



UNIVERSIDAD DE EXTREMADURA

FACULTAD DE CIENCIAS

Grado en **BIOLOGÍA**

MEMORIA DEL TRABAJO FIN DE GRADO

**EPIBIONTES EN HIOLITOS EXCEPCIONALMENTE
PRESERVADOS DEL CÁMBRICO DE PUROJOSA,
ZARAGOZA.**

ISMAEL GALINDO BUTENEGRO

JULIO, 2024

D./Dña. Mónica Martí Mus y Rolf Sören Jensen, profesores del Departamento del Área de Paleontología, del Departamento de Biología Vegetal, Ecología y Ciencias de la Tierra de la Universidad de Extremadura.

INFORMAN:

Que D./Dña. Ismael Galindo Butenegro ha realizado bajo su dirección el Trabajo Fin de Grado. Consideran que la memoria reúne los requisitos necesarios para su evaluación.

Badajoz, 4 de julio de 2024

Fdo. Mónica Martí Mus

Rolf Sören Jensen

ÍNDICE

1. RESUMEN	2
2. ABSTRACT	3
3. INTRODUCCIÓN	4
3.1. Morfología de los hiofítidos	7
3.1.1. Partes duras	7
3.1.2. Partes blandas	8
3.2. Epibiontes sobre los hiofítidos	9
4. OBJETIVOS	14
5. MATERIAL Y MÉTODOS	15
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	19
7. CONCLUSIONES	26
8. BIBLIOGRAFÍA	27

1. RESUMEN

Los hiolitos son un grupo de organismos con concha que existieron desde el Cámbrico inferior hasta el final del Pérmico. El taxón *Hyalitha* está compuesto por los hiolítidos y ortotécidos. A pesar de su relevancia en este periodo de tiempo, su filogenia sigue siendo incierta, aunque se los consideran generalmente como lofotrocozoos. Los hiolítidos poseen una concha con una cara ventral, una cara dorsal, un opérculo y 2 helens. Los epibiontes que se han descrito sobre los hiolitos son diversos: equinodermos, monoplacóforos, braquiópodos, briozoos y corales tabulados. Los epibiontes de este trabajo pertenecen a una especie de hiolítido que aún no ha sido descrita formalmente.

En el presente trabajo se investigó la presencia de epibiontes sobre la concha de una nueva especie de hiolítido del Yacimiento de Purojosa (Zaragoza) del Cámbrico medio y están preservados en nódulos de sílice. A partir de estos fósiles preservados como moldes naturales se han elaborado moldes de látex.

Se han encontrado 3 tipos de epibiontes diferentes: semiesféricos en forma de anillo y en forma de plataforma que podrían representar variantes preservacionales de un único epibionte. De todos los epibiontes que se han descrito sobre hiolítidos, los ejemplares descritos en el presente trabajo se parecen más a equinodermos y dentro de estos, a pequeños edrioasteroideos.

2. ABSTRACT

Hyaloliths are a group of shelled organisms that existed from the Lower Cambrian to the end of the Permian. The taxon Hyolitha is composed of the hyolithids and orthothecids. Despite their relevance in this time period, their phylogeny remains uncertain, although they are generally considered to be lophotrochozoans. The hyolithids possess a shell with a ventral face, a dorsal face, an operculum, and 2 helens. The epibionts that have been described on hyoliths are diverse: echinoderms, monoplacophorans, brachiopods, bryozoans and tabulate corals. The epibionts of this work belong to a species of hyolith that has not yet been formally described.

In the present work we investigated the presence of epibionts on the shell of a new species of hyolithid from the Purojosa site (Zaragoza) of the middle Cambrian and they are preserved in silica nodules. From these fossils preserved as natural casts, latex casts have been elaborated.

Three different types of epibionts have been found: ring-shaped and platform-shaped hemispherical epibionts that could represent preservational variants of a single epibiont. Of all the epibionts that have been described on hyolithids, the specimens described in the present work are more similar to echinoderms and within these, to small edrioasteroids.

3. INTRODUCCIÓN

Los hielitos son un grupo extinto de metazoos con concha, que empezaron a diversificarse en el Cámbrico inferior, cobrando pronto gran importancia y se extinguieron al final del Pérmico (Martí Mus 2014) (Fig 1). Son de los primeros metazoos biomineralizados y habitaron ambientes marinos del Paleozoico (Li *et al.* 2019).

EÓN	ERA	PERIODO	EDAD (Millones de años, Ma)	
FANEROZOICO	Cenozoico	Cuaternario	Actualidad - 2.58 Ma	
		Neógeno	2.58 - 23.3 Ma	
		Paleógeno	23.3 - 66 Ma	
	Mesozoico	Cretácico	66 - 145 Ma	
		Jurásico	145 - 201.3 Ma	
		Triásico	201.3 - 251.9 Ma	
		Paleozoico	251.9 - 541 Ma	
	PALEOZOICO (570 millones de años)	Paleozoico	Cámbrico	485-541 Ma
			Ordovícico	444-485 Ma
			Silúrico	416-444 Ma
Devónico			359-416 Ma	
Carbonífero			199-359 Ma	
Pérmico			251-299 Ma	

Fig 1: representación del eón Fanerozoico y la era Paleozoica. Basado en Cohen *et al.* 2015.

La filogenia de los hielitos es incierta. Históricamente se les ha relacionado con los moluscos (Malinky & Yochelson 2007) o se les ha asignado un filo propio (Liu *et al.* 2021). Actualmente, aunque se los considera ampliamente como lofotrocozoos (Martí Mus 2014; Moysiuk *et al.* 2017; Li *et al.* 2019).

Los lofotrocozoos son una de las 3 grandes ramas de los bilaterales (animales con simetría bilateral) (Raible & Arendt 2003) (Fig. 2). Este grupo fue reconocido a partir de filogenias moleculares e incluyen animales bastante diversos. El nombre deriva de que muchos de ellos poseen una larva trocófora o un lofóforo, compuesto por unos tentáculos bucales dispuestos en circunferencia alrededor de la boca. Dentro de este grupo, y principalmente debido al descubrimiento de un aparato filtrador similar a un lofóforo en el hiolítido *Haplophrentis*, se ha sugerido su clasificación como stem group braquiópodos (Moysiuk *et al.* 2017) (Fig. 3) o como crown group de braquiópodos (Zhao *et al.* 2017). Sin embargo, Liu *et al.* 2020 tras comparar el lofóforo de *Haplophrentis* con el de los braquiópodos, han cuestionado una relación estrecha entre ambos proponiendo una posición más basal dentro de los lofotrocozoos. Recientemente, los hiolitos se han relacionado nuevamente con los moluscos del Cámbrico temprano, gracias a nuevos datos sobre la estructura de su concha (Moore and Porter 2018; Li *et al.* 2019).

