¿Geología o Paleontología? Las concreciones esféricas con perforaciones tubulares: Nuevos ichnotaxa de Paramoudras (Pseudokarst en arenisca del flysch Eoceno, Jaizkibel, Gipuzkoa)

¿Geology or Palaeontology? The spherical concretions with tubular drillings: New ichnotaxa of Paramoudras (Pseudokarst in sandstone in the Eocene flysch, Jaizkibel, Gipuzkoa)

Carlos GALAN [1] **& Michel MOLIA** [1, 2]
[1] Sociedad de Ciencias Aranzadi. Alto de Zorroaga. E-20014 San Sebastián - Spain.
E-mail: cegalham@yahoo.es
[2] 4 ch. du grand basque. 64100 Bayonne - France.
E-mail: michel.molia@free.fr
(Agosto 2008)

Con la colaboración de: **José RIVAS** [1]**; Marian NIETO** [1] **& Carlos OYARZABAL**[1]

¿GEOLOGÍA O PALEONTOLOGÍA? LAS CONCRECIONES ESFÉRICAS CON PERFORACIONES TUBULARES: NUEVOS ICHNOTAXA DE PARAMOUDRAS (PSEUDOKARST EN ARENISCA DEL FLYSCH EOCENO, JAIZKIBEL, GIPUZKOA)

¿Geology or Palaeontology? The spherical concretions with tubular drillings: New ichnotaxa of Paramoudras (Pseudokarst in sandstone in the Eocene flysch, Jaizkibel, Gipuzkoa)

Carlos GALAN [1] **& Michel MOLIA** [1, 2]
[1] Sociedad de Ciencias Aranzadi. Alto de Zorroaga. E-20014 San Sebastián - Spain.
E-mail: cegalham@yahoo.es
[2] 4 ch. du grand basque. 64100 Bayonne - France.
E-mail: michel.molia@free.fr
(Agosto 2008)

Con la colaboración de: **José RIVAS** [1] **; Marian NIETO** [1] **& Carlos OYARZABAL** [1].

RESUMEN

Se describen varios tipos de concreciones esféricas y cilíndricas con perforaciones tubulares en arenisca cuarzosa de cemento carbonático de la Formación Jaizkibel (flysch costero Eoceno de Gipuzkoa). Las concreciones son frecuentes en un pseudokarst desarrollado en la arenisca, pero en este caso presentan perforaciones y estructuras tubulares conspicuas. Su morfología es descrita basada en observaciones de su aspecto externo y cortes -naturales y experimentales-. Las geoformas son Paramoudras que contienen ichnofósiles de pogonóforos (Pogonophora) y poliquetos marinos (Annelida: Polychaeta). Se discute su probable origen, características y bioichnología, así como su relación con otras geoformas en esta litología.

Palabras clave: Paramoudras, pseudokarst, arenisca, concreciones, geología, biología, ichnología, geoformas.

ABSTRACT

Different kinds of spherical and cylindrical concretions with tubular drillings in quartzitic sandstone of carbonatic cement of the Jaizkibel Formation (coastal Eocene flysch of Gipuzkoa) are described. Concretions are frequent in a pseudokarst developed in sandstone of the Jaizkibel Formation, but in this case these concretions present conspicuous tubular drillings and structures. Their morphology is described based on observations of the external look and natural and experimental sections. The geoforms are Paramoudras, which contain ichnofossils of pogonophores (Pogonophora) and marine polychaetes (Annelida: Polychaeta). Their probable origin, characteristics and bioichnology, as well as their relationship with other geoforms in this lithology are discussed.

Key words: Paramoudras, pseudokarst, sandstone, concretions, geology, biology, ichnology, geoforms.

INTRODUCCION

En algunos de los estratos más compactos de arenisca del flysch Eoceno son frecuentes tramos con concreciones esféricas que forman bolas de arenisca, aparentemente más dura y de variable diámetro, desde unos pocos hasta más de 70 cm. Estas son conocidas en la literatura geológica como “cannonball formations” y en el flysch Eoceno de Gipuzkoa han sido reportadas desde fechas tempranas (Ver p.ej.: JEREZ et al., 1971; CAMPOS, 1979). Estas bolas de arenisca, de morfología más o menos esférica u ovoide, quedan en relieve en los acantilados y lajas costeras; al avanzar la erosión normal y marina son desagregadas de los estratos de arenisca, hasta quedar casi sueltas, de modo que caen por gravedad y se acumulan en la plataforma litoral o bien son completamente removidas por las olas. En superficie y en los escarpes pueden quedar en relieve positivo, otorgando a la roca un aspecto de nougat de avellanas (noisettes), o bien pueden generar oquedades, producto de su vaciado, con aspecto de queso gruyère.

Cabe señalar que su morfología es variada (incluyendo formas columnares y discoidales) y su génesis está relacionada con mecanismos de tipo sedimentario que actuaron durante la deposición y diagénesis de los materiales arenosos en el fondo marino. Habitualmente se atribuye a las concreciones una mayor dureza y cementación carbonatada, pero también son frecuentes envolturas de materiales distintos que individualizan las concreciones y las separan del resto de la matriz. Estas pueden consistir en envolturas margo-arcillosas, más blandas y erosionables, alternantes con capas duras con alto contenido en minerales de hierro y sílice secundaria. Obviamente, la erosión pone en relieve las discontinuidades y diferencias, erosionando con mayor facilidad las rocas comparativamente más blandas.

En todo caso, lo comentado hasta aquí no se aparta de lo hasta ahora observado y conocido sobre estas concreciones esféricas en forma de gruesas bolas de arenisca. Lo inusual y novedoso -objeto de esta nota- es el hallazgo en una zona de la franja costera (de 50 m de ancho por 250 m de extensión lateral), en la parte central de Jaizkibel, de una enigmática profusión y variedad de concreciones con estructuras tubulares que las perforan. Las concreciones poseen formas esféricas, ovoides, cilíndricas, o están conjugadas de diversas maneras. En conjunto estas geoformas son identificadas como Paramoudras, y -como luego veremos- consisten en ichnofósiles (trazas de madrigueras fósiles de animales marinos) y agregaciones en torno a ellas de concreciones silíceas. El objeto de esta nota es describir las características de estas geoformas y explicar su probable génesis, así como su relación con otras geoformas pseudokársticas en esta litología.

MATERIAL Y METODOS

Se efectuaron prospecciones detalladas del área de afloramiento, realizando un inventario y descripción de las concreciones con perforaciones y otras geoformas, documentándolas con fotografías. Se describen sus caracteres externos y los observados en cortes naturales y experimentales, efectuados en campo y laboratorio sobre algunas muestras. Varias muestras fueron analizadas con técnicas de fluorescencia de rayos X y análisis químico cuantitativo. Fue revisada bibliografía geo y biológica con el fin de identificar los ichnotaxa de los Paramoudras. Se explica y describe su probable génesis y características biológicas y geológicas. Se describe también su contexto y se compara lo observado con otras concreciones y geoformas pseudokársticas presentes en la zona. El trabajo es un estudio de carácter preliminar, aunque incluye consideraciones teóricas más generales.

El descubrimiento de las concreciones con perforaciones y su investigación inicial es debido a Michel Molia, a cuya intuición y capacidad de observación debemos este hallazgo. Trabajos y prospecciones sucesivas (muestreos y toma de datos y fotografías en campo) fueron efectuadas por un equipo conformado por dicho autor junto a Carlos Galán, José Rivas, Marian Nieto y Carlos Oyarzabal. Los análisis de muestras fueron realizados por C. Oyarzabal. La identificación y estudio de los Paramoudras y otras evidencias geo y biológicas fueron realizados por C.Galán. Los dos autores que suscriben la nota desarrollaron lo esencial de las ideas que contiene la misma, contando con la colaboración del resto de los integrantes del equipo.

RESULTADOS

CONSIDERACIONES GEOLOGICAS

El tramo Eoceno del flysch costero de Gipuzkoa ha sido denominado Formación Jaizkibel (CAMPOS, 1979). Aflora entre Orio y Hondarribia, siendo su edad Eoceno inferior a medio. Entre San Sebastián y Hondarribia, donde la formación alcanza su mayor potencia (superando los 1.500 m de espesor), la base de la formación alcanza el Paleoceno superior.

La Formación Jaizkibel se compone de potentes bancos de arenisca, con intercalaciones de niveles delgados de lutitas. El grosor de los estratos de arenisca aumenta de base a techo. En la zona de estudio los estratos individuales de arenisca tienen 2 á 8 m de potencia. Litológicamente son areniscas cuarzosas de colores claros (blancas, ocres, rosadas y amarillas) y de cemento carbonático. Están formadas por un entramado de granos de cuarzo (bien redondeados o ligeramente angulosos), que pueden constituir hasta el 90% de la roca (siempre más del 80%), y cantidades menores de feldespatos y micas (en torno al 1%), unidos por un cemento carbonático. El tamaño medio de grano se hace mayor hacia la parte alta de la serie. Los estratos presentan laminación paralela y disturbada (= convoluted beds); también se observan estructuras formadas durante la compactación (concreciones, discos, pilares y columnas) y diversas estructuras de corriente. Son frecuentes concreciones esféricas o bolas de arenisca más dura, de variable diámetro, desde unos pocos hasta más de 70 cm. Estos nódulos están rellenos de cuarzo de grano medio a grueso, con matriz carbonática, muy poca mica y glauconita (JEREZ et al., 1971).

