

# Registro excepcional de arqueociatos en los mares de Iberia

## Archaeocyathan exceptional record in the seas of Iberia

Elena Moreno-Eiris<sup>1</sup> y Silvia Menéndez<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Departamento de Paleontología. Facultad de Ciencias Geológicas. Universidad Complutense de Madrid. c/ José Antonio Novais, n.º 12. E-28040 Madrid. España*  
eiris@ucm.es

<sup>2</sup>*Museo Geominero. Instituto Geológico y Minero de España (IGME).  
c/ Ríos Rosas, n.º 23. E-28003 Madrid. España*  
s.menendez@igme.es

**PALABRAS CLAVE:** Arqueociatos, microbialitas, preservación, Cámbrico inferior, España

**KEY WORDS:** Archaeocyaths, microbialites, preservation, Early Cambrian, Spain

### RESUMEN

El registro excepcional de los bioconstructores del Cámbrico inferior constituye una de las evidencias de la denominada explosión cámbrica, entre los que destacan los microbios y los arqueociatos. En España el registro fósil de arqueociatos ofrece en diversas localidades ejemplos de una extraordinaria preservación, muchos de ellos están vinculados a la interacción con los microbios, constituyendo diferentes tipos de microbialitas.

### ABSTRACT

The exceptional record of Lower Cambrian bioconstructors is one of the evidences of the so-called Cambrian explosion, among which microbes and archaeocyaths. In Spain the archaeocyathan fossil record at various locations offers outstanding examples of preservation, many of them are linked to the interaction with microbes, forming different types of microbialites.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los mares someros que rodeaban a los terrenos emergidos de Iberia durante el Cámbrico inferior estaban poblados por una variada y curiosa fauna. Los organismos eran bentónicos sésiles como los arqueociatos, equinodermos y braquiópodos, bentónicos vágiles como los trilobites y moluscos primitivos, y nectónicos como los conodontóforos cuyas piezas denticulares, denominadas conodontos, son frecuentes en el registro fósil. Estas comunidades de animales, junto con los microbios, constituyeron las biotas marinas que iban a conquistar los mares cámbricos.

Durante la explosión del Cámbrico aparecen por primera vez de forma masiva en el registro los animales biomineralizados, lo que puede marcar el origen de los metazoos o puede que los animales evolucionaran antes y más tarde agregaron biominerales a sus tejidos. La aparición de la biomineralización en la base del Cámbrico incrementa enormemente el potencial de fosilización, por lo que muchos autores argumentan que el patrón de fósiles del Cámbrico es un artefacto debido a una mejor preservación de los restos. Así, algunos científicos basan sus puntos de vista sobre el origen de los animales en las pruebas de los procesos evolutivos, mientras que otros los basan en los patrones de fósiles, siendo un patrón fósil la información obtenida al clasificar los organismos que se observan en las secuencias de rocas. El patrón del registro Cámbrico es impresionante ya que en diferentes áreas del mundo aparece un patrón regular, en torno a los -543 hasta los -510 millones de años, que engloba el origen de la biomineralización, la diversificación de las estructuras corporales de animales, las primeras madrigueras complejas, el origen del sistema depredador-presa, la evolución de los primeros arrecifes de animales y la evolución del zooplancton (ANTCLIFFE, 2012).

## 2. BIOCONSTRUCTORES

Los primeros animales en el registro que participaron en bioconstrucciones son los representantes de los cnidariomorfos, *Cloudina* y *Namacalathus*, que aparecen por primera vez en Namibia, con una antigüedad de 548 a 549 millones de años, edad que corresponde al final del Neoproterozoico o Ediacárico. Estos fósiles representan organismos tubulares solitarios con un esqueleto de aragonito o calcita magnesiana (KOUCHINSKY *et al.*, 2012). En España también se han hallado restos de *Cloudina* en el Neoproterozoico terminal en varias zonas del centro de la península (ZHURAVLEV *et al.*, 2012).

Ya en el Cámbrico inferior, en torno a los -525 millones de años, aparecen los arqueociatos, grupo extinto de poríferos, cuya estructura esquelética y modos de crecimiento permitieron el desarrollo y evolución de las bioconstrucciones en las plataformas marinas someras cámbricas. Además, su esqueleto original, biomineralizado en calcita magnesiana, presentaba un gran potencial de preservación en el registro fósil.

Otro de los componentes importante en estas bioconstrucciones son los microbios, principalmente cianobacterias fotosintetizadoras, que se situaban en las zonas someras de las plataformas donde llegaba la energía lumínica. Estos microbios en su actividad metabólica generaban depósitos, lo que actualmente se denominan microbialitas. Las microbialitas se definen como depósitos organosedimentarios, que se desarrollan como resultado de la actividad biológica de una comunidad microbiana bentónica, que atrapa y fija sedimento detrítico y originan una precipitación mineral (BURNE & MOORE, 1987).

En la formación de las microbialitas calcáreas los procesos que intervienen incluyen: el atrape y fijación de sedimento detrítico formando *boundstones* microbianos, calcificación inorgánica formando tufa microbiana, y calcificación con influencia biológica formando *framestones* microbianos. Las estructuras internas de las microbialitas se identifican bien por los términos descriptivos los cuales no implican un origen en particular. Estos términos son estromatolítico, trombolítico, oncolítico, esférulítico y críptico. Estos tipos de microbialitas se asocian generalmente con los arqueociatos tanto en las bioconstrucciones cámbricas como en los sedimentos que tapizan los fondos marinos.