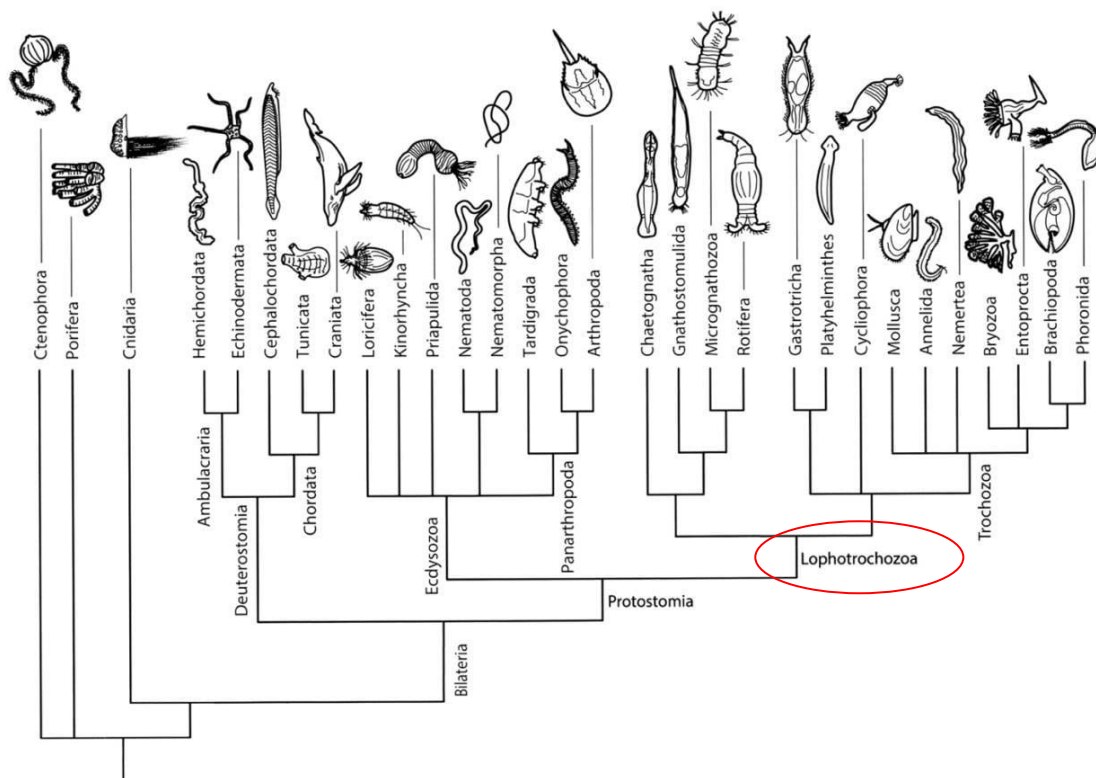


Fig 2: relaciones filogenéticas de los metazoos actuales. Imagen modificada de Giribet & Edgecombe 2020.

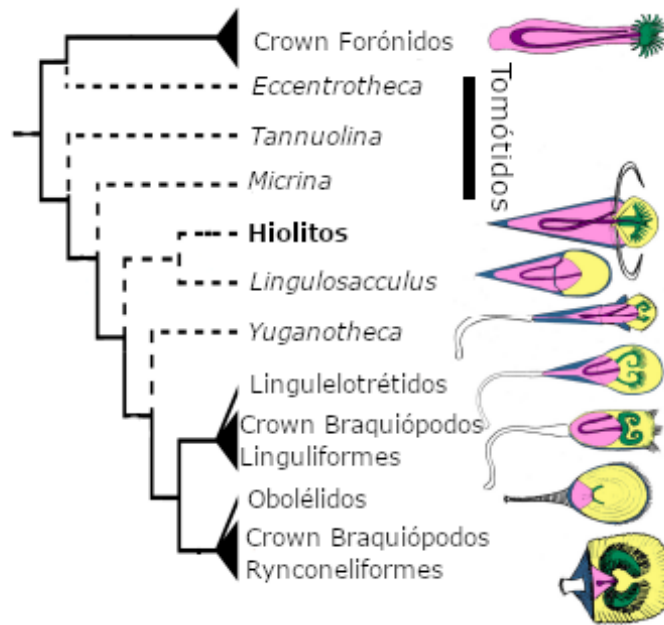


Fig. 3: posible posición de los Hiolitos dentro de los lofoforados. Las líneas discontinuas representan hipótesis sobre las posibles relaciones entre los distintos grupos. Imagen obtenida de Moisiuk *et al.* 2017.

Dentro de la clase Hyolitha se reconocen 2 órdenes diferenciados por su morfología, Orthothecida (Marek 1966) e Hyolithida (Sysoev 1957) (Fig. 4). Los ortotécidos son los primeros hiolitos en el registro fósil, están compuestos por 2 elementos esqueléticos, una concha cónica con una sección transversal variable y un opérculo plano y retraible (Liu *et al.* 2022) (Fig. 4B). Los hiolítidos tienen una morfología menos variable y tienen un esqueleto constituido por 4 elementos: una concha cónica, un opérculo que cerraba la apertura de la concha, y dos “espinas” laterales llamadas helens (Martí Mus *et al.* 2014) (Figs. 4A, 5).

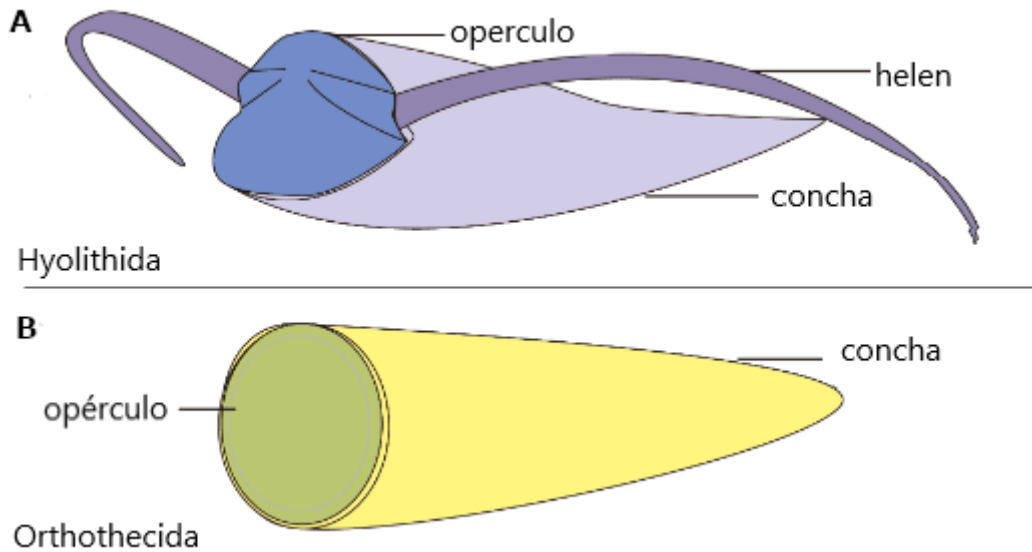


Fig 4: reconstrucciones de un hiolítido (A) y un ortotécido (B) según Liu *et al.* 2022.