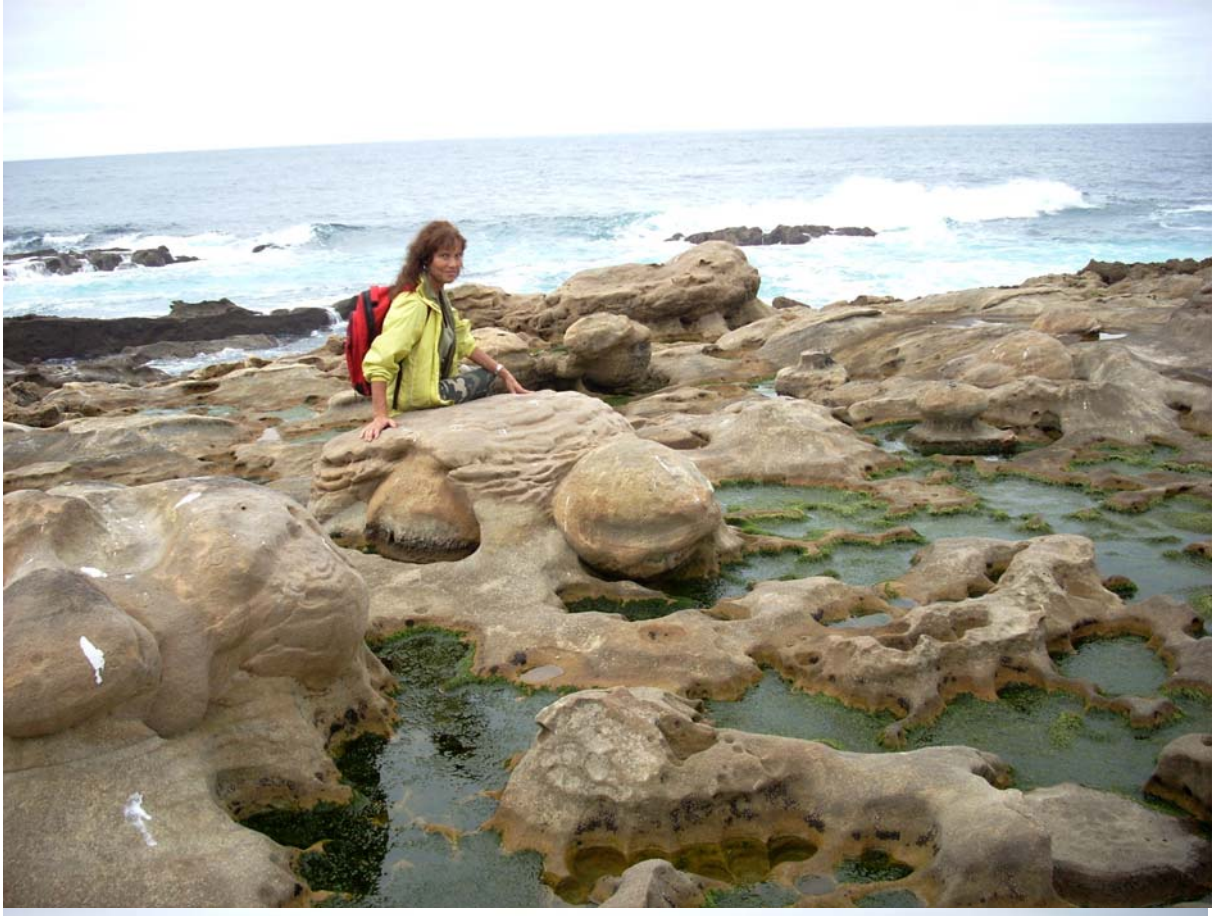
La erosión de los estratos con concreciones de arenisca da lugar a concavidades y prominencias en el relieve rocoso, con la forma de gruyère y noisettes, a tenor de sus formas cóncavas o convexas. Aquellos situados en la línea de costa están sometidos a una acción erosiva compleja, por acción alterna o consecutiva sobre su superficie de las mareas, el oleaje y las aguas de lluvia. La amplitud de las mareas en el Cantábrico es de 4,5 m y con ocasión de temporales y mar de fondo las olas alcanzan 7 m de altura y llegan a proyectar en las rompientes agua marina hasta cotas de 20 m snm. Las zonas bajas quedan inundadas por agua marina durante mayor número de horas que las elevadas, estando sometidas estás últimas a inundación temporal, salpicaduras del oleaje y frecuentes lluvias. La humectación en la zona intermareal produce microrelieves muy acusados, que constituyen un microlapiaz litoral. En las zonas más elevadas y menos expuestas a la acción marina también interviene la disolución superficial por agua dulce y procesos de disolución intergranular de la roca, de carácter pseudokárstico (GALAN et al., 2007, 2008), con la consiguiente excavación de muy numerosas cavidades y geoformas. En la roca arenizada del interior de las cavidades, las concreciones esféricas son desagregadas hasta su completa remoción. En estos casos es posible observar su estructura interna en cortes naturales. Igualmente, el desplazamiento por gravedad (y acción del oleaje) de las esferas y bloques desprendidos, impacta y corta geoformas que sobresalen en el relieve, generando cortes naturales, que luego pueden ser meteorizados superficialmente en distinto grado.

Acceso a la zona de estudio. Puede apreciarse el suave buzamiento y espesor de los estratos de arenisca y la presencia de numerosas concreciones semiesféricas en los escarpes y sobre la laja costera.

Los dos aspectos típicos de las concreciones: gruyère (concavidades vaciadas) y noisettes (avellanas, protuberantes, en relieve positivo). Nótese que algunas concreciones son prolongaciones cilíndricas, con terminación semiesférica.

En el centro del área de estudio desemboca un pequeño río, que contribuye a crear una zona subaplanada la cual amplía la rasa mareal (en marea baja, en la foto). El arroyo forma primero una laguna que ha excavado un amplio abrigo lateral a expensas de lutitas; en la imagen inferior se aprecia otro gran abrigo en el lado opuesto (W). El tramo entre ambos es de 70 m ancho y más de la mitad del trayecto está excavado por los abrigos de ambos lados. Nótese también que el río es capturado por el siguiente plano de estratificación trazando su curso un ángulo recto.

Vista general del área de estudio y Paramoudras. Arriba: Escarpes y abrigos pseudokársticos (al fondo). Debajo: Concreciones esféricas y cilíndricas.



Concreciones esféricas con perforaciones y estructuras tubulares debidas a ichnofósiles (= Paramoudras).
En la zona más próxima al mar, la erosión marina enmascara sus rasgos.

Intercalados entre los bancos de arenisca se encuentran niveles delgados de naturaleza arcillosa o margosa, con cierto grado de pizarrosidad. En las zonas de mayor desarrollo del pseudokarst, los niveles de lutitas son tan finos que los estratos de arenisca se apoyan prácticamente unos sobre otros. En algunos de estos niveles delgados de margas y lutitas es posible observar ejemplos de ripple marks o huellas de corriente, y fósiles de pistas de anélidos y otros organismos marinos, generalmente en el techo de las intercalaciones arcillosas y base de los niveles arenosos.

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

Según VAN VLIET (1982) y ROSELL (1988) la cuenca eocénica pirenaica corresponde a un surco alineado de E a W, donde las facies distales (profundas) se sitúan en la parte occidental (País Vasco). Por tratarse del sector de cuenca más abierto al océano, estas plataformas han sido destruidas casi por completo, lo que explica el considerable desarrollo de sus sistemas turbidíticos, los cuales alcanzan 1.500 m de espesor. 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). KRUIT et al. (1972) señalan que las descargas detríticas procedían del Norte y se produjeron en la desembocadura de cañones submarinos; los materiales arenosos van a formar conos de deyección, con disposición en abanico, en los que las descargas coexistían con aportes turbidíticos axiales alimentados desde el Este; éstos aportes, menos masivos, serían absorbidos y reordenados suturándose lateralmente con las masas de arenas.

Tras su diagénesis ocurre el levantamiento pirenaico por la colisión de las placas Ibérica y Europea, el cual comienza a finales del Eoceno, llevando los estratos del flysch hasta su posición actual. Cabe destacar que la región de estudio es una zona tectónica compleja, ya que hacia el W se formó corteza oceánica, y durante la fase compresiva se produce la subducción de la corteza oceánica bajo el margen continental de la placa Ibérica, conformando una cadena de subducción; mientras que hacia el E, durante la fase de rifting se produce un adelgazamiento de la corteza continental (sin llegar a formar corteza oceánica); el posterior choque de las placas continentales, con corteza adelgazada, produce su soldadura y levanta la cadena de colisión de los Pirineos, en la cual la placa Ibérica se hunde bajo la Europea. La estructura actual del flysch Eoceno adopta una disposición monoclinal, buzante al Norte. Nuestra zona de estudio está situada en la parte superior de la secuencia de turbiditas del abanico oriental, donde se ha desarrollado un pseudokarst sobre los bancos más compactos de arenisca.

CARACTERISTICAS DEL AREA DE ESTUDIO

Es una franja de 50-80 m de ancho por 250 m de extensión lateral, con buzamiento medio de 20-30º NNW, pero la erosión marina ha generado una plataforma somera o rasa mareal, que emerge de las aguas en marea baja. En el centro del área desemboca un pequeño arroyo permanente, de escaso caudal, que también ha contribuido a rebajar el relieve, adquiriendo el conjunto una forma subaplanada, de topografía poco abrupta, aunque con pequeños escalones laterales interestratos.

En parte del perímetro superior hay escarpes verticales de mayor altura, donde las paredes de roca con concreciones muestran sus dos facies características, de gruyère y noisettes. En parte de la zona alta próxima a la desembocadura del arroyo existen grutas pseudokársticas con paredes arenizadas por disolución intergranular, geoformas alveolares, y también dos grandes abrigos (de unos 20 m de profundidad cada uno) que perforan casi de lado a lado un tramo del afloramiento a expensas de un paquete de lutitas y margas interestratificadas. Otros abrigos de erosión marina se presentan en los escarpes del lado W.

La mayor parte de las formas a que haremos referencia se localizan en la parte alta y media de la zona intermareal, sobre la laja costera, por lo que quedan parcialmente sumergidas en marea alta, o reciben salpicaduras de oleaje en forma intermitente. Pero a la vez quedan expuestas periódicamente a los agentes atmosféricos: lluvia, brumas, humedad del aire, e insolación directa.

En la zona baja de la rasa mareal, cubierta la mayor parte del tiempo por el agua de mar, las formas nodulares se presentan disgregadas, más intensamente meteorizadas, y enmascaradas en un microrelieve atormentado por un microlapiaz litoral con numerosas concavidades, puntas salientes, cubetas y pozas de agua marina, algunas de ellas de evorsión o erosión turbillonar, y con numerosas cavitaciones debidas a la acción de algas y organismos litófagos e incrustantes del bentos (= fouling). Algunas pozas subcirculares tienen incluso su origen en el desgaste y remoción de las concreciones esféricas.

El objeto central de nuestro trabajo no son las microformas citadas, sino las concreciones esféricas con perforaciones y estructuras tubulares, las cuales pueden presentarse aisladas o conjugadas en combinaciones de curiosas formas. Sus caracteres han resultado mejor conservados y resultan más fáciles de apreciar en la parte media del afloramiento, abarcando la zona alta intermareal y parte de la supramareal. Nos referiremos a ellos a continuación.

CARACTERISTICAS DE LAS CONCRECIONES PERFORADAS

Un primer aspecto a destacar es la ocurrencia local de concreciones esféricas en la arenisca de la Formación Jaizkibel. En general, los tramos con concreciones esféricas y alineaciones de las mismas, dejan como testigos de su presencia anterior numerosas oquedades, pero las concreciones en sí han caído por gravedad, removidas por la erosión, dejando pocos ejemplos, con formas circulares seccionadas. En la zona de estudio, en cambio, junto a las concavidades vaciadas hay muy numerosas concreciones en relieve positivo, casi completas. La profusión de concreciones esféricas y cilíndricas es por demás numerosa en algunas áreas y es apreciable tanto en los escarpes verticales como sobre las lajas costeras y la plataforma de abrasión marina.

Como ha sido dicho, la parte baja de la rasa mareal, sólo descubierta unas horas en bajamar, está muy atormentada por microrelieves que enmascaran los rasgos de las concreciones, y por consiguiente es muy difícil lograr buenas observaciones en esta zona. En la parte media y alta, y en la zona supramareal, más del 50% de las concreciones presenta agujeros superficiales con estructuras perforantes. No obstante, cabe señalar que la roca y las concreciones expuestas, presentan su superficie meteorizada y recubierta con películas muy delgadas (de cianobacterias, algas y líquenes), que otorgan a las rocas una monótona coloración gris, lo cual a su vez enmascara las discontinuidades y diferencias que pueden existir entre la matriz de arenisca y las concreciones.