### 3. ARQUEOCIATOS: ESQUELETO BIOMINERALIZADO

Los arqueociatos constituyen la clase *Archaeocyatha* dentro del filo Porifera con un esqueleto calcáreo sin espículas, cuya microestructura es microgranular compuesta originalmente por calcita magnesiana. El esqueleto tiene forma de cáliz cuya arquitectura se compone de una o dos murallas porosas delimitando una cavidad interna o cavidad central respectivamente. Otros elementos esqueléticos que se pueden hallar en el intervalo o espacio entre las dos murallas son los septos porosos o aporosos, pseudoseptos, tenias, pseudotenias, malla pseudotenial, malla dictyonal, siringes y tábulas. Un grupo minoritario entre los arqueociatos lo constituyen aquellos que tienen una arquitectura diferente, de tipo quetétido, cuyo intervalo presenta cálices, y los de tipo talámido formados por cámaras sucesivas. Los cálices de los arqueociatos son solitarios o modulares, y en algunos se desarrolla un esqueleto calcáreo secundario. La distribución estratigráfica, considerando todas las áreas geográficas, se extiende a lo largo del Cámbrico, desde el Terreneuviense al Furongiense, es decir desde el inicio del Cámbrico hasta el Cámbrico superior (DEBRENNE *et al.*, 2012).

### 4. ARQUEOCIATOS: MICROESTRUCTURA Y PRESERVACIÓN

Los elementos esqueléticos de los cálices presentan una microestructura que HINDE (1889) describió como granulada, mientras que ZHURAVLEVA (1960) la definió como un mosaico de granos. Con posterioridad, y gracias a la incorporación de nuevas técnicas, como las láminas ultrafinas (de 3  $\mu\text{m}$  de espesor) y el microscopio electrónico, se obtuvieron observaciones con una resolución mucho más precisa. Los primeros resultados obtenidos con estas nuevas técnicas dictaminaron que el esqueleto está formado por cristales, en su mayoría poliedrales, con presencia de abultamientos y depresiones y con los ejes C orientados al azar (LAFUSTE & DEBRENNE, 1970). Esta estructura se denomina granular hipidiomorfa o micrítica. El tamaño de los granos es más o menos constante, aproximadamente 4 x 8  $\mu\text{m}$ , aunque pueden aparecer granos de tamaño mayor o menor, incluidos en un rango de tamaños entre 0,5 x 20  $\mu\text{m}$ .

Se supone que originalmente la composición del esqueleto primario de los arqueociatos es calcítico porque la microestructura es más fina que la que se esperaría de la recristalización del aragonito (KRUSE & DEBRENNE, 1989). Estudios petrográficos comparativos de las fábricas arrecifales y la fauna asociada, desarrollados en la península de Labrador por JAMES & KLAPPA (1983), llevan a los autores a la conclusión de que la composición original del esqueleto primario de los arqueociatos era probablemente de calcita magnesiana. Esta propuesta está apoyada también por la aparición de una forma común de inclusiones de microdolomita en el esqueleto de los arqueociatos (ZHURAVLEV, 1993).

Atendiendo a esta microestructura esquelética y a los diferentes procesos tafonómicos (cementación, neomorfismo, reemplazamiento...) que pueden afectar a los cálices, su conservación va a ser muy diversa, variando desde casos excepcionales a otros tipos de preservación muy deficientes. En cualquier caso, los procesos tafonómicos que han participado en la producción de los restos serán de gran importancia para ayudar en la determinación paleontológica de los mismos, así como en la interpretación del medio de sedimentación donde se han producido.