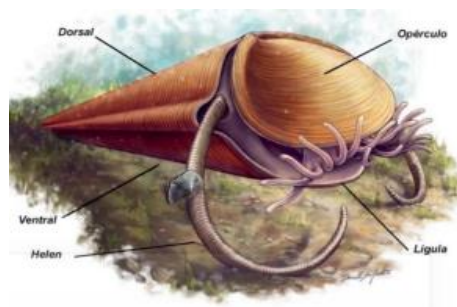


Fig 5: estructura y modo de vida de los hiolítidos. Ilustración de un hiolítido levantándose sobre el substrato gracias a los helens. Imagen modificada de Moysiuk *et al.* 2017.

3.1. Morfología de los hiolítidos

3.1.1. Partes duras

El esqueleto de los hiolítidos está compuesto de aragonito, una de las formas cristalinas del carbonato cálcico y está formado por cuatro elementos: la concha, el opérculo y un par de helens (Fig. 5). La concha (Fig. 5) suele dividirse en una parte dorsal más abombada y una ventral, más plana. La ventral, además posee una ligera prominencia llamada lígula (Kouchinsky 2000).

El opérculo funcionaba a modo de tapa, la cual estaba articulada con la concha gracias a la acción de unos músculos (Marek 1963; Martí Mus & Bergström 2007). El crecimiento

del opérculo (y la cocha) era por acreción marginal, resultando en líneas de crecimiento en su superficie (Martí Mus & Bergström 2007).

Los helens aparecen en el Cámbrico temprano y constituyen una característica apomórfica del Orden Hyolithida. Son dos “espinas” laterales, articuladas, que se sitúan entre la concha y el opérculo. Los helens en sus etapas más tempranas no tendrían ninguna función, pero a medida que crecían, irían adquiriendo una función mecánica, levantando al individuo sobre el sustrato y favoreciendo la alimentación por filtración/suspensión (Skovsted, *et al.* 2020). El crecimiento por acreción de los helens ya fue hipotetizado por Yochelson 1974, Runnegar *et al.* 1975 y Marek *et al.* 1997, y su microestructura, que consiste en laminillas concéntricas alrededor de un núcleo posiblemente compuesto de materia orgánica, y su curvatura en forma de espiral logarítmica también indican crecimiento por acreción (Martí Mus & Bergström 2007; Martí Mus *et al.* 2014).

3.1.2. Partes blandas

Las partes blandas de los seres vivos son las que no están mineralizadas y, por lo general, son las que peor se preservan. En el caso de los hiolítidos las impresiones musculares presentes conchas, opérculos y helens nos pueden dar una idea de cómo estaban dispuestos los músculos que no suelen preservarse en el registro fósil (Martí Mus & Bergström 2005).

Sin embargo, recientemente han sido descritas las partes blandas de los hiolítidos en gran detalle por Moysiuk *et al.* 2017 gracias a su preservación como películas de carbono. Una de las partes blandas que Moysiuk *et al.* 2017 describen es un lofóforo (Fig. 6), aparato compuesto por un conjunto de tentáculos encargados de recoger las partículas en suspensión para llevarlas hasta la boca. También describen una faringe un intestino en forma de U.

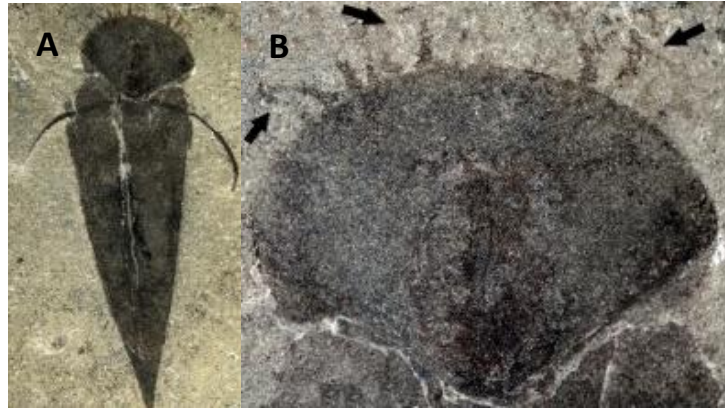


Fig 6: Hiolítidos preservados excepcionalmente como películas de carbono. A: ejemplar articulado mostrando los elementos esqueléticos en su posición original y también sus partes blandas preservadas, en particular el lofóforo. B: detalle de los tentáculos del lofóforo. Imágenes modificadas de Moysiuk *et al.* 2017.

3.2. Epibiontes sobre los hiolítidos

Un epibionte es cualquier organismo no parásito que pasa una parte de su ciclo vital sobre otro organismo de mayor tamaño (Lincoln *et al.* 1995). Los epibiontes pueden ayudarnos a entender aspectos de la ecología de sus hospedadores y esta información puede ser particularmente valiosa en el caso de animales extinguidos cuyo modo de vida puede ser desconocido en buena medida.

Los hiolitos son uno de los hospedadores preferidos para diversos tipos de epibiontes desde el Cámbrico hasta el Devónico (Galle & Parsley, 2005; Sun *et al.* 2021). Se han descrito diferentes tipos de epibiontes sobre hiolitos, como pueden ser: equinodermos (Zamora & Smith 2010; Nolčová & Mergl 2016; Zicha *et al.* 2020; Liu *et al.* 2023), monoplacóforos (moluscos) (Horný, 2006; Zicha *et al.* 2020), briozoos y corales tabulados (Galle & Plusquellec 2002; Galle & Parsley 2005; Martí Mus, 2016) y braquiópodos (Moysiuk *et al.* 2017; Sun *et al.* 2021).

Dentro de los equinodermos se han descrito edrioasteroideos, eocrinoideos y crinoideos. Los edrioasteroideos, una clase extinta de equinodermos, se situaban en la parte dorsal, ventral e incluso en el opérculo. No hay ninguno que aparezca en las superficies internas de las conchas, lo que indica que no se adherían a los hiolitos una vez muertos (Nolčová & Mergl 2016) (Fig. 7).