Aparentemente la roca que constituye las concreciones posee mayor densidad y resistencia a la erosión que la roca-caja que la envuelve, aunque hay diversos ejemplos en que la diferencia parece residir en la presencia de envolturas o capas que individualizan las concreciones, de distinta litología y variable espesor, y comparativamente constituidas por rocas más blandas, con alto contenido de arcilla y óxidos de hierro. Más adelante será discutido este aspecto. De momento cabe decir que el hecho de que muchas formas nodulares queden en relieve positivo, sugiere que el resto de roca que constituye el suelo ha resultado algo menos resistente a la erosión de superficie. Otras veces, la similar nivelación de la superficie con concavidades y concreciones, sugiere por el contrario que la litología, grado de cementación y resistencia a la erosión, son muy similares en ambos casos, y las diferencias deben ser muy leves. Veamos a continuación los principales rasgos de las geoformas con concreciones.

1. Forma de las concreciones.

Predominan ampliamente concreciones de formas esféricas. Estas son esferas de arenisca incluidas en la masa rocosa del estrato de arenisca. Su talla es muy variable, con diámetros que van desde 5-6 cm hasta 70 cm o más. La mayor parte son esféricas, con aspecto de bolas de cañón (= cannonball), pero también hay en menor proporción formas ovoides, cilíndricas, e imbricadas unas en otras. A su lado la presencia de concavidades semiesféricas prueba el emplazamiento de concreciones anteriores, ya removidas. La coalescencia, aglutinación o imbricación de las concreciones, da lugar a esculturas complejas, que según la imaginación del observador pueden recordar a hongos, tortugas, focas, gusanitos, hipopótamos, senos femeninos, falos, ánforas, esponjas, cilindros, bolas de cañón y un largo etcétera. En escasa proporción hay incluso masas irregulares, en las que unas formas se fusionan con otras y llegan a confundirse con la roca caja, pero estos casos son pocos.

La frecuencia de su ocurrencia es también muy variable. Predominan ampliamente las concreciones y concavidades esféricas individualizadas, pero en pequeñas áreas su densidad puede ser muy elevada (con relación a la matriz de arenisca sin geoformas). Igualmente, en la parte central del afloramiento, las formas cilíndricas y conjugadas alcanzan una gran densidad: sobre un área de 40 x 10 m contamos más de 100 geoformas.

La aglutinación de formas presenta un aspecto “blando”, “dulce”, sin traumatismo. Las bolas esféricas pueden estar unidas en ajustada intersección o bien presentar surcos o bandas de delimitación, muy netas, entre ellas y con el suelo de roca. Muchas formas cilíndricas rectas y onduladas terminan en forma esférica o globular. Su disposición es predominantemente subvertical, pero también hay buenos ejemplos de desarrollos horizontales, serpentiformes y con las inclinaciones más diversas. Hay por último ejemplos de formas aisladas que afloran de concavidades en forma de falos, senos, ánforas, champiñones, etc.

2. Dimensiones de las concreciones.

En la mayoría de los casos su diámetro queda comprendido entre 20 y 50 cm, con un rango total que va de 5-6 cm a más de 1 m. Algunas masas coalescentes alcanzan incluso 2 m. Su longitud visible sobre el sustrato es también muy variable, pudiendo oscilar desde unos pocos cm á 4-6 m. Puede verse en las fotos que no es tarea sencilla intentar clasificar su forma externa. Muchas bolas o senos son en realidad la extremidad visible de concreciones cilíndricas que se extienden bajo el sustrato, y su longitud total es por tanto desconocida. Los mayores desarrollos visibles los presentan formas vermiformes de trazado subhorizontal y diversas masas globulares que se extienden sobre la laja costera, pero muchas de ellas tienen bases y raíces que se hunden en el sustrato.

Si se realizara un detallado conteo estadístico, probablemente se podría diferenciar tres familias distintas de concreciones: una constituida por las bolas más esféricas (facies cannonball), de unos 30-50 cm de diámetro medio; otra, de formas cilíndricas que afloran del suelo en forma de senos o cilindros más largos con terminación semiesférica, de unos 10 cm de diámetro medio y longitudes visibles de 10-80 cm; y una tercera, de formas mucho más gruesas, cilíndricas y globulares, de mayores diámetros (en torno a 50 cm), a menudo anastomosadas en figuras complejas y con longitudes de 0,5 á 4-6 m. Estas tres familias se solapan y pueden presentarse conjugadas. Las dos primeras son más frecuentes (tal vez más del 80% de los casos) y fáciles de reconocer.

Concreciones esféricas con perforaciones tubulares. Algunas de ellas desprendidas y otras aún sujetas a los escarpes o al suelo de la laja costera, pero nótese la presencia de un surco de eliminación, de litología más blanda. La meteorización en esta zona enmascara parcialmente sus rasgos y los orificios y perforaciones resultan poco visibles.

Concreciones esféricas desprendidas, meteorizadas en la zona baja intermareal, conjugadas en geoformas, y expuestas en escarpes verticales, algunas de ellas con cortes naturales. Pueden apreciarse orificios con perforaciones laterales y en los polos superiores, algunos de ellos muy ampliados por la erosión marina.

Concreciones esféricas y cilíndricas con orificios en el polo superior o en su extremo semiesférico. Las formas que sobresalen del suelo de arenisca con forma de senos son las más frecuentes, pero también las hay con formas fálicas y de otros tipos.

Más ejemplos de geoformas tipo Paramoudras. Predominan ampliamente aquellas con orificios en el polo superior.

Paramoudras verticales con formas de ánforas y espongiformes.

3. Los orificios.

Una elevada cantidad de concreciones presenta pequeños orificios o concavidades embudiformes, generalmente llamativas por estar situadas en el centro del polo superior de las esferas. En las formas que recuerdan senos, estos orificios se asemejan a pezones invertidos, excavados en negativo. Su diámetro y profundidad alcanza desde 1-2 mm hasta algo más de 1 cm.

En forma resumida podríamos decir que en la inmensa mayoría de los casos existe al menos un orificio en superficie. Pero su número y distribución no es constante. En las esferas tipo cannonballs hay ejemplos de formas lisas, sin irregularidades, que no presentan ningún orificio, pero esto estimamos que ocurre en menos del 20% de los casos. En el resto, poseen un orificio superior e incluso uno o varios laterales.

En las formas tipo seno y cilíndricas, de pequeño diámetro, al menos en el 90% de los casos poseen un orificio, y resulta llamativo que el orificio está centrado en su extremidad o polo superior. Esta posición central del orificio ocurre también en las formas cilíndricas más largas. A veces el orificio se encuentra en posición diagonal, siendo esto más frecuente en formas alargadas y subhorizontales.

En ocasiones se pueden ver dos orificios en la terminación del polo superior de la concreción. Y pueden ser más numerosos cuando la esfera es más grande. En las grandes formas, de la tercera familia, son también frecuentes orificios en posiciones laterales, en ocasiones hasta más de media docena en las formas globulares grandes.

En menor proporción, se presentan orificios laterales en las esferas que afloran en las paredes laterales. Y por último hay ejemplos, menos conspicuos, en los que se aprecia orificios tanto en las concreciones como en el suelo de la matriz adyacente.

Como regla general cuanto mayor es el diámetro de la concreción, mayor es el de los orificios que presenta, y en este sentido parece existir una proporcionalidad. Pero además, se da el caso de ampliación del orificio inicial por avance de la erosión. Gráficamente diríamos que se aprecia una aureola en torno al pezón inverso. En estos casos el diámetro del borde externo del embudo llega a alcanzar 2 cm.

Por último señalar que hablamos de “orificio” precisamente porque la cavidad superficial parece tener una continuidad en una estructura interna que prosigue aproximadamente a lo largo del eje central de la concreción.

4. La cavidad central.

El orificio es de hecho la parte superficial de una perforación virtual, ya que se continúa en una cavidad tubular, digitiforme, que se hunde hacia el interior de la concreción. La cavidad tubular está situada prácticamente sobre el eje central, como se puede apreciar en los cortes naturales. Nosotros no posemos ningún argumento para afirmar que sea rectilínea hasta su extremidad.

Tampoco es posible definir su longitud en tanto no se disponga de cortes seriales, pero hemos encontrado en campo unos pocos buenos ejemplos de formas alargadas que se habían fragmentado en varios tramos y podemos afirmar que la cavidad prosigue al menos 2/3 de su longitud.

También tenemos la certidumbre de que esta cavidad es ciega, ya que en diversas concreciones sueltas y bolas extraídas, no hemos encontrado nunca un agujero de salida. Disponemos también de algunos ejemplos de formas cilíndricas seccionadas, en los que la cavidad central posee 80 cm de longitud. Por último, hay algunos pocos ejemplos en que la concreción ha sido erosionada dejando al descubierto tramos del conducto central, alternantes con surcos en la superficie, y que pueden ser interpretados como fragmentos de un único orificio en continuidad. Nosotros veremos a continuación porqué la cavidad es virtual.

5. El cordón.

La cavidad está centrada por un “cordón”. En efecto, este es apreciable tanto en secciones naturales como en los cortes experimentales efectuados. Por el momento no resulta posible decir a qué corresponde este cordón o cuál es su composición. ¿Colmatación de un espacio o sustitución de una estructura preexistente durante la diagénesis? En todo caso parece probable que la cavidad y el cordón se terminen juntos.

Un corte experimental efectuado sobre una concreción esférica (de 23 cm de diámetro y 17 kg de peso), que no presentaba ningún orificio y cuya superficie era perfectamente lisa, nos ha permitido encontrar una sección del cordón en su interior. Este, de sección ligeramente oval como en otros cortes, es un poco verduzco (¿glauconítico?) cuando es humedecido. Nosotros estamos por efectuar otros cortes en otras muestras. Esperamos encontrar el mismo resultado, es decir, que el cordón está presente y es un elemento constitutivo de las geoformas en la zona de estudio.

6. La espícula.

Lo más llamativo es la presencia en el centro del orificio de una “espícula”. Una punta de forma cónica, a veces muy puntiaguda y dura. Esta espícula puede ser considerada como el origen del cordón que prosigue hacia el interior. Dado que sólo la hemos observado externamente, no podemos afirmar con seguridad si ambas formaciones están en continuidad o si existe alguna estructura de articulación entre las dos.

Esta espícula cónica a veces presenta una forma más prismática o piramidal y puede sobresalir o estar hundida con respecto a la abertura del orificio, a tenor de la erosión, pero en las concreciones poco erosionadas está presente en más del 50% de los casos. Creemos que cuando falta, su ausencia se debe simplemente a que ha sido erosionada.

La presencia de los orificios con espícula en las concreciones es lo que nos puso sobre la pista de un origen más orgánico que geológico y nos indujo a investigar con mayor detalle las concreciones.

7. La presencia de zonas de menor densidad.

Hemos constatado que existen en las geoformas dos zonas de menor densidad, más sensibles a la erosión:

(a) La primera, alrededor del cordón. En efecto, sobre los cortes que nosotros hemos hecho no existe intervalo entre el cordón y la masa de la concreción esférica, al contrario de lo que uno encuentra (como acabamos de exponer) sobre los cortes naturales y antiguos, que han experimentado cierto período de erosión. Lo que podría llevar a concluir que la cavidad en torno al cordón es producto de la erosión, pero para que el cordón se manifieste como una estructura independiente, debe existir una discontinuidad ó zona de debilidad distinta entre el cordón y la matriz, zona o junta más débil, que sería erosionada con mayor facilidad.