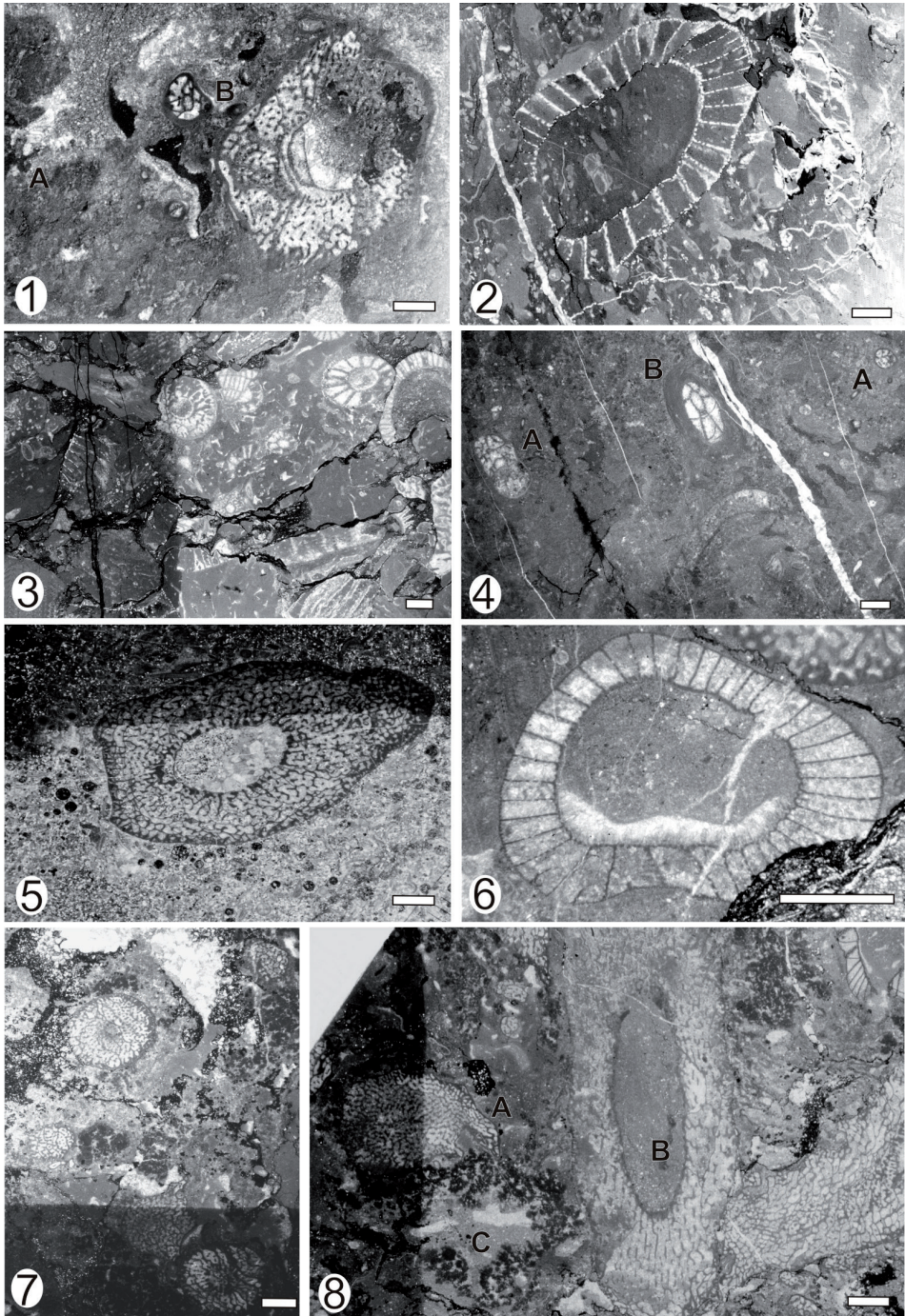
## 5. REGISTRO EXCEPCIONAL DE ARQUEOCIATOS EN ÍBERIA

En Iberia el registro de arqueociatos abarca desde el Ovetiense al Bilbiliense, que equivale en los pisos soviéticos desde el Atdabaniense al Toyoniense, gran parte del Cámbrico inferior. En diferentes localidades españolas podemos destacar una conservación excepcional de estos bioconstructores, asociados junto a los microbios y formando microbialitas con arqueociatos. Las localidades que destacamos son: Las Ermitas y Arroyo Pedroche (Córdoba) del Ovetiense inferior, Terrades (Gerona) del Ovetiense superior, Alconera (Badajoz) del Marianiense, y Valdoré, Crémenes y Salce (León) del Bilbiliense.

En el Cerro de las Ermitas las grandes bioconstrucciones, o montículos de dimensiones métricas, constituyen microbialitas cuyos componentes principales son cianobacterias identificadas como *Epiphyton*, con una estructura interna moteada o trombolítica (Fig. 1A [1]). En estas microbialitas aparecen de forma accesoria arqueociatos de diferentes tamaños, tanto cálices adultos como juveniles, y en ellos se desarrollan numerosas estructuras exotecales o estolones. La preservación de los elementos esqueléticos, constituidos por microesparita, facilita su identificación taxonómica, predominando los géneros *Nochoroicyathus*, *Neoloculicyathus* y *Protopharetra* (Fig. 1A [2]). El espacio intervalar y la cavidad central se rellenan por sedimento interno o cementos, originando en algunos casos rellenos tipo geopetal.

En las facies adyacentes a los montículos los arqueociatos alcanzan su máxima diversidad taxonómica con numerosos cálices de diferentes tamaños dispersos en una matriz micrítica, junto a otros componentes como espículas de esponjas, hiolitos y coeloscleritoforados. Estos fósiles son los restos o señales de los organismos que habitaban en el fondo marino, que quedaron enterrados en el sedimento micrítico de la plataforma, sin señales de removilización importantes, ya que los cálices no están muy fragmentados. La preservación de los arqueociatos es excelente y, en algunos casos, los elementos esqueléticos están silicificados por procesos neomórficos, como en *Nochoroicyathus* (Fig. 1B). Durante la compactación de estos sedimentos se producen estructuras nodulares como respuesta a los procesos de presión-disolución, produciéndose interpenetración de granos y microestilolitos, lo que origina que algunos bioclastos aparezcan rotos o truncados (Fig. 1C). En las facies de talud se encuentran lutitas con numerosos nódulos calcáreos; estos nódulos están formados por cálices de arqueociatos algo fragmentados por haber sufrido transporte (MORENO-EIRIS, 1988).