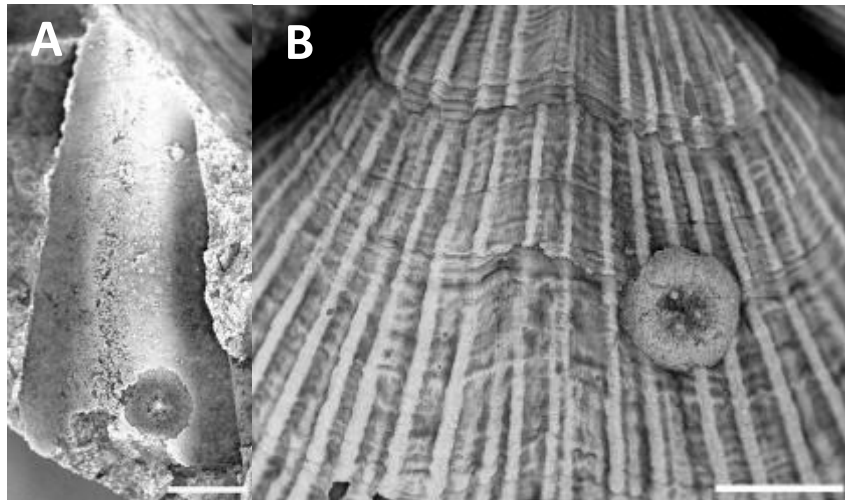


Fig. 7: diferentes preservaciones de edrioasteroideos sobre la parte ventral de un hiolito, como molde externo (A) y sobre la parte dorsal del braquiópodo *Bohemiella romingeri*, con 5 dientes mirando hacia el centro de forma simétrica, como molde interno (B). La escala representa 5mm en las 2 imágenes imágenes obtenidas de Nolčová & Mergl 2016.

Los crinoideos aparecen sobre la cara ventral y dorsal de los hiolitos, pero sobre ellas, no parecen disponerse con ningún patrón fijo, sino que se encuentran por toda la superficie. La forma de las estructuras de fijación de los crinoideos es irregular, pentarradial y en alguno con forma estrellada (Fig. 8) manteniendo un pequeño hoyo central (Zicha *et al.* 2020). Los eocrinoideos también son una clase de equinodermos extinta que aparecen como epibiontes sobre el opérculo de los hiolítidos (Liu *et al.* 2023) (Fig 9).

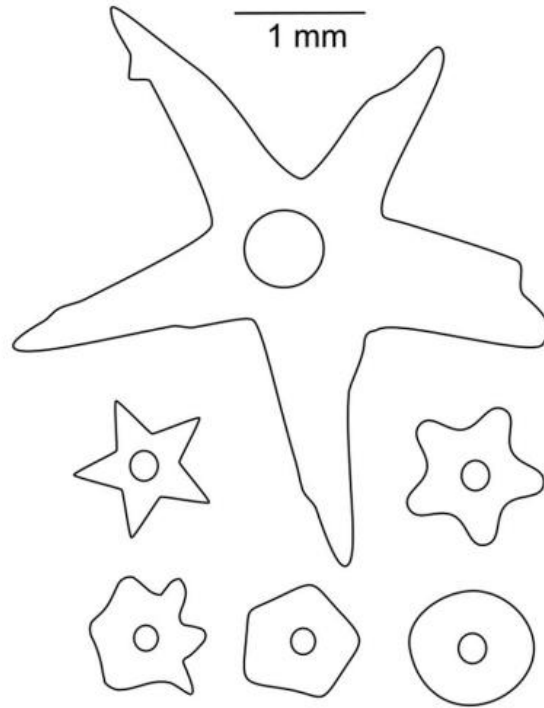


Fig 8: variedad de formas de anclaje a los hiolítidos de los equinodermos (posibles crinoideos). Imagen obtenida de Zicha *et al.* 2020.



Fig. 9: eocrinoideos adheridos a un hiolítido. Imagen obtenida de Liu *et al.* 2023

Los monoplacóforos son una clase de moluscos que se creía extinta, pero que, hoy en día se conocen varios géneros. Los monoplacóforos epibiontes de los hiolítidos que se conocen, pertenecen al género *Pygmaeoconus* y se sitúan en la cara dorsal. Se ha observado que alineaban su eje antero-posterior con el eje de los hiolítidos (Fig. 10). Se cree que *Pygmaeoconus* podría haber sido un epibionte obligado (Horný 2006).

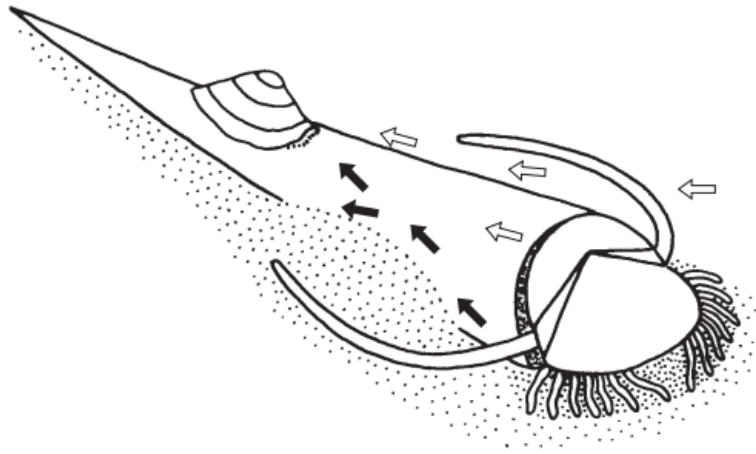


Fig 10: Ilustración de *Pygmaeoconus* sobre la concha del hiolítido y alineado su eje antero-posterior. Las flechas blancas indican la corriente de agua con nutrientes y oxígeno. Las flechas negras reflejan el material de desecho generado por la alimentación del hiolítido. Imagen obtenida de Horny 2006.

Los briozoos y los corales tabulados aparecen en diferentes especies de hiolítidos. Los corales tabulados se disponen mayoritariamente por los laterales de la cara dorsal de la concha, mientras que, los briozoos además de aparecer en la cara dorsal, también aparecen en la cara ventral. Ambos epibiontes estaban orientados hacia la abertura de la concha, lo que sugiere que los hiolítidos se orientaban activamente hacia la corriente de agua que favorecía su alimentación (Martí Mus 2016). Tanto los briozoos como los corales tabulados se posicionan en la parte más antigua (juvenil), lo que sugiere que la selección del lugar es bastante importante y que quizá, la composición del periostraco juvenil permita el asentamiento de los epibiontes. Los briozoos de la cara ventral tienen un tamaño menor que los de la parte dorsal. Esto sugiere que los hiolítidos levantaban la abertura sobre el sustrato gracias a los helens, facilitando a los epibiontes un ambiente bien protegido y críptico en su parte ventral, pero comprometiendo su crecimiento, ya que no tendrían ni el espacio suficiente ni la misma cantidad de alimento disponible que en la parte dorsal (Galle & Parsley 2005).