(b) La segunda, alrededor de toda la concreción esférica. Muy frecuentemente, o se podría decir que de modo constante, existe un "surco de eliminación" entre la concreción y la roca caja adyacente. Hay incluso algunos ejemplos de esferas prácticamente libres en el interior de cavidades de la roca, y que permanecen sueltas así, sin poder ser evacuadas, porque el diámetro de la apertura de la concavidad es menor que el de la concreción y no permite su evacuación.

Sería prematuro concluir que existe una "envoltura" para cada elemento, pero la tentación es fuerte.

Hemos encontrado en muchos casos una especie de ganga alrededor de muchas de las concreciones esféricas. Y es probable que lo haya en muchos más, ya que la meteorización y el film superficial gris que cubre las rocas tiende a dar aspecto homogéneo al conjunto. En los casos en que hemos encontrado esta ganga, su composición es margosa, mucho más blanda que la roca adyacente, y su coloración es de tonos rojizos, indicativos de la presencia de minerales de hierro. Otras veces, como puede verse sobre todo en abrigos y paredes meteorizados por disolución intergranular, la ganga margo-arcillosa puede incluir capas concéntricas, de materiales blandos, pero también con costras endurecidas con alto contenido en óxidos de hierro, sílice y aluminio. En todo caso, resulta claro que existe una discontinuidad, de litología distinta, entre las concreciones y la roca-caja.

8. La plasticidad.

Cuando varias formas esféricas resultan imbricadas, esta cohabitación se hace de manera "dulce", no traumática. Los distintos elementos se adaptan entre ellos sin herirse, suave y plásticamente. Así algunos grupos de concreciones o formas coalescentes, que se extienden subhorizontalmente, recuerdan a grupos de focas tendidas. Otras formas, que recuerdan a tortugas o gusanos articulados, parecen poseer surcos o envolturas de unión entre sus partes, muy probablemente excavados a expensas de litologías comparativamente más blandas.

9. El pedículo.

El progreso de la erosión permite apreciar que algunas esferas están unidas a la matriz de la roca caja por un pedículo, sólido y resistente, situado en su parte basal o latero-basal. La extracción de una muestra de 8-10 cm de diámetro mostró que esta se prolongaba verticalmente 25 cm. La concreción estaba separada de la concavidad que la contenía por un material más blando y fácil de excavar, una especie de ganga margo-arcillosa rojiza, en todo su perímetro menos en un punto, donde un puente de roca compacta la fijaba lateralmente al tercio superior de la geoforma. Utilizamos el término de "pedículo" para esta estructura, de 3 cm de diámetro y sección triangular.

Es necesario notar que no encontramos ninguna traza de cordón en el pedículo, como tampoco en la extremidad inferior de la geoforma. Las secciones por encima y debajo de la inserción del pedículo prueban que el cordón se desarrolla a lo largo de la geoforma, más o menos en posición central.

10. El aspecto homogéneo del interior de las concreciones.

En los cortes efectuados a varias muestras, su interior presenta a simple vista un aspecto bastante homogéneo, o al menos no está organizado en capas concéntricas, lo que sí parece ser el caso en la ganga que rodea a la concreción. Incluso no parece existir diferencia litológica apreciable entre el cordón y la concreción, excepto por el hecho del tubo que rodea el cordón, de color gris más oscuro o verdoso (posible presencia de glauconita) y bien definido, y que corresponde a la funda que envuelve al cordón. El cordón no está así libre en la cavidad, salvo cuando dicha funda es erosionada (en superficie y en cortes naturales que ya llevan cierto tiempo expuestos a la intemperie). Por lo que concluimos que la cavidad es virtual, y resulta excavada a expensas de la funda (de escaso 0.5 mm de espesor) que envuelve al cordón central.

11. Las excavaciones restantes.

La caída o remoción de concreciones esféricas en la arenisca de Jaizkibel otorga al macizo su aspecto particular, ya que las zonas o estratos con concavidades esféricas (correspondientes a concreciones) son muy frecuentes en él. En menor medida, estas también están presentes en Ulía e Igueldo. Lo que otorga a muchos de sus escarpes rocosos un aspecto de gruyère. En algunas zonas son abundantes y su disposición es aleatoria, pero con cierta frecuencia hay casos locales de disposición en hileras, más o menos bien definidas, que siguen la estratificación.

En todas estas concreciones, sobre todo en cavidades y paredes arenizadas del pseudokarst (en las cuales la disolución intergranular pone de manifiesto muy diversas laminaciones y estructuras de corriente), es posible apreciar en la ganga que queda en las cavidades y en torno a ellas, la presencia de capas o laminaciones más o menos concéntricas con respecto a las concreciones.

Detalles de orificios en Paramoudras verticales.

Profusión de Paramoudras conjugados formando diversas figuras. Poseen varios orificios laterales, pero también en el polo superior o en la extremidad de formas cilíndricas. Algunos poseen cortes naturales producto del impacto de la caída de otras concreciones esféricas.

Detalles de orificios con cavidades y perforaciones. A veces se distingue su continuidad sobre un corto trayecto, al dejar huella en forma de surcos superficiales. Otras veces se distingue parte del cordón central.

Otros ejemplos de orificios y cavidades. A veces se aprecia parte de la espícula o del cordón central, pero éstos pueden haber sido destruidos por erosión.

La espícula: uno de los elementos más enigmáticos de los Paramoudras de Jaizkibel.

No obstante, estas concreciones esféricas no son iguales a las geoformas descritas en el área de estudio, en la cual las concreciones (esféricas, cilíndricas y en masas globulares) poseen orificios (en la mayoría de los casos con espícula) que se prolongan en un cordón central a lo largo del eje de las geoformas.

El examen atento del interior de muchas concavidades vaciadas es completamente liso, sin traza alguna de la presencia de un pedículo anterior. Lo que sugiere que el pedículo puede ser un caso raro, o bien que la falta de su traza es resultado de la erosión. Igualmente, en orificios grandes, ampliados por erosión superficial y a menudo de bordes dentados, puede faltar la espícula. Otras veces se adivina la espícula hundida en la parte más profunda del orificio, lo que sugiere que en las geoformas citadas este es un elemento constante, pero que puede ser destruido por erosión.

12. Presencia, número y distribución de orificios. Conclusión preliminar.

En un muy alto porcentaje, cuando tratamos de diferenciar familias o tipos de concreciones, las formas esféricas generalmente poseen un orificio abierto en el centro de su polo superior. En las esferas más grandes hay ejemplos con 2-3 orificios. En las formas terminadas en seno o semiesferas superficiales, a menudo de desarrollo cilíndrico, ocurre algo similar. Pero en el caso de formas cilíndricas que se extienden oblicua o subhorizontalmente, también existen orificios en posiciones laterales. En las masas globulares conjugadas es mayor el número de orificios (5-6 y a veces más), y son muy frecuentes o incluso preponderantes los que ocupan posiciones laterales.

Por último, cabe destacar que también existen orificios, superiores y en posiciones laterales, sobre la roca-caja, a menudo bien definidos y sin espículas. Por lo que la complejidad de conjunto es considerable.

Debido a la remoción por gravedad y escorrentía de las esferas desprendidas, esas son fácilmente desplazadas a lo largo del buzamiento, y acaban siendo completamente disgregadas por la erosión marina, muy activa en toda la franja intermareal. Igualmente, en las zonas algo más alejadas de la línea de costa, la cobertura edáfica y vegetal impide observar el sustrato y las aguas meteóricas destruyen con facilidad las concreciones. Así que los afloramientos de roca a menudo son restringidos sobretodo a escarpes verticales y lajas costeras. Suponemos en consecuencia que las geoformas descritas, de momento sólo halladas en el área de estudio, pueden ocurrir en más zonas, sólo que en ellas no resultan visibles.

De modo inverso, la posición que ocupan las concreciones en el área de estudio, no ofrece buenas perspectivas para apreciar sus desarrollos verticales y longitudinales en el volumen de roca. Sólo podemos observar la parte que aflora, de escasa extensión. Y tampoco son rocas que se presten a la toma de muestras: son muy duras para excavar o seccionar, muy pesadas para transportar, y más aún para tratar de obtener de ellas secciones longitudinales. El elemento de mayor interés, el cordón, al ocupar una posición central en el eje de la concreción, resulta en consecuencia sólo fragmentariamente observable.

Concluimos de modo preliminar que en la arenisca de Jaizkibel pueden presentarse muy diversas concreciones. Pero conviene diferenciar entre aquellas que poseen un cordón en su interior, que en este trabajo identificamos como Paramoudras, y aquellas otras sin él, pero que pueden o no contener algún elemento aglutinante que actuó como centro condensador de la concreción. En el caso de la mayoría de las bolas de arenisca de otras localidades de la Formación Jaizkibel, el elemento o núcleo aglutinante inicial pudo ser cualquier resto orgánico o fragmento mineral distinto a las arenas predominantes. En los Paramoudras, el núcleo aglutinante es el cordón que, como veremos a continuación, es un ichnofósil, que corresponde a la traza o tubo dejado por organismos que cavaban o construían conductos tubulares en el sedimento aún no litificado. Los organismos, cuyas trazas fósiles encontramos ahora, vivían en el Eoceno en las turbiditas emplazadas en la zona hemipelágica. Y su presencia condicionó durante la diagénesis de la arenisca la fosilización de sus trazas y la formación de concreciones en torno a ellas.

PARAMOUDRAS

Los Paramoudras son conocidos desde hace más de 100 años, ya que llamaron la atención por su naturaleza y dimensiones. No obstante son pocos los ejemplos en el mundo de Paramoudras con formas tan claras y bien conservadas como las expuestas en este trabajo. En general, la forma externa de las concreciones citadas en la literatura son una pálida imagen, muy meteorizada y disgregada, equivalente tal vez a las formas muy meteorizadas que en Jaizkibel se presentan en la parte baja intermareal. Por lo que iniciamos el tema exponiendo que se trata de ejemplos notables entre este tipo de geoformas.

Los Paramoudras son concreciones silíceas de gran tamaño (varios metros) organizadas en torno al tubo o madriguera de un organismo marino excavador, en ambientes sedimentarios variados. Los equivalentes no silicificados sino calcificados de los Paramoudras son denominados Proparamoudras. Los Paramoudras y Proparamoudras se encuentran en medios carbonáticos, en particular en la creta y la tufa. Muchos de ellos comportan un trayecto horizontal considerable.

Sus primeras menciones en la literatura geológica los atribuían a organismos fósiles desconocidos, próximos a las esponjas. Así por ejemplo (LYELL, 1838) describía columnas verticales de 6 á 9 m de alto de Paramoudras superpuestos cerca de Norwich, Inglaterra, y los relacionaba con esponjas, cuyo crecimiento habría acompañado la sedimentación. Posteriormente aparecen Paramoudras en otras localidades europeas y se comienza a apreciar que aunque la concreción sea totalmente silicificada o que presente un molde de creta axial endurecida, su eje axial invariablemente posee un cordón o tubo de diámetro constante de pocos mm de diámetro. Lo que hace sospechar que existe una relación entre el cordón axial y el material silíceo que forma la columna del Paramoudra, por lo que este curioso tubo tiene algo que ver con la agregación de material silíceo en la concreción.