Fig. 1 (pág. opuesta). **A.** Microbialita con arqueociatos. Estructura trombolítica de *Epiphyton* (1). Cálices adultos y juveniles de *Protopharetra* (2). CE2401/1. Las Ermitas. Ovetiense inferior. **B.** Facies adyacentes a los montículos con numerosos bioclastos de arqueociatos, coeloscleritoforados, espículas de esponjas e hiolitos. Los elementos esqueléticos de *Nochoroicyathus* se encuentran silicificados. CE2303/1. Las Ermitas. Ovetiense inferior. **C.** Estructura nodular diagenética que origina la interpenetración de granos y microestilolitos. Los bioclastos aparecen rotos o truncados. CE2603/2. Las Ermitas. Ovetiense inferior. **D.** Cavidad ocupada por microbios quimitrofos y pequeños cálices de *Archaeocyathina* (1) y *Neoloculicyathus* (2) cuyo cáliz está rodeado por filamentos microbianos. 98CE1/11A. Las Ermitas. Ovetiense inferior. **E.** Facies oolíticas con numerosos bioclastos de trilobites y arqueociatos. Los cálices de *Protopharetra* presentan un grado de preservación excelente. CPI-1404/1. Arroyo Pedroche. Ovetiense inferior. **F.** Detalle de la porosidad de las murallas y septos en *Nochoroicyathus*, componente secundario de los montículos con estructura *framework*. CP1-1904/3. Arroyo Pedroche. Ovetiense inferior. **G.** Cálices coloniales



de *Agastrocyathus* que constituyen los montículos con estructura *framework*. CP1-2006/2. Arroyo Pedroche. Ovetiense inferior. **H.** Estructura *framework* con cálices de *Agastrocyathus* (1) y *Protopharetra* (2) ramificados y formas dendríticas de *Epi-phyton* (3). CP1-2006/2. Arroyo Pedroche. Ovetiense inferior. Escala gráfica: 2 mm.

La plataforma carbonatada del Cerro de las Ermitas se instaló durante el Cámbrico inferior sobre un paleorrelieve de rocas andesíticas neoproterozoicas, que durante varias fases de fracturación sinsedimentaria se rellenaron cavidades con diferentes episodios de ocupación y cementos. Las paredes de estas cavidades fueron colonizadas por microbios con estructuras estromatolíticas y trombolíticas, posteriormente se instalaron arqueociatos criptobiontes asociados a microbios quimiotrofos. La diversidad taxonómica de los criptobiontes está reducida a pequeños cálices de *Archaeocyathina* (Fig. 1D). En fases posteriores de relleno se encuentran arqueociatos de gran tamaño, junto a otros bioclastos resedimentados, dispersos en una matriz micrítica (VENNIN *et al.*, 2003; PEREJÓN & MORENO-EIRIS, 2007).

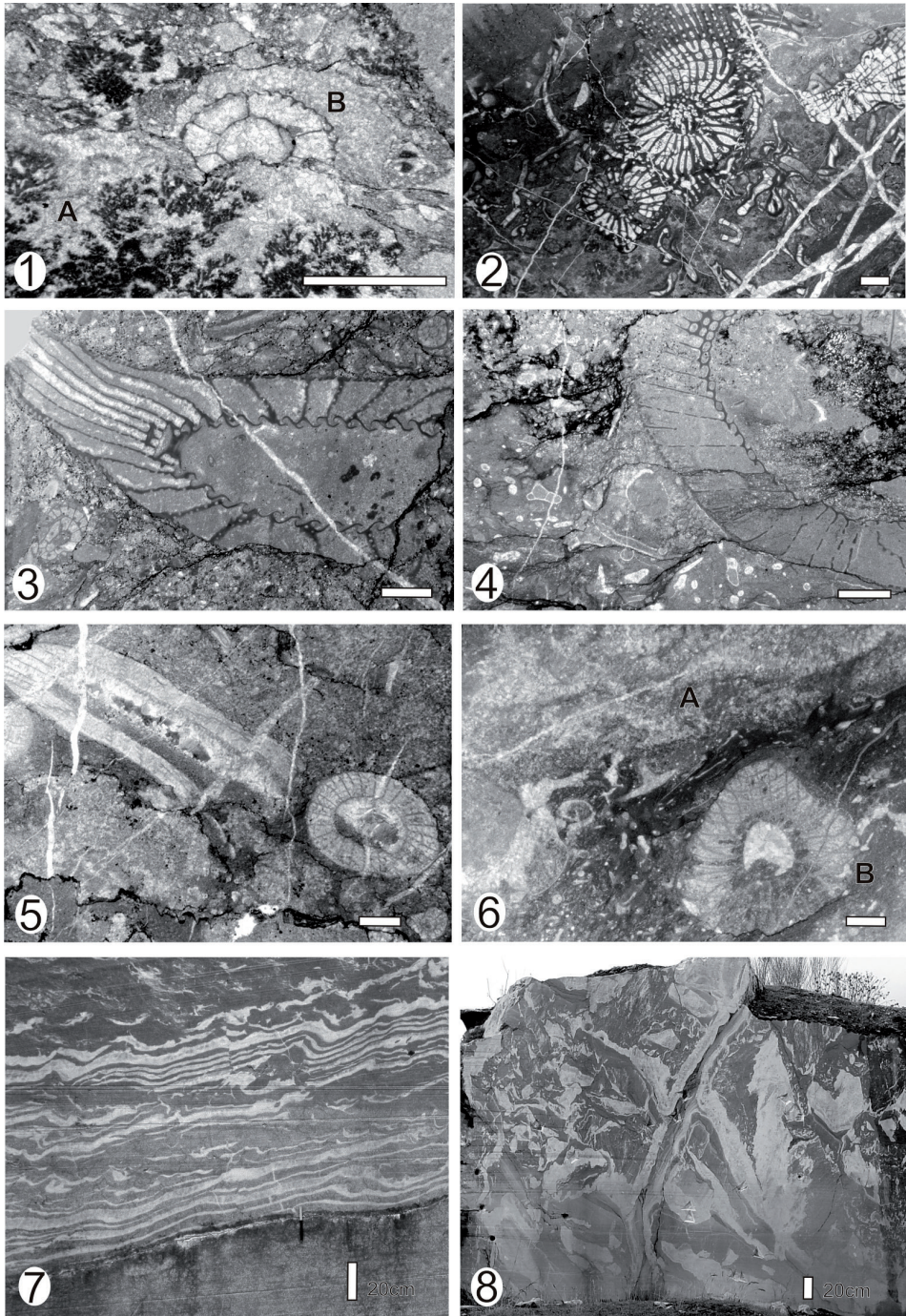
En Arroyo Pedroche se desarrolló una plataforma marina restringida somera, con importantes aportes de materiales siliciclásticos en algunos episodios, depositándose capas de areniscas, arcosas, lutitas y carbonatos con abundantes granos detríticos. Esta serie estratigráfica está formada por secuencias de somerización con una tendencia a disminuir la energía hidrodinámica del medio.

