy bajo coeficiente de selección. Así como en arenas sublitorales. La inhabilidad para explicar su rara y espaciada distribución, así como su ausencia de muchas playas que reúnen condiciones aparentemente deseables, indican nuestra ignorancia sobre los factores de control ambientales. Los ciclos de vida de *D.remanei* y *D.typicus* han sido documentados en detalle: en ambos casos el desarrollo es gradual, comenzando con un nauplius o metanauplius muy parecido



Figura 11. En marea baja con el mar en calma puede accederse a varias cuevas y mesocavernas en la franja litoral.



Figura 12. Sistemas de cuevas de recubrimiento, entre grandes bloques de colapso.

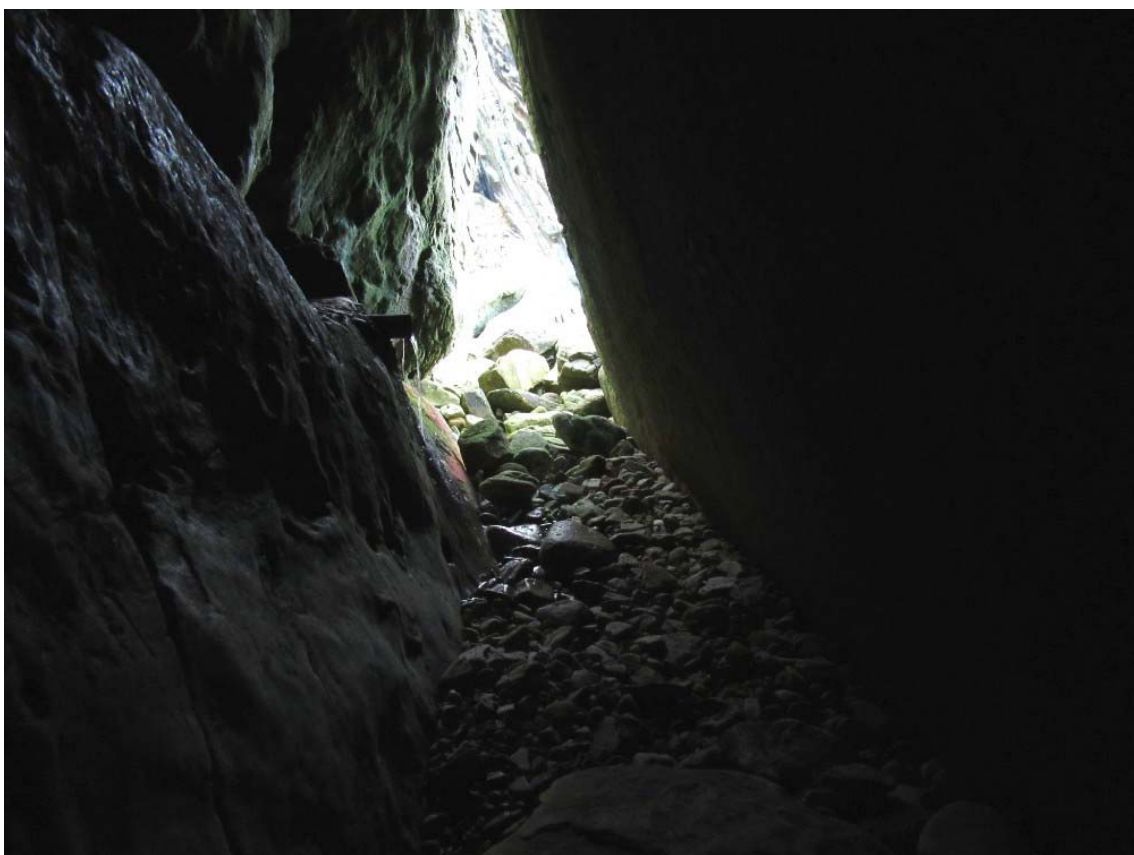


Figura 13. Cuevas de recubrimiento bajo grandes (arriba) e interestratos (Cueva del Búho) (imagen inferior), con una surgencia de agua dulce en el interior de la cavidad.