Se han encontrado braquiópodos adheridos cerca del opérculo (Sun *et al.* 2021) y adheridos a los helens de individuos conservados articulados y con sus partes blandas, lo que evidencia que se adherían a los hiolítidos mientras estos estaban vivos (Moysiuk *et al.* 2017).

Los hiolítidos que se estudian en este trabajo pertenecen a una nueva especie que únicamente ha sido descrita en otro trabajo de fin de grado. Las principales características de esta especie son el tamaño, siendo un hiolítido grande con una longitud entre 3-5 cm y una anchura de 1-2 cm, una parte dorsal más abombada. El opérculo (Fig. 11) que es la parte más variable entre especies, sobre todo en su cara interna, tiene una morfología característica y los helens tienen una sección transversal estrecha.

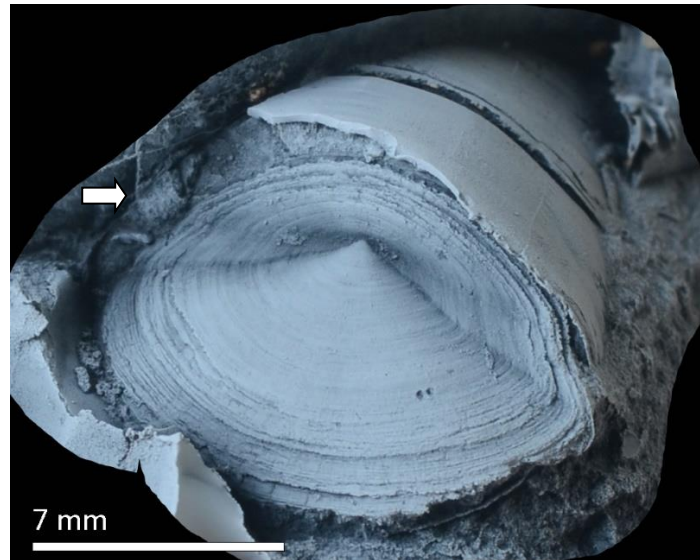


Fig. 11: hiolítido articulado, con una flecha indicando la posición de un helen.

4. OBJETIVOS

El objetivo principal de este trabajo de Fin de Grado es estudiar la presencia de epibiontes sobre una nueva especie de hiolítido del Cámbrico medio de Purojosa, Zaragoza.

Los objetivos específicos son:

- Reconocer y seleccionar los moldes externos de la nueva especie de hiolítido para el estudio.
- Realizar moldes de látex de los ejemplares para su observación bajo la lupa.
- Ilustrar los epibiontes mediante técnicas de fotografía científica.
- Describir los epibiontes y explorar su relevancia ecológica.

5. MATERIAL Y MÉTODOS

Las muestras de hiolitos estudiadas provienen de un yacimiento de la Formación Valtorres, en la localidad de Purojosa (Zaragoza), incluida en el Parque Natural Moncayo. Es un yacimiento importante de trilobites (Esteve 2013), pero también se han encontrado otros fósiles, como esponjas silíceas, hiolitos, moluscos, braquiópodos y equinodermos (Esteve & Zamora 2014). La edad de las rocas sedimentarias que afloran en esta zona de la Formación Valtorres es del Cámbrico medio (Fig. 12).

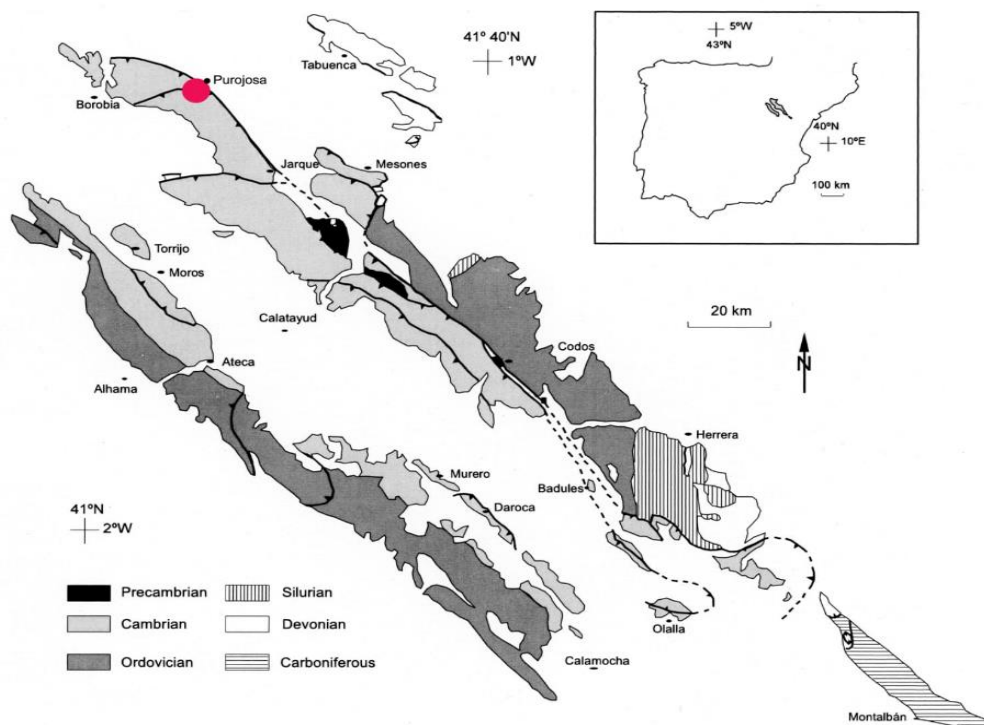


Fig 12: Mapa geológico de las rocas pre-pérmicas expuestas en las Cadenas Ibéricas, NE de España. En el recuadro se indica la situación de las Cadenas Ibéricas en la Península Ibérica. Mapa modificado de Álvaro & Vennin 1998.

En este trabajo se han estudiado 61 nódulos de sílice con fósiles y en total se han seleccionado 27 ejemplares de hiolítidos. Están preservados como moldes en nódulos. Un molde externo, es aquel que reproduce la superficie externa del animal, la que estaba expuesta al medio. Por el contrario, un molde interno, es aquel que reproduce las superficies internas del animal, aquellas que en vida no estaban expuestas al medio externo. Los fósiles seleccionados son todos moldes externos, ya que es en éstos donde vamos a poder encontrar a los epibiontes.