En los episodios carbonatados de mayor energía, con aportes de siliciclásticos, se depositaron gran cantidad de bioclastos, ooides y granos de terrígenos. Entre los bioclastos se hallan trilobites, braquiópodos, hiolitos y arqueociatos (Fig. 1E). En los niveles carbonatados, a techo de las secuencias, podemos distinguir varios tipos de microbialitas: estromatolíticas y trombolíticas, donde se puede identificar los taxones de cianobacterias *Epiphyton*, *Renalcis* y *Girvanella*, y otros componentes orgánicos: arqueociatos, trilobites, hiolitos y coeloscleritoforados. La conservación de los diferentes elementos esqueléticos de los cálices de arqueociatos en las diferentes facies es extraordinaria, pudiéndose apreciar detalles de la porosidad de las murallas y septos en *Nochoroicyathus* (Fig. 1F).

Como ejemplo especial de bioconstrucción hay que destacar la estructura formada por cálices coloniales que constituyen un *framework* o estructura rígida con resistencia al oleaje, donde se observan tanto ejemplares juveniles como adultos de *Agastrocyathus* (Fig. 1G), cuyos cálices están rodeados y envueltos por los microbios. En las formas coloniales de *Protopharetra* (Fig. 1H) se observan cálices que se ramifican formando una densa colonia (MORENO-EIRIS, 1988; PEREJÓN, 1989).

En el Pirineo catalán, concretamente en la localidad de Terrades (Gerona), aflora un interesante conjunto de microbialitas que tuvieron su desarrollo en una plataforma marina somera de edad Ovetiense superior. PEREJÓN *et al.* (1994) interpretaron la presencia de dos tipos diferentes de bioconstrucciones, uno de ellos está constituido fundamentalmente por cianobacterias o calcimicrobios, *Epiphy-*

Fig. 2 (pág. opuesta). **A.** Microbialita con arqueociatos. Estructura trombolítica ramificada de *Epiphyton* (1). Cáliz de pequeño tamaño de *Sekwicyathus*? (2). FI 303/2-11. Terrades. Ovetiense superior. **B.** Colonia de *Anthomorpha* con numerosas exoestructuras. FI 304/b. Terrades. Ovetiense superior. **C.** Muralla interna anular con sección en forma de S de *Taylorcyathus*, septos y muralla externa finamente porosa. FI 500C/4. Terrades. Ovetiense superior. **D.** Facies bioclásticas con *Nochoroicyathus* y abundantes restos de coeloscleritoforados. FI 404/1. Terrades. Ovetiense superior. **E.** Cálices recrystalizados y con relleno geopetal en las microbialitas trombolíticas del Miembro Sierra Gorda. A1C 302. Alconera. Marianiense. **F.** Microbialitas del Miembro La Hoya con estructuras dendríticas de *Epiphyton* (1), cáliz con tábulas de *Coscinocyathus* (2) y numerosos coeloscleritoforados, todos ellos con cierto grado de recrystalización. A2 118/3. Alconera. Marianiense. **G.** Estromatactis en la base de un montículo, cuya estructura bandeada está truncada por eventos de



inestabilidad en la plataforma. Miembro La Hoya. A1B. Alconera. Marianiense. **H.** Grandes cavidades generadas por la fracturación sinsedimentaria y rellenas de diferentes tipos de cementos. Miembro La Hoya. A1B. Alconera. Marianiense. Escalas gráficas: 1-6, 2 mm; 7 y 8, 20 cm.