Figura 14. Incrustaciones biológicas (fouling) y recubrimientos de algas verdes y rojas en cavidades en zona litoral.



Figura 15. La franja litoral del Rincón del Búho, con cuevas interestratos y de recubrimiento, puede recorrerse en marea baja si el mar está en calma. En estas cuevas habita una fauna variablemente cavernícola, con especies de invertebrados terrestres, de agua dulce y marinos.



Figura 16. Entrante topográfico tras la punta de Monpás, con simas y cuevas interestratos, con marea baja.

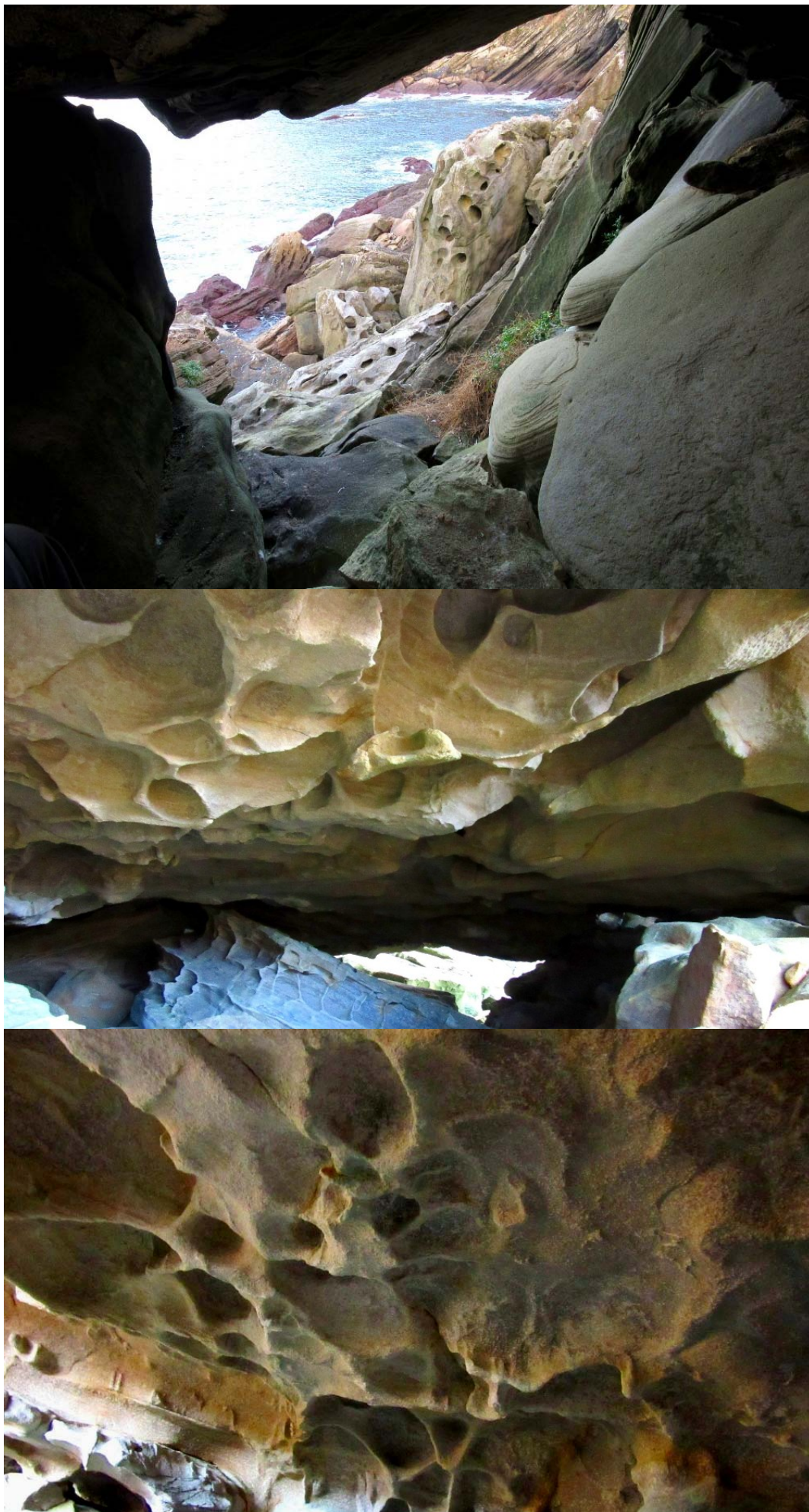


Figura 17. En el interior de algunas cuevas, la arenisca presenta geoformas, tal como grandes boxworks.