Posteriormente es avanzada la idea de que los Paramoudras proceden de la actividad de organismos fosadores y que sus cordones axiales serían la luz de las madrigueras o conductos excavados por los organismos. FELDER (1971) es el primero en señalar que estas concreciones cilíndricas silíceas pueden tener un trayecto vertical importante (5 m) y desarrollos horizontales de hasta 10-15 m. La primera síntesis sobre los Paramoudras es hecha por BROMLEY et al. (1975a), quienes describen como *Bathichnus paramoudrae* la traza fósil del tubo axial de 2-6 mm de diámetro y 5-9 m de longitud, y postulan la organización cordón - tubo - concreción silícea como resultado de una diagénesis concéntrica en torno a la madriguera, dejando abierta la posibilidad de fenómenos de óxido-reducción en el sedimento. JORDAN (1981) contesta la interpretación ichnológica del tubo axial y sugiere que puede ser una chimenea de evacuación de burbujas de gas metano, engendradas en la profundidad del sedimento submarino o incluso de gas de origen mantélico. Esta hipótesis fue abandonada por su falta de correspondencia con las observaciones de campo, pero ha sido parcialmente reeditada en asociación tanto a “hot vents” (chimeneas hidrotermales submarinas) como a “cold steeps” (emisiones frías de metano y otros hidrocarburos a través de lodos del fondo oceánico); ver por ejemplo NELSON et al. (2004). Aunque este aspecto será ulteriormente discutido, no encaja tampoco con las descripciones de Paramoudras. Las concreciones en forma de chimenea asociadas a emisiones de gases y/o fluidos desde el fondo submarino, aunque se asemejan en su forma externa a los clásicos Paramoudras europeos en creta, no son silíceos (sino calcíticos o dolomíticos), no contienen trazas de origen fósil, y su desarrollo columnar es subvertical. No obstante, este tema será retomado en la discusión.

Diversos autores prosiguen la investigación de Paramoudras, bien 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 calcita y precipitación de sílice en la frontera entre una zona oxidada superficial del sedimento y la zona profunda anóxica, rica en sulfuros.

Las concreciones se producirían a nivel de esta frontera redox; los tubos de *Bathichnus* (u otros organismos) serían una vía de paso de fluidos ricos en H_2S. En torno a ellos se establecería un gradiente centrífugo reductor a oxidante, y la sílice precipitaría formando una concreción cilíndrica rodeando al tubo (CLAYTON, 1986). Para ZILJSTRA (1995) el gradiente sería inverso y el tubo abierto de *Bathichnus* permitiría la penetración de oxígeno en las zonas profundas anóxicas ricas en sulfuro; el estudio de un caso de un tubo en forma de U, le permitió también postular la idea de una circulación de agua provocada por el habitante del tubo, como fuente de este flujo de oxígeno. La secuencia de minerales autígenos formados en torno al tubo serían, desde el eje hacia el exterior, los siguientes: óxido de manganeso, glauconita, pirita, calcita, y después minerales de la sílice, en una secuencia de reacciones a lo largo del gradiente redox.

En resumen, hoy los Paramoudras son definidos como concreciones silíceas formadas y organizadas en torno a tubos de débil diámetro producidos por organismos marinos fosadores o excavadores. Generalmente ocurren en un sedimento carbonático, frecuentemente creta, pero también pueden encontrarse en calcarenitas y ambientes calci-siliciclásticos, aunque en este último caso las concreciones son a menudo fosfatadas o sideríticas.

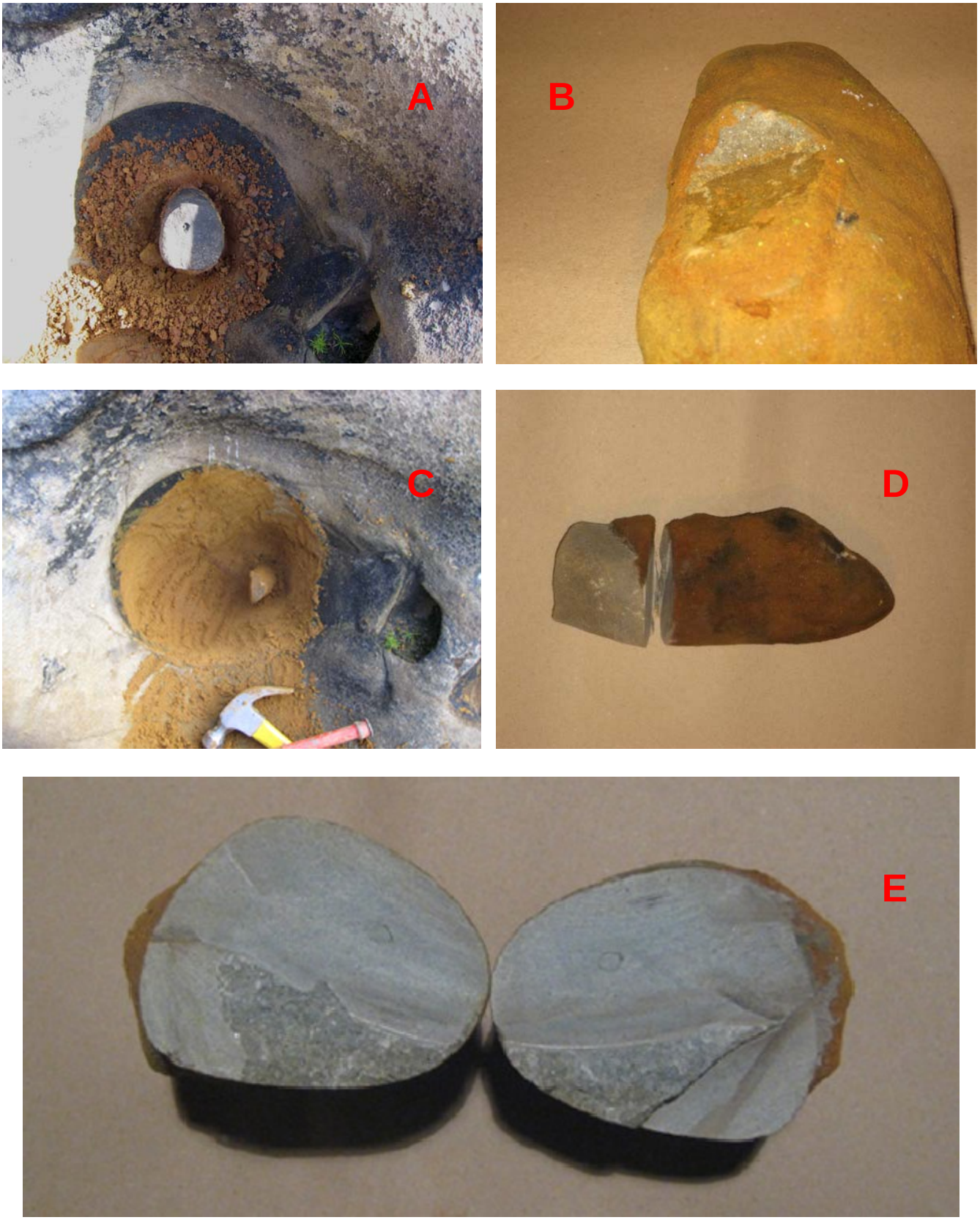
En nuestro caso las concreciones silíceas ocurren en arenisca de cemento carbonático y composición comparativamente muy parecida a la de roca encajante. Esto ya constituye una importante diferencia con la mayoría de Paramoudras descritos. Por otro lado la edad de la arenisca es Eoceno, mientras que la mayoría de los casos se trata de horizontes estratigráficos de creta (a menudo con concreciones de sílex o pedernal) de edades Cenomaniense a Danense (Cretácico). En los nódulos esféricos estudiados en la Formación Jaizkibel (JEREZ et al., 1971), su litología sólo parece diferir en un tamaño más grueso de los granos de sílice, presencia de pequeños contenidos en glauconita, y mayor cementación carbonatada. Creemos que en los Paramoudras de la zona de estudio, su litología debe ser similar a la de los otros nódulos de la Formación Jaizkibel, tal vez con cierto contenido o mayor porcentaje de cemento y glauconita en la geoforma, pero aún no disponemos de análisis químicos o mineralógicos detallados que permitan confirmar o desechar esto.

FORMACION DE LOS PARAMOUDRAS

En general, numerosas concreciones se originan en torno a tubos de organismos cavadores, en muy diversos ambientes sedimentarios, desde sublitorales a hemipelágicos, y no son característicos de un medio sedimentario particular. Algunos autores son partidarios de que la formación de Paramoudras ocurre en un medio de baja energía, donde la velocidad de sedimentación es lenta, mientras otros sostienen su asociación a episodios de sedimentación rápida (NYAGAARD, 1993), lo que encajaría mejor con un ambiente turbidítico, aunque esto es más la excepción que la regla.

Los Paramoudras ocurren predominantemente en creta y tufa, pero también han sido hallados en calcarenitas. Desde un punto de vista diagenético lo importante en realidad es que los elementos minerales no llegan solos a la cuenca sedimentaria, sino generalmente acompañados de materia orgánica, de origen esencialmente planctónico en dominio pelágico. Esta materia orgánica, y la procedente de la descomposición de los organismos del bentos, resulta enterrada en el curso del proceso sedimentario. Bajo la interfase agua-sedimento se suceden una zona aerobia, una zona de sulfato-reducción, y después una zona de metanogénesis (BAUDIN, 1999). El espesor de estas zonas dependerá de su emplazamiento, producción de materia orgánica, velocidad de sedimentación e intensidad de la profundidad de la bioturbación. En general la zona aerobia será más amplia en dominios de plataforma, mientras que en cuencas profundas, de fuerte confinamiento o débil hidrodinamismo, la zona aerobia puede reducirse a solo unos centímetros.

Detalles de orificios, cavidades y cordones, centrados sobre el polo superior de Paramoudras verticales que afloran del piso. Nótese la cavidad (o funda envolvente) en torno al cordón en las geoformas seccionadas por cortes naturales.



Detalle de extracción y corte experimental de una muestra de Paramoudra, de 8 cm de diámetro y 25 cm de largo. (A) Posición inicial, aflorando en una concavidad. Al excavar se aprecia un material más blando, margo arcilloso, en torno a la geoforma, la cual sólo está unida a la roca-caja mediante un “pedículo” latero-basal. (B) Parte seccionada del pedículo en la muestra tomada.
(C) Resto del pedículo en la cavidad. Su sección es triangular, de 3 cm de ancho. (D) Corte efectuado en laboratorio, a 7 cm de la extremidad aflorante. (E) Vista en sección del corte. Se aprecia la funda en torno al cordón, cuyo interior parece de litología similar a la concreción externa. La estructura no posee bandas concéntricas, aunque sí pequeñas laminaciones. La diferencia entre la parte de aparente grano grueso y la lisa es debida a la irregularidad del corte, parcialmente fracturado.

Algunos Paramoudras pueden adoptar las más curiosas formas: gusanitos, tortugas, etc. La aglutinación de formas es suave. Se aprecia orificios laterales y superiores, el cordón central (en las formas seccionadas) y parte de sus trazas verticales.