Para estudiar la morfología externa de hielitos y la posible presencia de epibiontes en sus diferentes elementos esqueléticos se han realizado réplicas con látex líquido prevulcanizado coloreado de negro. Con esta técnica, se consigue obtener tantas réplicas como se necesiten del fósil sin dañarlo y con un alto nivel de detalle del fósil.

El látex fue descubierto por los indios nativos de la América tropical. Fueron los franceses en la década de 1730, los que lo trajeron a Europa. A mitades del siglo XVIII, se empezaron a investigar sus aplicaciones y a finales de este siglo ya se puso a prueba la primera aplicación comercial del caucho como impermeable (Caucho y látex 2001).

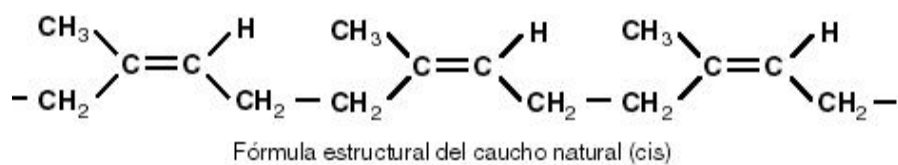


Fig 13: fórmula química del caucho natural imagen obtenida de <http://www.pidir.com/quimica/industria/caucho.htm>.

El látex es un producto de origen vegetal, procedente de la especie *Hevea brasiliensis*, de la familia Euphorbiaceae (González 2011). Está compuesto en su mayoría por caucho (C₅H₈) (Fig. 13), llegando a ser el 90% del peso seco del látex (Jacob *et al.* 1993). Es elástico ya que está formado por largas cadenas lineales de caucho que se desplazan unas sobre otras al estirarse y cuando se deja de aplicar la fuerza vuelven otra vez a su estado. Sin embargo, el caucho/látex sin vulcanizar es muy sensible a la temperatura, cuando se calienta es viscoso y pegajoso y cuando se enfría se vuelve quebradizo, por lo que su rango de temperatura es limitado. Es por este motivo que, en realidad el látex que tiene más aplicaciones prácticas es el que ha sido sometido a un tratamiento que recibe el nombre de vulcanización.

La vulcanización es un proceso irreversible de curado del látex. Durante la vulcanización del látex, los polímeros lineales de caucho forman puentes de entrecruzamiento entre sí (Fig. 14). El resultado es que las moléculas de caucho quedan unidas, consiguiendo un caucho más estable y duradero. Además, su superficie se vuelve menos pegajosa. Todo esto se consigue sin que se pierda la elasticidad natural del látex. En el látex

prevulcanizado las moléculas de caucho están ya entrecruzadas en el látex líquido. Finalmente, al contacto con el aire, el látex solidifica y queda vulcanizado (Woon, 2014).

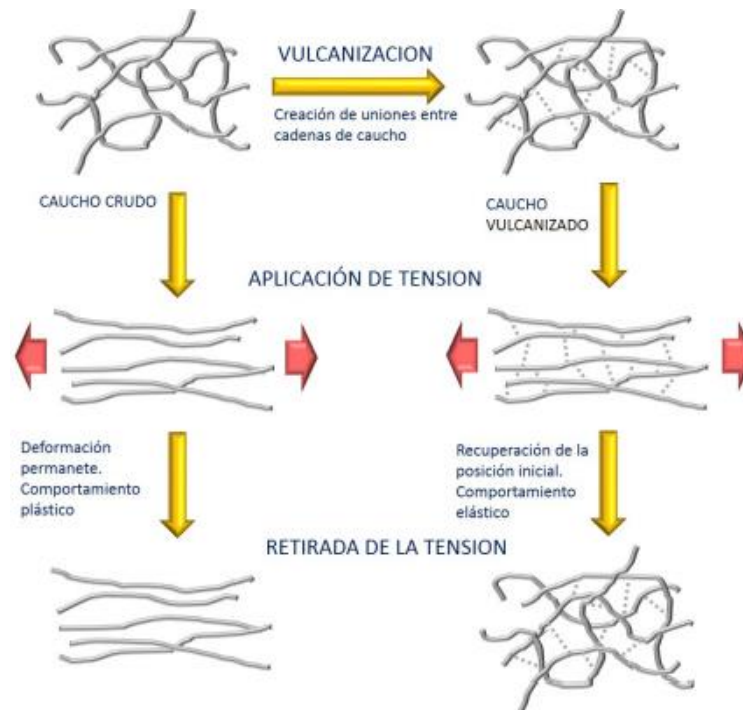


Fig 14: Diferencias estructurales entre el caucho natural y vulcanizado. Figura obtenida de Brasero Espada, 2016.

El látex natural es blanco en estado líquido y rosado/transparente en estado sólido. Para su uso en Paleontología, el látex suele teñirse de colores oscuros (generalmente negro) para poder cubrirlo posteriormente con cloruro de amonio sublimado y resaltar el relieve de la réplica (ver Fig. 15). El látex que se utilizó en el presente trabajo es un látex líquido prevulcanizado que se tiñó de negro.

Antes de aplicar la primera capa de látex, el fósil ha de limpiarse bien, con cuidado de no dañarlo. Para ello se utilizan pinceles y agua con jabón. Antes de poner la primera capa de látex, se humedece el fósil con una mezcla de agua y amoniaco para favorecer el deslizamiento del látex sobre el fósil. La primera capa debe ser fina, y ha de evitarse la formación de burbujas. Una vez tenemos la primera capa, se deja secar y ponemos otra capa que puede ser más gruesa, pero siempre teniendo cuidado con la formación de burbujas. Si éstas llegan a aparecer hay que hacerlas estallar con algún objeto punzante, teniendo cuidado de no afectar al fósil o al molde. Este proceso lo repetimos siempre una vez ha secado la capa anterior y hasta que el molde de látex tenga el grosor suficiente.

Una vez el látex adquiere varios milímetros de grosor, se puede “desmoldar”. Hay que tener en cuenta que los bordes deberán de ser lo suficientemente gruesos como para que no se doblen sobre si mismos ni se deformen al levantarlos. Para proceder al desmolde hay que despegar con cuidado un margen e ir añadiendo agua con jabón para facilitar el despegado.