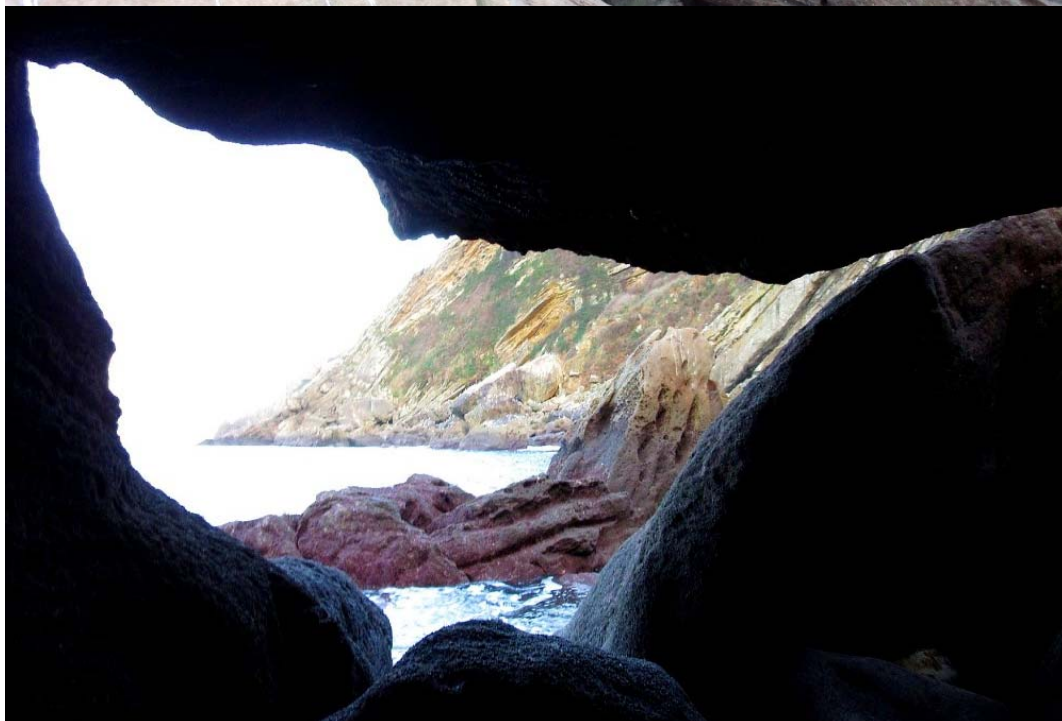


Figura 18. Bloques y cavidades con geofomas (concauidades producto del vaciado de concreciones) y canonballs sueltos, de hasta 70 cm de diámetro, en su interior, donde alcanza la acción del oleaje.



Figura 19. Geoformas en el interior de cavidades en zona seca, donde no llega el mar. Hay pequeñas espeleotemas de ópalo-A y silicatos de aluminio amorfo (arriba), laminaciones y anillos de Liesegang, con diversas concreciones de óxidos de hierro (centro y debajo).



Figura 20. La costa, incluso en marea baja, resulta a menudo batida por el fuerte oleaje del Cantábrico.



Figura 22. Los percebes (crustáceos cirrípedos *Pollicipes cornucopia*) son muy frecuentes en este tipo de cavidades, en la zona intermareal, habitando incluso en zonas de oscuridad total.