Otros ejemplos de Paramoudras, con formas coalescentes o imbricadas de manera suave o blanda, no traumática. Algunas se asemejan a focas o tortugas tendidas sobre las rocas, otras adoptan diversas formas. Nótese el cordón tubular central en las figuras seccionadas y los surcos o bandas de delimitación entre las figuras articuladas.

Dos buenos ejemplos del desarrollo espacial de Paramoudras. Puede seguirse su perforación central gracias a cortes naturales. El de arriba es una forma cilíndrica vertical de 70 cm de largo, con terminación semiesférica, como muchas de las esferas o senos que emergen de la laja costera. El de abajo, con varios fragmentos (del cual extrajimos uno para estudio en laboratorio), asciende en oblícuo y atraviesa una masa globosa irregular superior. Ambos tienen continuación en sus bases, penetrando en el suelo de arenisca.

Partiendo de la superficie del sedimento, las reacciones teóricas de descomposición de la materia orgánica son sucesivamente las siguientes: respiración aerobia, reducción de nitratos, reducción de manganeso, reducción de hierro férrico a ferroso, reducción de sulfatos, y metanogénesis, estando cada una de ellas mediada por una flora bacteriana específica. Así pues, entre la superficie y la zona de metanogénesis, se crea un gradiente redox a lo largo del cual se organizan los equilibrios químicos, dependiendo el encadenamiento de las reacciones de las concentraciones en $CaCO_3$, en S^{2-} y en hierro (ALLER, 1982).

El carbonato de calcio puede precipitar a nivel de la zona de sulfato-reducción si el agua intersticial es rica en carbonatos, sulfuros, y pobre en hierro reactivo. También puede precipitar a nivel de la zona de metanogénesis correlativamente a un aumento de la alcalinidad, lo que explica la génesis de varios tipos de concreciones carbonatadas. Si la relación Ca/Fe < 20, el carbonato de hierro puede precipitar generando concreciones sideríticas. Si las concentraciones en Fe^{2+} son débiles, la sulfato-reducción producirá más H_2S o bien S^{2-}, que no podrá ser fijado bajo la forma de pirita FeS_2, sino que difundirán, en particular hacia arriba, encontrándose en el límite de la zona oxidada, donde proliferan bacterias sulfuro-oxidantes (Thiobacilos, Beggiatoales, etc.), que oxidarán los sulfuros a sulfatos. Tales reacciones son así concentradas en la frontera oxígeno-anóxica, donde la actividad bacterial puede rebajar sustancialmente el pH, entrañando la disolución de los carbonatos (CLAYTON, 1986). En la zona de metanogénesis, los iones hidrosilícicos H_3SiO_4- (que provienen de la disolución del ópalo y del ácido silícico en medio alcalino) precipitan en una forma poco soluble de sílice; es a este nivel que se producirá la epigénesis de la calcita en sílice (ZILJSTRA, 1995). En el sedimento donde viven organismos que excavan tubos o madrigueras ocurre algo similar en torno a los mismos. Los conductos son vías de tránsito, donde puede circular tanto agua rica en oxígeno hacia la zona anóxica del sedimento, como agua rica en sulfuro que remonta hacia la superficie atravesando las zonas ricas en oxígeno. En todo caso, en posición más alta o más baja, se encontrará en torno a los tubos un gradiente redox comparable, donde ocurre sucesivamente: la disolución y luego precipitación de la calcita; y después, la disolución de la calcita y precipitación de la sílice (si un exceso de sílice está disponible), lo que está en el origen de la formación de los Paramoudras en torno a los tubos.

Esta es la explicación general. Obviamente, muchos otros detalles dependerán de las características, condiciones locales y equilibrios químicos que ocurren en cada caso concreto. No obstante, la diagénesis del concrecionamiento es precoz, anterior a la compactación del sedimento.

LOS PARAMOUDRAS DE JAIZKIBEL

Los intentos de clasificar los Paramoudras de Jaizkibel no escapan a un problema paleoichnológico que es general. Los tubos o madrigueras de los organismos que originan los Paramoudras son variados, y generan concreciones variadas (en dimensiones, naturaleza petrográfica, morfología). En muchos casos, en ausencia de la concreción, la traza fósil pasaría desapercibida. Como bien señala BRETON (2006), la concreción no es la traza fósil, y el modo de obrar correcto en ichnología consiste en describir y denominar la traza, y no el conjunto traza-concreción; esta última no es tomada en cuenta, salvo para precisar el contexto sedimentológico y diagenético que ha permitido preservar la traza fósil (= ichnofósil).

A nosotros, no especialistas en la materia, nos resulta esto un tanto contradictorio, ya que precisamente la traza fósil es lo más difícil de observar. Pero independientemente de nuestra opinión, no existe una clasificación de los Paramoudras en base a las características de las concreciones, existiendo sólo una clasificación ichnológica basada en las trazas fósiles. Los caracteres diagnósticos de los ichnotaxa, según la bibliografía revisada, se circunscriben básicamente al diámetro y longitud observada de los tubos o madrigueras, su disposición espacial (si comporta tramos verticales, horizontales, inclinados, sinuosos, en U, y sus dimensiones observadas respectivas), si son ramificados o no y cómo (en Y, con ramificaciones laterales, verticales, etc.), y no siempre una breve referencia a la litología de la concreción y de la formación geológica en que fue hallada la muestra que se toma como holotipo, aunque estos últimos no son caracteres diagnósticos.

Nuestros datos preliminares son muy escasos y no permiten una identificación específica segura. Nos inclinamos a creer que se trata de ichnotaxa nuevos, aunque dos de los tres probables ichnotaxa considerados muestran bastantes similitudes (no una coincidencia total) con *Felderichnus (Bathichnus) multiturbatae* (Felder, 1980), y *Caletichnus complicatus* Breton, 2006, resultando del todo incierto el tercero. Un diagnóstico definitivo de los nuevos ichnotaxa requiere de más datos, que de momento están faltando, y probablemente es preferible que sus descripciones sean abordadas por taxónomos expertos en la materia.

BIOLOGIA DE ORGANISMOS DE LOS PARAMOUDRAS

En bioichnología, la posición taxonómica del animal que origina el tubo o madriguera es habitualmente desconocida. Así que los ichnotaxa describen el dominio o habitáculo del animal, pero poco a nada se sabe respecto al animal en sí. Es su traza fósil lo que se clasifica. Las concreciones en torno a las madrigueras de organismos minadores y tubícolas marinos son en general de poca profundidad (unos pocos decímetros). En la naturaleza actual se sabe que los excavadores evolucionan en el primer metro de sedimento. Las mayores galerías verticales abiertas en sedimentos marinos profundizan 2 m de longitud bajo la superficie del sedimento, con 0,5 á 1,2 mm de diámetro (*Trichichnus* isp.), en turbiditas pelágicas profundas (WEAVER & SCHULTHEISS, 1983). Los Paramoudras pueden extenderse verticalmente 9 m en el sedimento, penetrando las partes profundas de los tubos en la zona

anóxica rica en sulfuros del sedimento. Los trayectos horizontales de los Paramoudras pueden alcanzar una longitud de 29 m en *Bathichnus paramoudrae*, aunque se desconoce si estaban excavados o no en zona anóxica. Pero el animal *Bathichnus* sigue siendo un enigma.

Los dos grandes grupos de animales que son hipotéticos candidatos para generar Paramoudras, sobre todo en sedimentos oceánicos profundos como las turbiditas de Jaizkibel, son los poliquetos (Annelida: Polychaeta) y los pogonóforos (Pogonophora). Adicionalmente han sido mencionados los nemertinos (Nemertinea o Rhynchocoela), por su morfología elongada y filiforme (BROMLEY et al., 1975b), pero estos gusanos próximos a los platelmintos viven generalmente sobre fondos blandos (de limo o fango), son predadores y raramente forman tubos semi-permanentes, por lo cual nos parece muy improbables candidatos para originar las estructuras tubulares y concreciones de los Paramoudras en las areniscas de Jaizkibel. No obstante, conviene recordar que es poco o nada lo que conocemos sobre invertebrados de estos grupos para el Eoceno.

Los poliquetos constituyen una clase dentro del phylum de los anélidos y son esencialmente marinos. Algunos con aspecto de ciempiés caminan sobre el fondo marino o nadan con ondulaciones de su cuerpo, pero en su gran mayoría son sedentarios y viven en tubos que construyen sobre o enfeudados en el sedimento, y cuya constitución es muy variada; unas veces son de caliza, otras de una sustancia semejante al pergamino, otras gelatinosos, o están formados por granitos de arena o hacen galerías, verdaderas madrigueras que excavan en materiales blandos, como el fango y la arena, a las que dan consistencia con el mucus que elaboran, o en otros más duros, como rocas y caparazones de moluscos. Las formas de sus tubos suelen ser características.

Los poliquetos abundan en la región litoral, aunque también viven en los grandes fondos como la serpula abisal, *Placostegus benthalianus,* y la terebela de las profundidades, *Leaenea abyssorum.* En la expedición del “Galathea”, barco danés que efectuó importantes investigaciones oceanográficas en 1950-52, se colectaron poliquetos hasta 10.150 m de profundidad, como la interesante macelicéfala abisal, *Macellicephala profundorum*, y los quesun, *Kessun abyssorum*. Más próximo a nosotros, en el medio litoral, el poliqueto *Timarete tentaculata* vive enfeudado en limos ricos en sulfuro y extiende sobre el sedimento los filamentos branquiales que le permiten respirar. Los arenicólidos y serpúlidos construyen tubos rectos, sinuosos y en U, y son frecuenten excavadores y formadores de tubos en medios arenosos y fango-arenosos. Algunas especies son extremófilos y colonizaron las aguas dulces subterráneas a partir de ancestros marinos, como *Troglochaetus beranecck*i, perteneciente a la familia Nerillidae (Archiannelida), representada también en la fauna intersticial, o el serpúlido constructor de tubos calcáreos *Marifugia cavatica*, troglobio de las cavernas de la región de los Balcanes (ex-Yugoslavia). Esta última, y otras especies tubícolas, construyen curiosamente miles de tubos calcificados, disponiendo en su penacho branquial de un filamento modificado y terminado en un opérculo o tapita cónica que le permite cerrar el tubo cuando se repliega a su interior.

Los pogonóforos (Pogonophora ó Vestimentifera) son animales exclusivamente marinos, sedentarios y tubícolas, que viven en fondos profundos. Su tamaño varía de 5-35 cm de longitud por 1-2,5 mm de ancho. Su posición en la escala zoológica ha sido muy discutida desde su descubrimiento en 1914. En un principio fueron considerados por algunos zoólogos como anélidos poliquetos, en tanto que para otros se trataba de forónidos, mientras que no faltaban los que formaban con ellos una clase relacionada con los hemicordados. La posición más generalizada actualmente entre los zoólogos es que, si bien sus afinidades con los hemicordados son indudables, constituyen en realidad un phylum independiente -Pogonophora-, que debe incluirse entre los Deuterostomios.