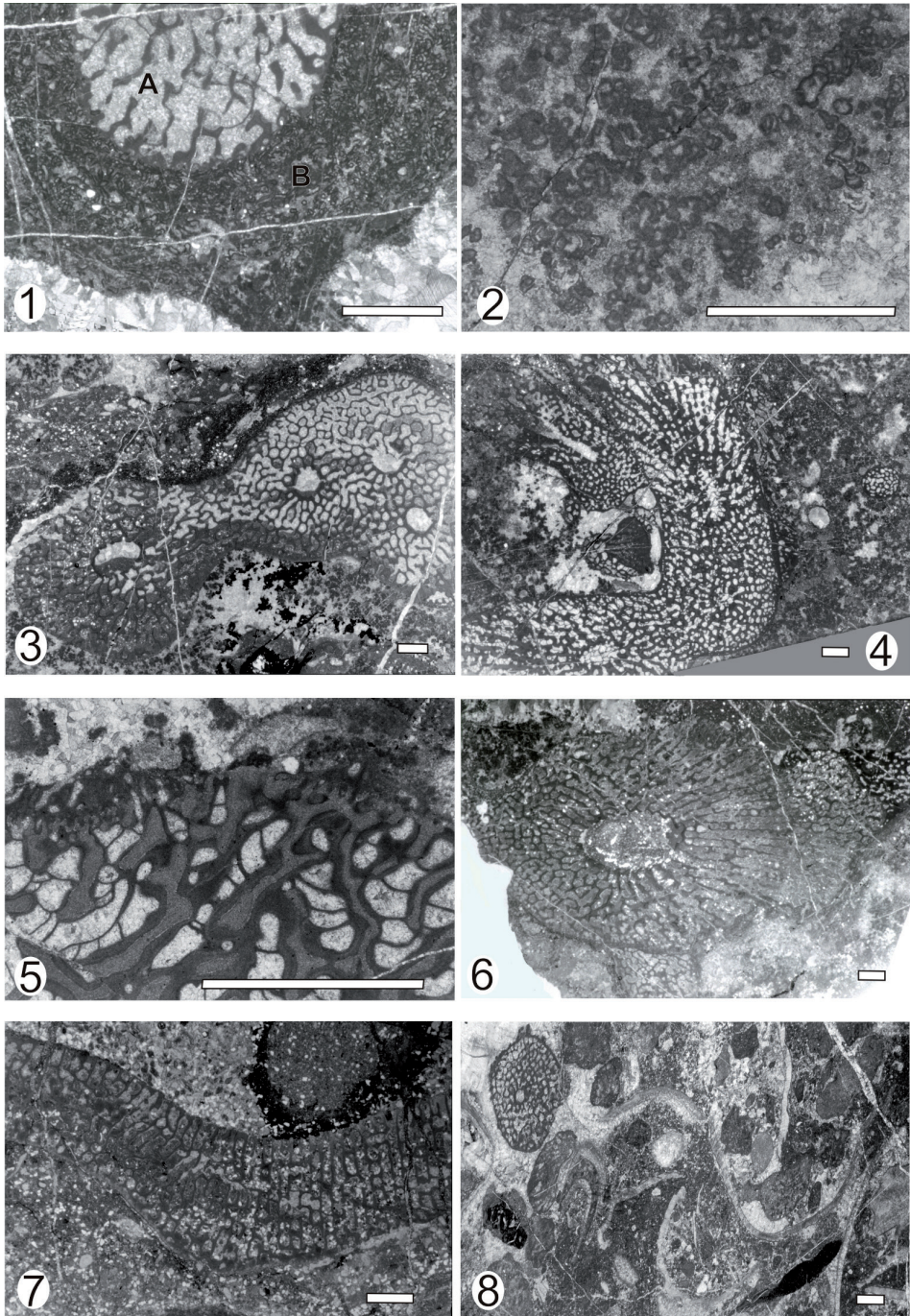
ton y *Renalcis*, y en menor proporción *Girvanella*. Los componentes esqueléticos o arqueociatos se distribuyen de forma dispersa y su tamaño oscila entre 0,5 y 3 mm de diámetro, cuyos cálices se encuentran encostrados o rodeados por los calcimicrobios (Fig. 2A). El segundo tipo de bioconstrucciones presentan dimensiones más reducidas que los anteriores y en las secciones estratigráficas aparecen en posición suprayacente a estos. En este caso los componentes principales son los arqueociatos, formando colonias ramificadas rodeadas de estructuras microbianas, como principales bioconstructores destacan los géneros *Anthomorpha* (Fig. 2B) y *Erismacoscinus*. Los cálices pueden llegar a alcanzar grandes dimensiones, hasta 70 mm de diámetro, y presentan un importante desarrollo de exoestructuras que relacionan entre sí los cálices de las colonias. La conservación de los cálices de los arqueociatos en ambos ejemplos es realmente buena, preservándose incluso las delicadas estructuras asociadas a los diversos tipos de porosidad presentes en las murallas y los septos (Fig. 2C).

En las facies adyacentes a los montículos aparecen carbonatos con abundantes bioclastos, con una gran diversidad taxonómica entre los que destacan los arqueociatos, los cuales se encuentran generalmente resedimentados (por su estado de preservación). Otros bioclastos son: espículas de esponjas, trilobites, hiolitos, coeloscleritoforados (Fig. 2D) y restos de actividad microbiana como oncoides, peletoides y calcimicrobios.

MORENO-EIRIS (1988) describe una importante asociación de microbialitas que se desarrolló en una plataforma marina somera durante el Marianiense en la localidad de Alconera (Badajoz). En los niveles inferiores correspondientes al Miembro Sierra Gorda, las microbialitas alcanzan un gran desarrollo y se distinguen estructuras estromatolíticas y trombolíticas, estas últimas con una potencia de más de 100 m. Hacia el techo de esta serie aparecen escasos cálices de arqueociatos con tábulas (Fig. 2E).