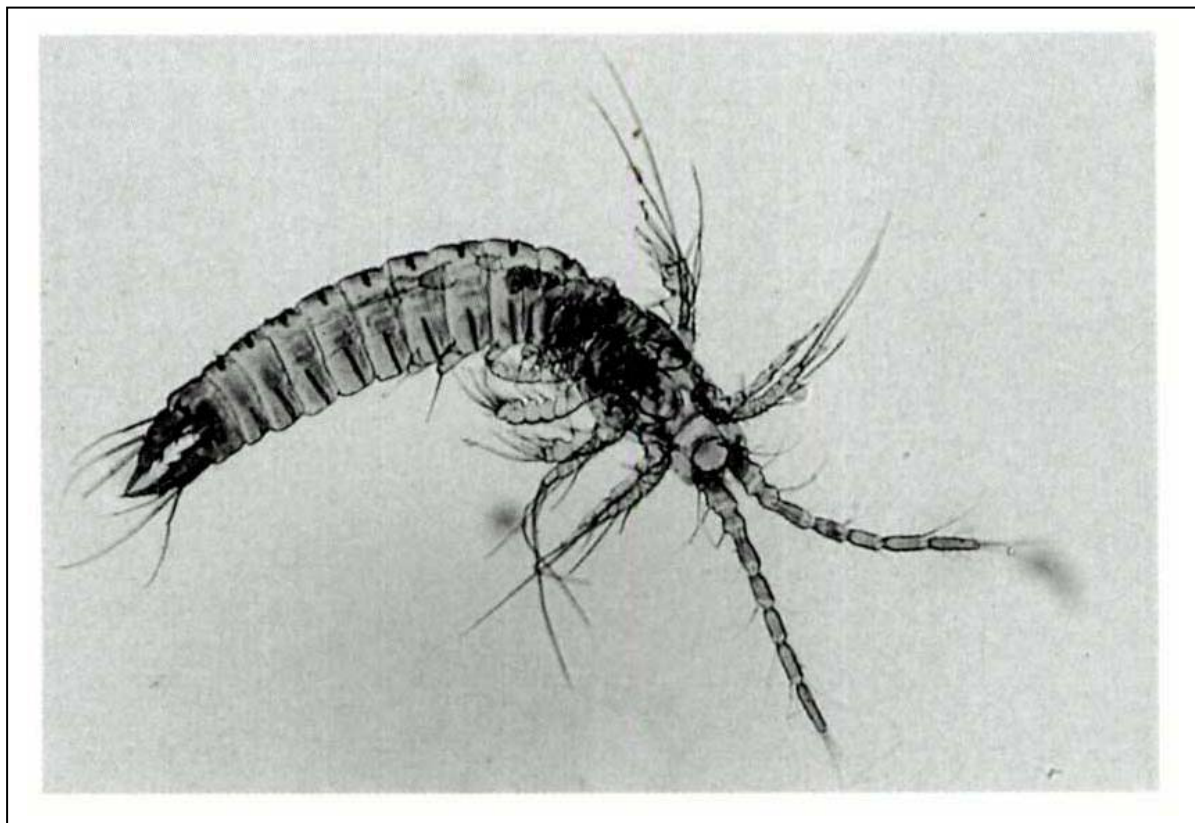
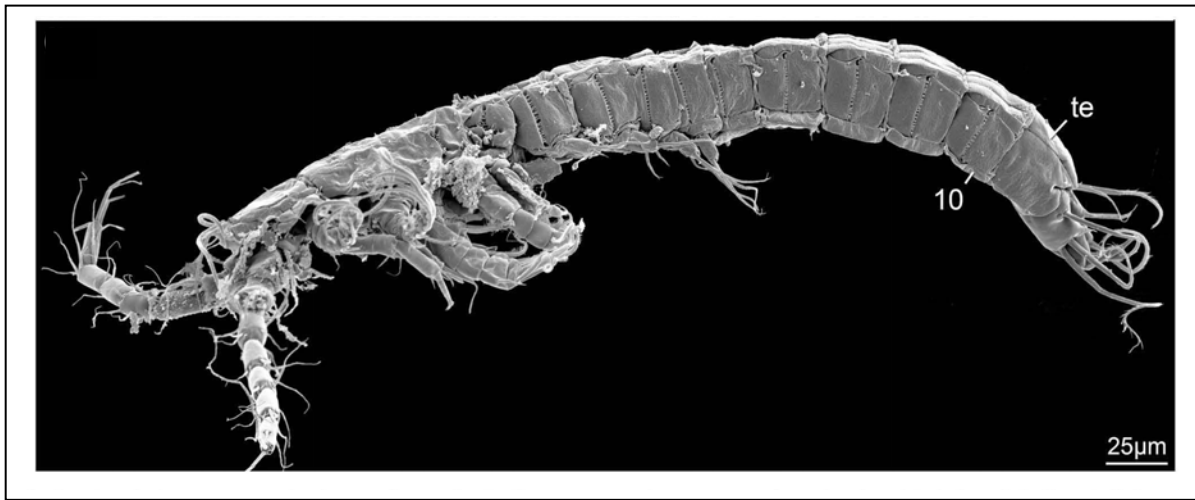