Los tubos en que se alojan los pogonóforos son elaborados por el mismo animal. En la mayoría de los casos los tubos son de mayor longitud que la del cuerpo del animal, lo que le permite a éste encontrar protección y refugio en el mismo. En algunas formas la longitud del tubo es desproporcionada en relación al animal que aloja, pues en tanto dicho animal no pasa de 35 cm, el tubo puede llegar a medir hasta 1,5 m. Los tubos se mantienen en el fondo en posición vertical y en determinados lugares forman colonias numerosas, sobre varios km^2 de extensión. En su región cefálica posee uno o varios tentáculos, generalmente muchos, a veces más de 200. El animal adulto carece de tubo digestivo; la digestión es externa y la efectúan ciertas células de los tentáculos, llamadas pínnulas, con cierta analogía con las vellosidades intestinales, ya que a través de ellas absorben las sustancias de la digestión. Los pogonóforos se alimentan de partículas orgánicas o microorganismos que capturan al filtrar el medio con sus tentáculos, que para ello presentan estructuras curiosas. La semejanza de dichos tentáculos con los pelos de una barba fue causa de la denominación del grupo (del griego *pogon* = barba y *phoros* = llevar). Son abundantes en los fondos del Atlántico Norte, y cerca de las costas de América tropical fueron capturadas también varias especies. Entre los 2.950 y 3.190 m de profundidad, en el Golfo de Panamá, viven p.ej. dos lamelisabelas, *Lamelisabella ivanovi* y *L. zachsi*. En el mismo golfo y análoga profundidad se encuentra el *Krampolinum galathea*, primer pogonóforo descubierto en los mares americanos. Más recientemente han sido hallados pogonóforos en las chimeneas negras o hot vents, donde parecen utilizar directa o indirectamente (vía bacterias quimioautótrofas de su trofosoma) el sulfuro de hidrógeno H_2S o los sulfuros del medio. El verme de Pompéi *Alvinella pompejana*, así como otros organismos de las chimeneas negras, son consumidores de una producción primaria asegurada por bacterias quimioautótrofas, pero los animales siguen siendo aerobios, provistos de branquias y utilizan el oxígeno del agua de mar.

También existen comunidades de productores primarios (= bacterias quimioautótrofas del ciclo del azufre) y consumidores aerobios en la proximidad de fuentes frías, e incluso en las carcasas en descomposición de grandes vertebrados marinos y en torno a masas de materia orgánica de diverso origen.

Tanto poliquetos como pogonóforos constituyen grupos con especies capaces de vivir en medios reductores y ricos en sulfuros, bien sea gracias a la presencia de bacterias simbióticas, o bien gracias a estrategias de detoxicación (GLÉMAREC & GRALL, 2000). Veamos a continuación algunas hipótesis sobre los Paramoudras.

Ejemplos de surcos de eliminación o gangas de distinta litología, entre las concreciones esféricas perforadas y la roca-caja. Nótese que algunas gangas, de menor densidad, son margosas; otras incluyen capas alternas ferruginosas más duras.

Diversos ejemplos en los que se aprecia los surcos de eliminación, orificios centrados en el polo superior de las geoformas y algunas perforaciones, incluso con continuidad a través de la roca-caja adyacente.

El microlapiaz litoral en la zona intermareal enmascara las geoformas. Mientras que en las paredes y abrigos que se ven al fondo, a izquierda y derecha, la arenización de la roca por disolución pseudokárstica intergranular permite apreciar diversos detalles.

En la roca arenizada se aprecia la disposición en capas concéntricas de la ganga margoarcillosa que rodea a las concreciones. Mientras que en la orilla de la línea de costa, la erosión marina ha meteorizado las rocas y enmascara los detalles.

Diversos abrigos con roca arenizada, donde se aprecian envolturas concéntricas en la ganga en torno a concreciones.
En abrigos (como el de la imagen inferior derecha) puede observarse la parte inferior de algunas geoformas.

Bathichnus (y otras ichnoespecies similares que originan los Paramoudras) sería un fugichnion, la galería dejada por un organismo que acompaña hacia arriba una sedimentación rápida, pero esta hipótesis no explica las largas porciones de galerías horizontales encontradas. Otra hipótesis sugiere que generaciones sucesivas de una especie generarían sucesivos desarrollos de galerías hacia arriba, acompañando la sedimentación. También se ha sugerido la generación de los Paramoudras por animales vermiformes, de talla modesta, que residieran en las partes bajas de las galerías, alimentándose cerca de la superficie. O viviendo y alimentándose en las partes bajas de los tubos gracias a bacterias que utilizarían el sulfuro de hidrógeno. Ha sido postulada también la hipótesis de un pogonóforo de cuerpo muy largo y delgado que utilizaría el H_2S en zona profunda y anóxica, pero que podría desplegar su penacho tentacular en el agua de mar oxigenada. Pero todo ello son hipótesis. Y hasta la fecha no hay indicios suficientes para precisar la posición sistemática del animal-*Bathichnus*, pudiendo tratarse tanto de poliquetos como de pogonóforos, o incluso de algún grupo extinto o simplemente desconocido. En todo caso, las concreciones en torno a trayectos horizontales, deben formarse en la proximidad de la frontera redox, por tanto bastante alto en el biotopo del animal-*Bathichnus.* O también cabe la posibilidad de que las galerías excavadas, horizontales y verticales, sean construidas con la función de drenes para aportar agua al sistema subterráneo y así sostener o apoyar la utilización de sulfuros y su flora bacterial en la zona anóxica del sedimento.

Nuestra opinión en particular se aproxima a esta última manera de ver y sospechamos que los habitantes de las galerías fueron poliquetos. La hipótesis de los pogonóforos no concuerda demasiado bien con la existencia de galerías horizontales y ramificaciones, desconocidas para este grupo. Los poliquetos muestran una mayor diversidad en sus construcciones y pueden explicar tanto galerías horizontales como verticales y en U, así como galerías ondulantes, ramificadas horizontalmente y con bifurcaciones verticales en Y o en U. Por lo demás ambos grupos presentan requerimientos biológicos similares.

Particularmente nos llama la atención y dejamos abierto el interrogante de qué representa la enigmática “espícula” hallada en los Paramoudras de Jaizkibel. No hay reportes de una estructura similar en ninguna otra descripción de Paramoudras. Su forma cónica y puntiaguda no concuerda con la acción erosiva observada, que debería haber suavizado o rebajado ésta. Por lo que sospechamos que también puede tratarse del resto fósil de una parte cefálica del organismo, o del opérculo con que cerraba sus tubos. Esto se corresponde con la biología de algunos poliquetos, pero a la vez implicaría que no se trata sólo de galerías sino que estas pueden incluir los restos fósiles de los organismos marinos o parte de ellos, en este caso la región cefálica. En suma, que aún no conocemos en toda su complejidad dichos Paramoudras, probablemente nuevas especies, y que estos presentan caracteres de gran interés que seguramente podrán ser develados con investigaciones más minuciosas y técnicas analíticas más afinadas.

DISCUSION Y CONCLUSIONES

Las geoformas encontradas en Jaizkibel de tipo Paramoudras pueden explicarse por concrecionamiento en torno a galerías o tubos de organismos que excavaban los sedimentos arenosos. Los procesos físico-químicos involucrados en la formación de los Paramoudras son conocidos. Pero los organismos cavadores o constructores de tubos y galerías son desconocidos, así como casi todo sobre su biología y ecología.

Los Paramoudras son formados a lo largo de un gradiente redox, que permite primero la disolución y precipitación de la calcita, y luego la epigénesis de la calcita en sílice, dando origen al concrecionamiento silíceo. La diagénesis del concrecionamiento es temprana, anterior a la compactación del sedimento. El proceso total de diagénesis de las areniscas conlleva subsecuentes fases, en la cual los cementos carbonatados terminan por dar consistencia a las rocas. Durante la litificación de los fósiles o sus trazas ocurren cambios adicionales, que incluyen la descomposición de minerales y recombinación de sus constituyentes químicos en otros de nueva formación.

El entero proceso de diagénesis de las areniscas va frecuentemente acompañado por autigénesis: el crecimiento de nuevos minerales, formados en el sedimento (o incluso en la interfase con el agua) por reacciones agua-minerales. Una buena parte de su resultado depende de factores tales como la profundidad de enterramiento, la composición química y mineralógica del contenido detrítico del sedimento, y la composición del agua intersticial. Minerales micáceos tales como la glauconita y celadonita, sulfatos como la barita, fosfatos, los sulfuros de hierro y otros metales, son formados de este modo. Un resultado del crecimiento autigénico es también el flujo de elementos entre los minerales en descomposición, el agua de los poros y el agua de mar; buena parte del material liberado, tal como sílice y calcio, puede ser tomado para la construcción de nuevos minerales, pero otra parte es descargada al océano. La absorción compensante de elementos como el sodio y el potasio en los minerales de nueva formación, a veces llamados “sumidero”, ayuda entonces a regular la composición química de los océanos.

Como en nuestro caso tratamos de concreciones (Paramoudras y otros tipos de nódulos o concreciones esféricas de arenisca), conviene hacer alguna referencia a su formación, porque resulta -como veremos- más compleja de lo que habitualmente se acepta. De lejos las concreciones o nódulos mejor estudiados, dado su interés económico, son los depósitos de ferromanganeso. La producción de algunos óxidos e hidróxidos de hierro y manganeso puede ser considerada como autigénica. Estos depósitos incluyen a los bien conocidos, problemáticos y potencialmente valiosos, nódulos de manganeso.

Los nódulos de manganeso ocurren en todos los océanos y varían en tamaño desde micronódulos de 1 mm hasta otros de 20 cm o más, cubriendo a veces extensiones kilométricas sobre el fondo oceánico. Una revisión del origen de los nódulos de

manganeso fue efectuada por CRONAN (1976). Muchos, pero no todos los nódulos, contienen un núcleo sólido de roca o un fragmento mineral, también un diente de tiburón u otro fragmento de materia orgánica. En torno a este núcleo los minerales de manganeso se depositan en capas concéntricas de óxido (MnO_2), todorokita, y en menor proporción, birnessita. También formando cortezas, sobre rocas duras como el basalto, pero no hay indicación de migración elemental entre la corteza y el sustrato. A pesar de su valor económico (ya que además de manganeso suelen contener cobalto, níquel, cobre y hierro) no hay acuerdo sobre cómo se produce su formación. Una de las principales hipótesis postula que el manganeso que forma los nódulos procede de manganeso en solución en el agua de mar (hidrogenada). Otras teorías incluyen su precipitación diagenética en el sedimento y su subsecuente migración hacia la superficie, del mismo modo que el hierro; no obstante, el hierro es menos móvil y tiende preferencialmente a formar sulfuros. Un tercer cuerpo de teorías postula la derivación del manganeso (y del hierro) desde actividad hidrotermal y por alteración del basalto de la corteza oceánica. Los nódulos entonces se acrecionan en superficie a una tasa estimada en varios mm por millón de años, la cual es similar a la tasa estimada de acumulación de metales en el sedimento.

Los nódulos son hallados con menor frecuencia a más de 2 m bajo el suelo oceánico, pero la razón para esto no es claramente entendida: antes se pensaba que los nódulos sólo podían ocurrir en la superficie, y los nódulos bajo la misma serían re-disueltos tras su enterramiento. Pero la cuestión es que ocurre. Entonces han sido invocados procesos biológicos a lo largo de un gradiente redox, mostrando una correlación entre la composición de los nódulos y la productividad biológica de las regiones en que ocurren.