Para observar y fotografiar los moldes estos han de cubrirse con cloruro de amonio sublimado (Fig. 15). El cloruro de amonio cristalizado se coloca dentro de la ampolla de un tubo de vidrio, y se calienta hasta que se sublima en forma de un gas blanquecino. Para que el cloruro de amonio sublimado salga con más fuerza, el tubo de vidrio se conecta a una bomba de aire. La corriente del cloruro de amonio se dirige hacia el molde de látex, al que queda adherido dándole contraste y la sensación de relieve mas acentuado. Una vez terminado el trabajo (fotografía y observación) con los moldes, el cloruro de amonio debe ser retirado con agua.



Fig 15: Método de aplicación del cloruro de amonio sublimado a través de un tubo de vidrio.

La observación de los moldes se realizó con una lupa binocular Leica MZ6. Para la fotografía de los moldes, utilizamos luz natural, una cámara Nikon 7000 y una cámara Nikon Coolpix 995 acoplada a la lupa.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De los 27 fósiles estudiados, 12 son moldes dorsales y 8 ventrales, en 6 ejemplares se preservan ambas partes y 2 contenían parte de la concha y un opérculo o solo el opérculo, todos ellos aparecen desarticulados. Adicionalmente se ha estudiado también un ejemplar articulado donde se conserva el opérculo, la parte dorsal de la concha y una pequeña parte del helen derecho (ver Fig. 11).

Los hiolítidos más grandes y con mayor superficie de la concha preservada, ilustrados en las Figs. 16A, 16D y 16F que son los que contienen más epibiontes (Fig. 16). El ejemplar ilustrado en la Fig. 16B-C tiene preservadas tanto la cara dorsal como la ventral, pero solo tiene un epibionte en su cara dorsal. Los ejemplares ilustrados en Fig. 16E, G también contienen un solo epibionte señalado con flechas, pero se conserva una menor superficie de la cara ventral de los hiolítidos.

En total se han observado 97 epibiontes. Se pueden diferenciar 3 tipos de estructuras: las de tipo semiesférico (ver Fig. 17), del tipo “anillo” (ver Fig. 18) y del tipo plataforma (ver Fig. 18). Los ejemplares nº 37, 23 y 15 solo poseen un epibionte y son del tipo anillo, aunque el epibionte del ejemplar 15 tiene una conservación diferente, también se incluye en este tipo de estructura por sus semejanzas. Los ejemplares nº 16, 13 y 57 poseen numerosos epibiontes y se han observado en el ejemplar nº 16, 23 epibiontes, de los cuales 6 son de tipo semiesférico y 17 de tipo anillo. El ejemplar nº 13 tiene 14 epibiontes, de los cuales 5 son del tipo semiesférico y 8 del tipo anillo. En el ejemplar nº 57 se han encontrado 36 epibiontes, 3 son de tipo plataforma y 34 de tipo anillo. Por lo tanto, se ha encontrado una mayoría de epibiontes de tipo anillo con un total de 59, seguidos por el tipo semiesférico con 11 y por último por el tipo plataforma, con 3. Del total de epibiontes, 16 aparecen en la parte ventral, con 6 del tipo semiesférico y 10 del tipo anillo. 81 Aparecen en la cara dorsal, siendo 72 del tipo anillo, 6 del tipo semiesférico y 3 del tipo plataforma que aparecen únicamente en la parte dorsal.

En los ejemplares estudiados, no se han encontrado epibiontes en el opérculo. Algunos epibiontes pueden observarse a simple vista pero la mayoría solo son perceptibles bajo la lupa.