Figura 22. *Derocheilocaris remanei* Delamare & Chauppis, 1951. Vista latero-dorsal con microscopio electrónico (imagen superior). 10 = segmento décimo del tronco, anterior al telson (= te). Fuente: Haug et al, 2011. Vista ventral con microscopio óptico, preparación teñida, original x500. LT = 0,5 mm (imagen inferior). Fuente: Pretus, 1991.

al adulto. Los huevos son proporcionalmente grandes, como indica su gran tamaño en el cuerpo de la hembra, pero como son soltados libremente en el ambiente, ninguno ha sido identificado en su estado libre. Se ha descrito la morfología del esperma, la gametogénesis, y su tasa de crecimiento, que es baja. La reproducción puede ser continua o estacional, dependiendo del clima. Un reciente trabajo de Haug et al (2011) documenta en detalle el desarrollo postembrionario de *D.remanei*, describiendo nueve estadios y mostrando su gran parecido con la especie transatlántica hermana *D.typicus*. Esto implica que no sólo la morfología adulta de los Mystacocarida es marcadamente conservativa, sino también la secuencia larval. Con respecto a su sistema de alimentación, los mystacocáridos tienen un aparato alimentador que incluye el primer par de extremidades torácicas, modificadas como maxilípedos, los cuales colaboran con las maxilulas y maxilas en el proceso de alimentación. Este sistema es en muchos aspectos y detalles muy similar al de los Copepoda y a los del taxón Cámbrico *Skara*, lo que sugiere un relacionado parentesco entre estos tres taxa. Los Mystacocarida representan así, entre los crustáceos, un taxón enigmático en distintos sentidos. Algunos autores consideran que los Mystacocarida exhiben una condición plesiomórfica en muchos caracteres (Brenneis & Richter, 2010), mientras que para otros la forma especial del aparato alimentador es considerada como una autopomorfía de un taxón que comprendería Mystacocarida, las formas fósiles del Cámbrico *Skara*, y Copepoda (Haug et al, 2011).

En nuestra opinión, muchos de los caracteres, tanto de Mystacocarida como de otros grupos hipógeos e intersticiales, son debidos a cambios paedomórficos y neoténicos producto de su adaptación para desenvolverse en un medio hipógeo intergranular, donde son frecuentes las simplificaciones morfológicas y la conservación de rasgos primitivos (Galán, 2002, 2010; Galán & Herrera, 1998). Tales rasgos morfológicos están a su vez relacionados con cambios en los patrones de desarrollo y en la estrategia de vida, y resultan adecuadamente explicados por el conservatismo y fuerte integración de los programas de desarrollo. La rareza de los Mystacocarida guarda así una estrecha relación con el troglomorfismo mostrado por otros grupos de stygobios y se muestra como un proceso epigenético, donde el cambio heterocrónico por neotenia representa el extremo del cambio evolutivo coordinado. Su hallazgo en cuevas en el Rincón del Búho agrega un nuevo biotopo hipógeo, a los previamente conocidos.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El área de estudio, sus cavidades y geoformas, pueden considerarse fenómenos kársticos, algo atípicos, en arenisca. En su forma clásica el karst se caracteriza por constituir un sistema de drenaje subterráneo, en el que intervienen procesos hidrogeológicos asociados a condiciones morfogenéticas, con el resultado de que se genera una estructura subterránea y a la vez una morfología de superficie asociada (Bakalowicz, 1982). Ya hemos visto que estas circunstancias concurren en la Formación Jaizkibel donde se encuentran paquetes de estratos gruesos de arenisca, como es este caso. En la parte superior del sector hay depresiones y dolinas donde el agua de las precipitaciones se infiltra, y existen circulaciones hídricas y drenajes subterráneos que emergen en la zona basal.