Los niveles inferiores del Miembro La Hoya lo constituyen numerosos montículos superpuestos de dimensiones decamétricas que progradan hacia el norte actual. También se observa un papel predominante de los calcimicrobios, *Epiphyton* básicamente, frente a los arqueociatos, en el desarrollo de las facies bioconstruidas descritas. La conservación de estas masas de *Epiphyton* no es buena ya que pueden aparecer afectadas por un proceso de recristalización, que puede alcanzar también, de forma parcial, a los cálices (Fig. 2F). Coexistiendo con los calcimicrobios y los arqueociatos se desarrollaron un tipo de cavidades denominadas estromatactis, que aparecen en la base de algunos de los edificios bioconstruidos (Fig. 2G). Se trata de una textura bandeada con láminas horizontales en las que se diferencia el sedimento primario alternando con una lámina de base generalmente plana u ondulada y el techo muy irregular. Se interpretan como cavidades deposicionales rellenas por un cemento calcítico muy temprano y que pueden ser originadas por el desarrollo de calcimicrobios. En esta ocasión lo relevante de este afloramiento es la preservación conjunta de este grupo de montículos superpuestos, en los que podemos distinguir varios episodios de dia-

Fig. 3 (pág. opuesta). **A.** Microbialita con arqueociatos. *Archaeocyathus* (1) rodeado por tubos de *Girvanella* (2). 93A8-7. Crémenes. Bilbiliense. **B.** Microbialita con arqueociatos. Detalle de las estructuradas cameradas de *Renalcis*, componente principal de las microbialitas. 95CR2a-3. Crémenes. Bilbiliense. **C.** Microbialita con arqueociatos. Colonia modular de *Archaeocyathus*. V91-3. Valdoré. Bilbiliense. **D.** Microbialita con arqueociatos. Colonia modular de *Archaeocyathus* con cálices ramificados. V91-5. Valdoré. Bilbiliense. **E.** Detalle del cáliz de *Archaeocyathus* con el desarrollo de estereoplasma. 95CR1H/5. Crémenes. Bilbiliense. **F.** Cáliz solitario de



*Pycnoidocyathus*. 93A8-15. Crémenes. Bilbiliense. **G.** Cáliz en forma de plato de *Ökulitchicyathus*. 99V2A-2. Valdoré. Bilbiliense. **H.** Facies bioclásticas con arqueociatos, braquiópodos, oncoides, peletoides y trilobites. SAL/3-2a. Salce. Bilbiliense. Escala gráfica: 2 mm.

génesis temprana y de fracturación sinsedimentaria, rellenando las cavidades con diferentes cementos (Fig. 2H) (VENNIN *et al.*, 2001).

Durante la última etapa del Cámbrico inferior, piso Bibiliense, el auge de los arqueociatos declina de forma notable. Las dimensiones de las bioconstrucciones decrecen considerablemente y su desarrollo en las plataformas marinas es muy esporádico. De ahí la importancia de su hallazgo y descripción. En España se han citado tres casos, todos ellos en la cordillera Cantábrica leonesa, en las localidades de Valdoré, Crémenes y más recientemente en Salce. ÁLVARO *et al.* (2000), PEREJÓN & MORENO-EIRIS (2003) y PEREJÓN *et al.* (2012), describen la presencia de pequeñas microbialitas no mayores de un metro de altura con calcimicrobios, entre los que predominan *Girvanella* (Fig. 3A) y *Renalcis* (Fig. 3B). Estas microbialitas presentan colonias modulares de *Archaeocyathus* (Figs. 3C, D) que constituyen una estructura *framework*. Los individuos de las colonias están altamente interconectados por el desarrollo de numerosas estructuras exotecales, además de presentar muchos de ellos abundante tejido vesicular cuya aparición determina el espesamiento de las tenias de forma considerable, denominado estereoplasma (Fig. 3E). Todas estas características confieren gran rigidez a estas colonias modulares.

En general, la diversidad taxonómica es muy escasa en las diferentes facies descritas, ya que solo aparecen cuatro géneros: *Archaeocyathus*, *Pycnocyathus* (Fig. 3F), *Okulitchicyathus* (Fig. 3G) y *Polythalamia*. En las capas bioclásticas, supra e infrayacentes, se encuentran también restos de trilobites, hiolitos, braquiópodos, placas de equinodermos y ostrácodos, además de peletoides y oncoides (Fig. 3H).

## 6. CONCLUSIONES

La preservación de las estructuras esqueléticas de los arqueociatos es considerablemente mejor en las facies donde se encuentran interrelacionados con los microbios, ya que estos generarían un microambiente que ofrecería mayor resistencia a los efectos de los diferentes procesos diagenéticos. En muchos casos se observan cálices rodeados y en otros la muralla externa está encostrada por filamentos, tubos, formas dendríticas o cameradas de microbios. Se distinguen varios tipos de microbialitas relacionadas con su estructura interna a mesoescala: masivas o crípticas, estromatolíticas, trombolíticas, oncolíticas y peloidales. En todos estos tipos se han encontrado arqueociatos asociados, principalmente en las trombolíticas, donde estas formas, con textura moteada o pequeñas columnas no laminadas, constituían las bioconstrucciones o tapizaban el fondo marino.

Por el contrario el estado de preservación de los restos orgánicos es de peor calidad en los materiales bioclásticos donde no predominan los microbios, ya que en el depósito de estas capas, donde la mayoría de los restos están resedimentados, estos han sufrido un transporte produciendo desgaste o fragmentación, además de estar afectados intensamente por los procesos diagenéticos, tales como compactación, disolución y recristalización.

## AGRADECIMIENTOS

A los organizadores de estas XII Jornadas Aragonesas de Paleontología en Ricla, la Asociación Cultural Bajo Jalón y el Área de Paleontología de la Universidad de Zaragoza. Al Dr. Antonio Perejón por la lectura y sugerencias al texto

original. A D. Carlos Alonso, técnico del Departamento de Paleontología de la UCM, por su inestimable ayuda en el tratamiento informático de las imágenes.