Un segundo grupo de sedimentos de ferromanganeso o metalíferos son considerados de origen hidrotermal o metasomático. Actualmente es ampliamente aceptado que células de convección hidrotermal operan a través de la corteza de la Tierra y cuando tales células chocan sobre basaltos de reciente erupción, como en los flancos de las dorsales oceánicas y zonas de rifting, se produce mucha alteración y lixiviación de los basaltos a considerable profundidad. Algunos elementos, como el manganeso y el hierro, se oxidan y precipitan más rápidamente que otros en la superficie del suelo oceánico, en la interfase agua-sedimento, y son depositados relativamente rápido como sedimentos metalíferos. Tal actividad ocurre particularmente en áreas con alto flujo de calor, usualmente en los flancos de dorsales en expansión, pero también en zonas activas fuera de las dorsales (KEMPE, 1981).

Sirva esta breve referencia anterior simplemente para indicar la complejidad de los procesos de formación de nódulos y concreciones en el fondo oceánico. Y cómo pueden intervenir muchos factores. Particularmente, debido a que en la arenisca de la Formación Jaizkibel son muy frecuentes los nódulos y concreciones esféricas no asociadas a ichnofósiles, además de las constituyentes de los Paramoudras descritas en este trabajo, creemos que una hipótesis plausible para explicar ambas cosas sería la presencia durante el Eoceno de convección hidrotermal, bajo el relleno de turbiditas, lo que podría dar lugar a emisiones hidrotermales o incluso a chimeneas submarinas con emisiones de sulfuro de hidrógeno. En torno a ellas, como ocurre en torno a los hot vents, puede exacerbarse la proliferación de raros organismos y bacterias capaces de utilizar directa o indirectamente las emisiones de sulfuros. En zonas más alejadas de estas fuentes, cualquier resto orgánico o partícula mineral distinta podría también servir de núcleo catalizador de las reacciones que producen nódulos y concreciones esféricas. Esta hipótesis resulta atractiva porque también encaja con la complejidad tectónica que presenta la cuenca Eocénica del País Vasco. Incluso actualmente la región de estudio está situada en una zona compleja y muy poco investigada, entre la cordillera de subducción del margen noribérico y la cadena de colisión de los Pirineos. La zona de rifting en que se produjo la apertura del Golfo de Vizcaya es luego seguida de fases compresivas, durante la orogénesis pirenaica, que dejan abierto un amplio margen para la ocurrencia de fenómenos geotérmicos e hidrotermales bajo el relleno de turbiditas Eocénicas.

En todo caso, aunque la génesis de los Paramoudras puede explicarse por fenómenos físico-químicos, debe haber otros factores que den cuenta de la gran cantidad de concreciones esféricas que presenta la Formación Jaizkibel, hecho hasta ahora no explicado satisfactoriamente o que no ha sido abordado por los geólogos.

Como principales conclusiones expresamos las siguientes:

1. La ocurrencia en Jaizkibel de numerosas concreciones esféricas de arenisca, incluidas en una matriz también de arenisca.

2. La ocurrencia en un área local de concreciones esféricas y cilíndricas con orificios con espículas y estructuras perforantes, reunidos bajo la denominación de Paramoudras, los cuales comprenden ichnofósiles y concreciones silíceas en torno a ellos.

3. La ocurrencia de ejemplos por demás notables de geoformas debidas a Paramoudras.

4. La existencia de nuevos ichnotaxa de Paramoudras, en proceso de estudio, y aún no descritos.

5. La hipótesis de que los tubos de los ichnofósiles corresponden a poliquetos marinos no conocidos. Menos probablemente podrían incluir pogonóforos, o incluso especies de ambos grupos.

6. La probable relación entre la ocurrencia de los Paramoudras con fenómenos de actividad hidrotermal y emisiones de sulfuro de hidrógeno, asociadas a la posición de la región en una zona geológicamente compleja en el límite entre las placas continentales Ibérica y Europea.

7. El interés científico que reviste este hallazgo y el interés en proseguir con investigaciones más detalladas en el pseudokarst de Jaizkibel.

Al respecto, abrimos las puertas a la colaboración de investigadores que deseen profundizar en el estudio de los Paramoudras de Jaizkibel y agradecemos cualquier sugerencia o comentario crítico que tengan a bien hacernos llegar. En este momento nos están faltando medios para cosas tan simples como efectuar cortes seriales de muestras de roca, o análisis de muestras y determinaciones con analítica más afinada. Así que agradecemos cualquier ofrecimiento o colaboración en este sentido.

Orificios y perforaciones laterales en diversos Paramoudras. Nótese que también se presentan algunos orificios sobre la roca-caja.

Grandes Paramoudras cilíndricos, con desarrollos serpentiformes subhorizontales, de hasta 6 m de largo. Nótese los estrangulamientos, bifurcaciones y trayectos perforando la roca-caja. El ancho aproximado de las imágenes es de 8 m.

Abrigo donde pueden observarse concavidades vaciadas y restos de las envolturas de las concreciones, con óxidos de hierro.

Cavidades naturales en abrigos, con concreciones esféricas y ganga de separación en capas concéntricas parcialmente meteorizadas.

AGRADECIMIENTOS

A todos aquellos colaboradores y amigos que nos han acompañado en las recientes salidas de campo y exploraciones efectuadas en Jaizkibel. De modo especial dedicamos este trabajo a Daniel Adrián Decon, compañero de muchas salidas al litoral guipuzcoano y quien despertó nuestro interés por explorar el pseudokarst de Jaizkibel. Agradecemos al personal de laboratorio de Cementos Rezola (Italcementi Group) por su invalorable ayuda en el análisis de muestras. A Franco Urbani (Dpto. Geología, Universidad Central de Venezuela & Sociedad Venezolana de Espeleología -SVE-), Ascanio Rincón (paleontólogo del Centro del Ecología del IVIC & SVE) y Luis Viera (Dpto. Geología, Sociedad de Ciencias Aranzadi) por su ayuda en la obtención de bibliografía, comentarios críticos y útiles sugerencias.

BIBLIOGRAFIA

ALLER, R. C. 1982. The effects of macrobenthos on chemical properties of marine sediments and overlaying water. In: McCall, P.L. & Tevesz, M.J.S. (Eds.), Animal-Sediment Relations. The biogenic alteration of sediments. Plenum Press, New York. Pp: 53-102.

BAUDIN, F. 1999. Sédimentologie de la matière organique. Bull. Ass. Géol. Auboise, 20: 49-83.

BRETON, G. 2006. Paramoudras et autres concrétions autour d´un terrier. Bull. Inf. Géol. Bass. Parris, 43 (3): 18-43.

BROMLEY, R.; CURRAN, H.; FREY, R.; GUTSCHICK, R. & L. SUTTNER. 1975a. Problems in interpreting unusually large burrows (Cretaceous and Paleocene burrows. R: Bromley). In: Frey, R. (Ed.). The study of trace fossils. A synthesis of Principles, Problems and Procedures in Ichnology. Springer Verlag., Berlin, Heidelberg, New York. Pp: 351-376.

BROMLEY, R.G.; SCHULZ, M. & N. B. PEAKE. 1975b. Paramoudras: giant flints, long burrows and the early diagénesis of chalks. Mus. Min. et Geol. Univ. Copenhague, 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.

CRONAN, D. S. 1976. Manganeso nodules and other ferro-manganese oxide deposits. In: Riley, J. P. & Chester, R. (Eds.) Chemical oceanography, vol. 5, London, Academic Press. Pp: 217-263.

FELDER, W.M. 1971. Een bijzondere vuursteenknol. Grondboor en Hamer, 2: 30-37.

GALAN, C.; J. RIVAS & M. NIETO. 2007. Pseudokarst dans les grès du flysch littoral Éocène, Gipuzkoa, Pays Basque Espagnol. Spelunca, FFS, 109: 12 pp (en prensa). + Pag web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 44 pp.

GALAN, C.; J. RIVAS & M. NIETO. 2008. Estructuras de corriente en turbiditas del flysch Eoceno. Pseudokarst en arenisca, Gipuzkoa (País Vasco). Pag web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 32 pp.

GLEMAREC, M. & J. GRALL. 2000. Les groupes écologiques et zoologiques d´invertébrés marins face aux dégradations de l´environnement côtier. Bull. Soc. Zool. Fr., 125 (1): 37-48.

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.

JORDAN, R. 1981. Sind submarine Gas - und Schlammvulkane in der Schreibkreide - Fazies Nordwesteuropas Anla fur die Genese der Paramoudras? N. Jahrb. Geol. Paläontol. Monasthefte, 7: 419-424.

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.

KEMPE, D. R. C. 1981. Deep ocean sediments. In: Cocks, L. R. M. The Evolving Earth. British Museum (Natural History), Cambridge Univ. Press, III (7): 103-120.

KRUIT, C.; BROUWER, J. & P. EALEY. 1972. A Deep-Water Sand Fan in the Eocene Bay of Biscay. Nature Physical Science, 240: 59-61.

LYELL, C. 1838. Elements of Geology. John Murray Ed., London, 794 p.

MUTTI, E. 1985. Turbidite systems and their relations to depositional sequences. In: Provenance from arenitas. Proceeding Nato-Asi meeting, Cetrazo-Cosenza, Italy. Reidel Publ. Co., Dordrecht, Netherlands, 65-93.

NELSON, C.; F. SCHELLENBERG; P. KING; B. RICKETTS; P. KAMP; G. BROWNE & K. CAMPBELL. 2004. Note on paramoudra-like carbonate concretions in the Urenui Formation, North Taranaki: possible plumbing system for a Late Miocene methane seep field. 2004 New Zealand Conference Proceedings, 7-10 March 2004, pp: 1-5.

NYAGAARD, E. 1983. Bathichnus and its signifiance in the trace fossil association of Upper Cretaceous Chalk, Mors, Denmark. Danm. Geol. Unders., rb (1982): 107-137.

ROBLES, S.; V. PUJALTE & J. GARCIA-MONDEJAR. 1988. Evolución de los sistemas sedimentarios del Margen continental Cantábrico durante el Albiense y Cenomaniense, en la transversal del litoral vizcaíno. Rev. Soc. Geol. España, Márgenes continentales de la Península Ibérica, Vol. 1 (3-4): 409-441.

ROSELL, J. 1988. Ensayo de síntesis del Eoceno sudpirenaico: El fenómeno turbidítico. Rev. Soc. Geol. España, Márgenes continentales de la Península Ibérica, Vol. 1 (3-4): 357-364.

ROSELL, J.; REMACHA, E.; ZAMARANO, M. & V. GABALDON. 1985. Serie turbidítica del Cretácico Superior del País Vasco. Bol. Geol. Min., 96: 361-366.

TOYTON, R. & D. W. PARSONS. 1990. The compactation history of a composite flint and his host sediment. Proc. Geol. Ass., 101 (4): 315-333.

VAN VLIET, A. 1982. Submarine fans and associated deposits in the Lower Tertiary of Guipúzcoa (Northern Spain). Thesis Doct., Univ. Utrecht, Netherlands, 180 pp.

WEAVER, P. & P. SCHULTHEISS. 1983. Vertical open burrows in deep-sea sediments 2 m length. Nature, 301: 329-331.

ZILJSTRA, H. 1995. The Sedimentology of chalk. Lectures notes in Earth Sciences, 54, Spinger Verlag, Berlin, New York, 194 p.