Pero los rasgos del flysch (con intercalaciones de otras litologías) y la verticalidad de los estratos, determinan que los procesos dominantes, que comandan el modelado del relieve local, se deban fundamentalmente a procesos de erosión normal y marina, y a procesos de descompresión mecánica de la roca. El papel que juegan la disolución intergranular de la arenisca y los procesos de tubificación o piping, serían secundarios o subordinados, contribuyendo a debilitar y separar los estratos de arenisca más que a la excavación de galerías y conductos. No obstante, sin duda están presentes e influyen en la creación de espeleotemas y geoformas.

Las principales cavidades presentan así rasgos estructurales y/o se desarrollan como cuevas de recubrimiento entre los rellenos de bloques. Estos rasgos atípicos generan no obstante un ambiente hipógeo, en zona litoral, de considerable extensión, y que por ello constituye un hábitat susceptible de ser utilizado y poblado por muy diversos organismos, como hemos visto antes.

En nuestra opinión, resulta interesante por ejemplo la presencia de copépodos y mystacocáridos, de agua dulce y marinos, tolerantes a las variaciones de salinidad. Y este es uno de los mecanismos y vías de colonización utilizadas por distintos grupos de troglobios acuáticos para colonizar las aguas dulces subterráneas continentales a partir de ancestros thalasso-stygobios, de origen marino. La ecología de estos ambientes resulta interesante por sus singularidades y puede poner sobre la pista de otros procesos, geológicos y biológicos, poco conocidos, e interesantes en ecología y evolución.

A pesar de las modestas dimensiones de estas cavidades, podemos concluir que reúnen diversos rasgos de interés científico, que se agregan a los ya conocidos sobre fauna hipógea y karstificación en las areniscas Eocenas de la Formación Jaizkibel.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Carolina Vera Martín y Luis Viera (SCA) por su colaboración en el análisis de algunas muestras de roca y espeleotemas utilizadas para comparación. A Franco Urbani (SVE) por sus observaciones sobre espeleotemas en cavidades de arenisca de otras localidades de la Formación Jaizkibel y espeleogénesis en cuarzo-arenitas. A dos revisores anónimos de la SCA y SVE por sus observaciones y útiles sugerencias.