## BIBLIOGRAFÍA

- ÁLVARO, J.J., VENNIN, E., MORENO-EIRIS, E., PEREJÓN, A. & BECHSTÄDT, T. 2000. Sedimentary patterns across the Lower-Middle Cambrian transition in the Esla nappe (Cantabrian Mountains, northern Spain). *Sedimentary Geology*, **137**: pp. 43-61.
- ANTCLIFFE, J. B. 2012. Patterns in Palaeontology: The Cambrian explosion - Paradoxes and possible worlds. *Palaeontology Online*, **2** (8), pp. 1-12.
- BURNE, R.V. & MOORE, L.S. 1987. Microbialites: Organosedimentary deposits of benthic microbial communities. *Palaos* **2/3**: 241-254.
- DEBRENNE, F., ZHURAVLEV, A.YU. & KRUSE, P.D. 2012. Part E, revised, Volume 4, Chapter 19: Systematic descriptions: Archaeocyatha. *Treatise Online*, **50**: 1-186. [Access via <http://paleo.ku.edu/treatiseonline>].
- HINDE, G.J. 1889. On Archaeocyathus Billings, and other genera allied to or associated with it from the Cambrian strata of North America, Spain, Sardinie and Scotland. *Quarterly Journals Geological Society of London*, **45**:125-148.
- JAMES, N.P. & KLAPPA, E.F. 1983. Petrogenesis of early Cambrian reef limestones, Labrador, Canada. *Journal of Sedimentary Petrology*, **53** (4): 1051-1096.
- KOUCHINSKY, A., BENGTSON, S., RUNNEGAR, B., SKOVSTED, C., STEINER, M. & VENDRASCO, M. 2012. Chronology of early Cambrian biomineralization. *Geological Magazine*, **149** (2): 221-251.
- KRUSE, P. & DEBRENNE, F. 1989. Review of archaeocyath microstructure. *Memoirs Australasian Palaeontologist*, **8**: 133-141.
- LAFUSTE, J. & DEBRENNE, F. 1970. Observations en lames ultra minces de la microstructure d'archaeocyathes. *Comptes Rendus Sommaire des séances de la Société géologique de France*, **6**: 224-225.
- MORENO-EIRIS, E. 1988. Los montículos arrecifales de Algas y Arqueociatos del Cámbrico inferior de Sierra Morena. *Publicaciones especiales del Boletín Geológico y Minero (Reimpresión del I, II, III y IV fascículos del Tomo 98, año 1987, del Boletín Geológico y Minero)*, 1-127. Madrid.
- PEREJÓN, A. 1989. Arqueociatos del Ovetiense en la sección del Arroyo Pedroche. Sierra de Córdoba, España. *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural. Sección Geológica*, **84** (3-4): 143-247.
- PEREJÓN, A. & MORENO-EIRIS, E. 2003. Arqueociatos del Bilbiliense (Cámbrico Inferior) del manto del Esla, Cordillera Cantábrica, Norte de España. *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural. Sección Geológica*, **98** (1-4): 51-71.
- PEREJÓN, A. & MORENO-EIRIS, E. 2007. Ovetian cryptic archaeocyaths, lower Cambrian from Las Ermitas (Córdoba, Spain). In: HUBMANN, B. & PILLER, W.E. (eds.), Fossil Corals and Sponges. Proceedings of the 9th International Symposium on Fossil Cnidaria and Porifera. *Österreichische Akademie der Wissenschaften Schriftenreihe der Erdwissenschaftlichen Kommissionen*, **17**: 113-137.
- PEREJÓN, A., MORENO-EIRIS, E. & ABAD, A. 1994. Montículos de Arqueociatos y calcimicrobios del Cámbrico Inferior de Terrades, Gerona (Pirineo Oriental, España). *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural. Sección Geológica*, **89** (1-4), 55-95.
- PEREJÓN, A., MORENO-EIRIS, E., BECHSTÄDT, T., MENÉNDEZ, S. & RODRÍGUEZ-MARTÍNEZ, M. 2012. New Bilbilian (early Cambrian) archaeocyath-rich thrombolitic microbialite from the Láncara Formation (Cantabrian Mts, northern Spain). *Journal of Iberian Geology*, **38** (2): 313-330.
- VENNIN, E., ÁLVARO, J.J., MORENO-EIRIS, E. & PEREJÓN, A. 2003. Early Cambrian coelobiontic communities in tectonically unstable cervices developed in Neoproterozoic andesites, Ossa-Morena, southern Spain. *Lethaia*, **36** (1): 53-65.
- VENNIN, E., MORENO-EIRIS, E., PEREJÓN, A. & ÁLVARO, J.J. 2001. Fracturación sin sedimentaria y diagénesis precoz en las bioconstrucciones del Cámbrico inferior de

- Alconera (Ossa-Morena). *Revista de la Sociedad Geológica de España*, **14** (1-2): 75-88.
- ZHURAVLEV, A.YU. 1993. A functional morphological approach to the biology of the Archaeocyatha. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Abhandlungen*, **190**, 315-327.
- ZHURAVLEV, A.YU., LIÑÁN, E. GÁMEZ VINTANED, J.A., DEBRENNE, F & FEDOROV, A. 2012. New finds of skeletal fossils in the terminal Neoproterozoic of the Siberian Platform and Spain. *Acta Palaeontologica Polonica*, **57** (1): 205-224.
- ZHURAVLEVA, I.T. 1960. *Arjeotsiaty Sibirskoy Platformy. [Arqueociatos de la Plataforma de Siberia]*. 344 págs. Institut Geologii i Geofiziki Sibirskoe Otdelenie Paleontologicheskii Institut. Akademiya Nauk SSSR. Moskva. [En ruso].