BIBLIOGRAFIA

- Bakalowicz, M. 1982. La genèse de l'acuífère karstique vue par un géochimiste. *Karst Larra* 82; Publ. Serv. Geol. Dip. Navarra: 159-174.
- Brenneis, G. & S. Richter. 2010. Architecture of the nervous system in Mystacocarida (Crustacea). An immunohistochemical study and 3D reconstruction. *Journal of Morphology* 271: 169-189.
- Campos, J. 1979. Estudio geológico del Pirineo vasco al W del río Bidasoa. *Munibe*, S.C.Aranzadi, 31(1-2): 3-139.
- Delamare Deboutteville, C. 1954. L'ecologie du Mystacocaride *Derocheilocaris remanei* f. *biscayensis* Delamare sur la cotes du Golfe de Gascogne. *Vie et Milieu*, 5:310-329.
- Delamare Deboutteville, C. 1957. Le Mystacocaride *Derocheilocaris biscayensis* sur les cotes du Portugal. *Vie et Milieu*, 8:110.
- Delamare Deboutteville, C. 1960. Biologie des eaux souterraines littorales et continentales. Hermann, Paris. 740 p.
- Delamare Deboutteville, C. & P. A. Chappuis. 1951. Presence de l'ordre des Mystacocarida Pennak et Zinn dans le sable des plages du Roussillon: *Derocheilocaris remanei* n. sp. *Comptes Rendus de l'Academie des Sciences*, series D, 233: 437-439.
- Delamare Deboutteville, C. & P. A. Chappuis. 1954. Morphologie des Mystacocarides. *Archives de Zoologie Exp. et Gen.*, 91:7-24.
- Delamare Deboutteville, C.; S. Gerlach & R. Siewing. 1954. Recherches sur la faune des eaux souterraines littorales du Golfe de Gascogne. *Littoral des Landes. Vie et Milieu*, 5:373-407.
- Galán, C. 1991. Disolución y génesis del karst en rocas silíceas y rocas carbonáticas: un estudio comparado. *Munibe (Ciencias Naturales)*, S.C.Aranzadi, 43: 43-72.
- Galán, C. 1993. Fauna Hipógea de Gipuzcoa: su ecología, biogeografía y evolución. *Munibe (Ciencias Naturales)*, S.C.Aranzadi, 45 (número monográfico): 1-163.
- Galán, C. 2002. Biodiversidad, cambio y evolución de la fauna cavernícola del País Vasco. Gobierno Vasco, Departamento de Ordenación del Territorio y Medio Ambiente, Viceconsejería de Ordenación del Territorio y Biodiversidad: 56 pp + 17 fig + 20 láminas color. Página web: aranzadi.sciences.org, archivo PDF: 64 pp.
- Galán, C. 2010. Evolución de la fauna cavernícola: mecanismos y procesos que explican el origen de las especies troglobias. Página web: aranzadi.sciences.org, archivo PDF: 31 pp.
- Galán, C. & J. Lagarde. 1988. Morphologie et évolution des cavernes et formes superficielles dans les quartzites du Roraima. *Kartologia*, 11-12: 49-60.
- Galán, C. & F. Herrera. 1998. Fauna cavernícola: ambiente, especiación y evolución (Cave fauna: environment, speciation and evolution). *Bol. Soc. Venezol. Espeleol.*, 32: 13-43.
- 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.
- Haug, J.T.; J. Olesen; A. Maas & D. Waloszek. 2011. External morphology and post-embryonic development of *Derocheilocaris remanei* (Mystacocarida) revisited, with a comparison to the Cambrian taxon *Skara*. *Jour. of Crustacean Biology*, 31(4): 668-692.
- Henry, J. 1981. Présence de Jaëra (Isopoda, Asellota, Janiridae) dans le milieu cavernicole. *Proc.8th Inter. Congr. Speol.*, Bowling Green, 670-671.
- Hessler, R.R. 1971. Biology of the Mystacocarida: A prospectus. In: Hulings, N.C., ed. *Proceeding of the First Internat. Conference on Meiofauna*. Smithsonian Contributions to Zoology, 76: 87-90.
- Kruit, C.; Brouwer, J. & P. Ealey. 1972. A Deep-Water Sand Fan in the Eocene Bay of Biscay. *Nature Physical Science*, 240: 59-61.
- Margalef, R. 1953. Los crustáceos de las aguas continentales ibéricas. *Inst. Forest. Invest. Exp., Minist. Agr., Madrid*, 10: 1-243.
- Margalef, R. & E. Balcells. 1951. Crustáceos interesantes de las aguas salobres de Guipúzcoa. *Munibe*, 2: 2 p.
- 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.
- Pretus, J. L. 1991. Contribució al coneixement de la fauna intersticial litoral. Presencia de mistacocarides (Crustacea) a l'illa de Mallorca. *Butlleti de la Institució Catalana d'Historia Natural (Zoologia)*, 60: 113-119.
- 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.
- Urbani, F. 1981. Karst development in siliceous rocks, Venezuelan Guiana Shield. *Proc. 8th Inter. Congr. Speol.*, 2: 548.
- Urbani, F. 1986. Notas sobre el origen de las cavidades en rocas cuarcíferas precámbricas del Grupo Roraima, Venezuela. *Interciencia*, 11(6): 298-300.
- Van Vliet, A. 1982. Submarine fans and associated deposits in the Lower Tertiary of Guipúzcoa (Northern Spain). *Thesis Doct. Univ. Utrecht, Netherlands*, 180 pp.