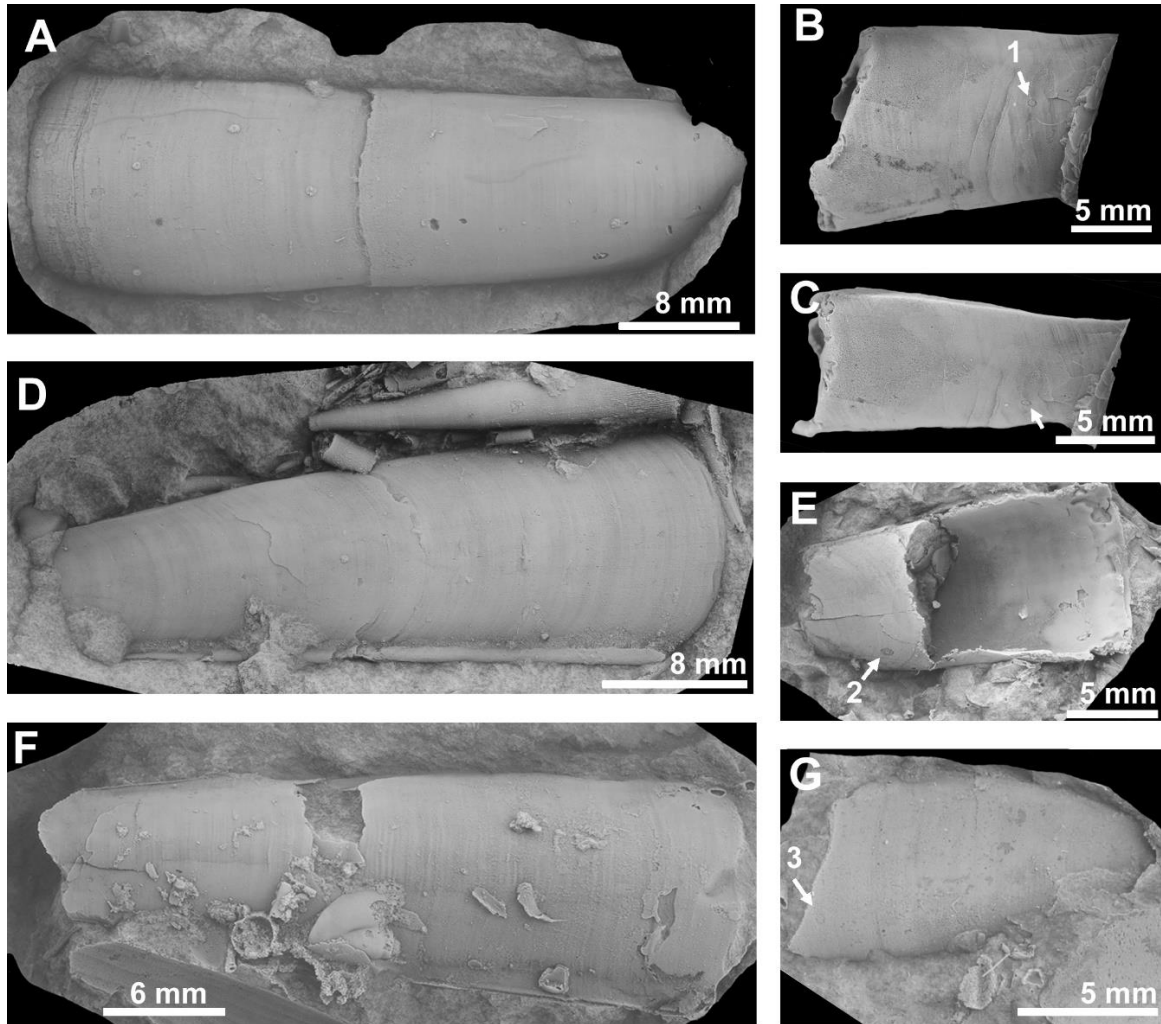


Fig 16: Morfología completa de los ejemplares con epibiontes. Las fotografías A, D y F contienen numerosos epibiontes y de pequeño tamaño, por eso no se señalan con flechas (ver Fig. 18). **A:** ejemplar nº 16, cara dorsal. **B-C:** ejemplar 37 en vista frontal (B) y lateral (C), las flechas señalan el único epibionte que poseen. **D:** ejemplar nº 13, parte ventral. **E:** ejemplar nº 23 con una flecha señalando el único epibionte que posee situado en la parte ventral. **F:** ejemplar nº 57, superficie dorsal. **G:** ejemplar número 15, con flecha señalando el único epibionte que posee en su parte ventral.

Los epibiontes más grandes o más visibles son generalmente semiesféricos y en los moldes de látex se ven como pequeñas protuberancias (Fig. 17D-G). Junto a estos epibiontes más grandes también se ven las estructuras tipo anillo, correspondientes a los epibiontes número 1, 2 y 3 (Fig. 17).

En los epibiontes numerados 4, 5 y 7 en la Fig. 17 se observa una pequeña hendidura central de tamaño variable. Mientras que el epibionte número 2 (Fig. 17B) se preserva como una hendidura en la concha y un pequeño pico que sobresale en el centro.

Los epibiontes 1,3 y 8 (Fig. 17) tienen un relieve mas acentuado que el resto de los epibiontes de tipo anillo (Fig. 18).

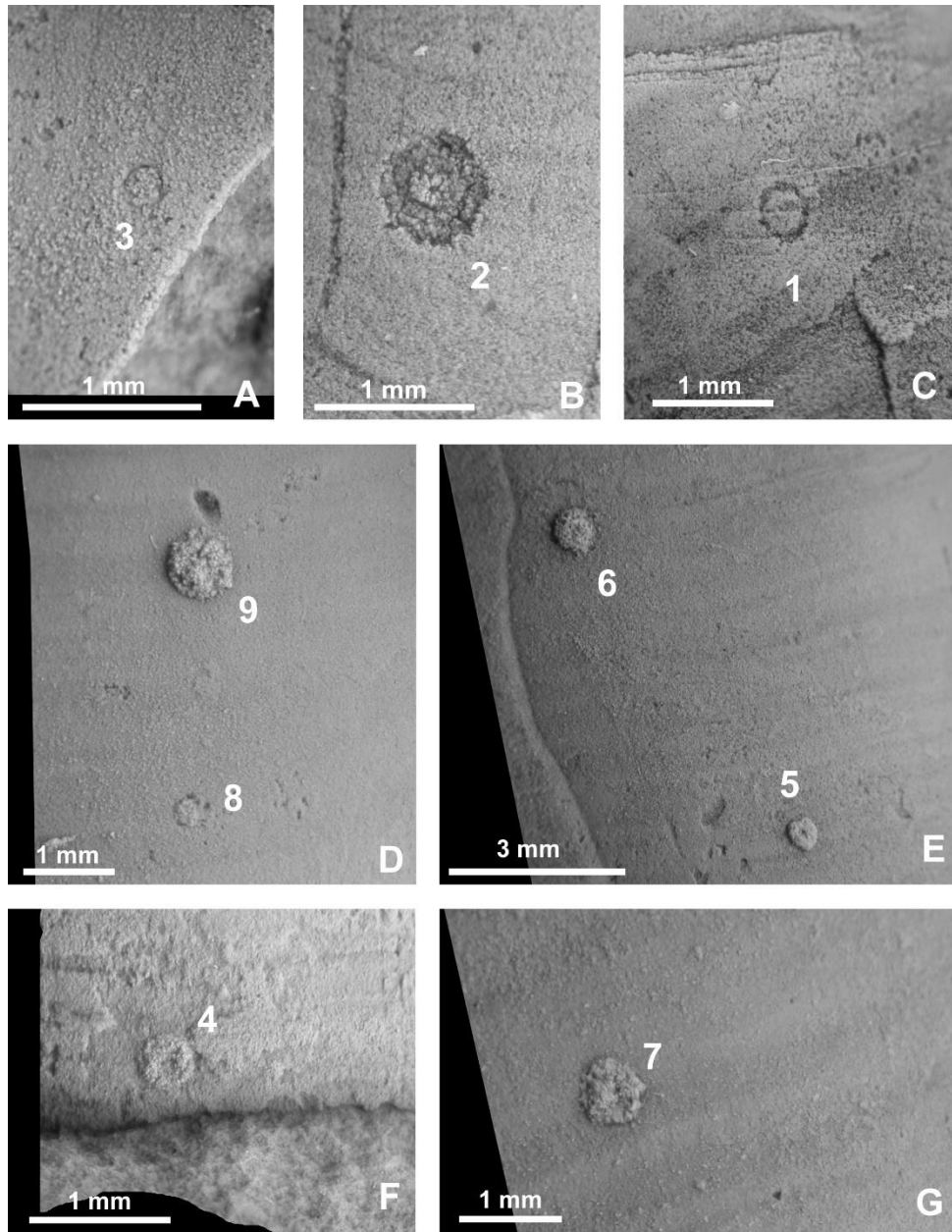


Fig. 17: epibiontes con relieve más acentuado, forma circular o semiesférica. **A:** epibionte con forma de anillo del ejemplar nº 15. **B:** epibionte del ejemplar nº 23, preservado como una hendidura en la concha. **C:** epibionte con forma de anillo del ejemplar nº 37. **D:** Un epibionte semiesférico junto a otro con forma de anillo del ejemplar nº 16. **E:** 2 epibiontes semiesféricos del ejemplar nº 16. **F:** epibionte semiesférico cerca del margen de la abertura de la concha, del ejemplar nº 16. **G:** epibionte semiesférico del ejemplar nº 16. Los números identifican a los epibiontes, en las Figs. 15 y 20 se observa su disposición en la concha de los diferentes hiolítidos.

En cuanto a las posibles afinidades biológicas de los epibiontes hay que tener en cuenta que el yacimiento del que provienen los fósiles es del Cámbrico medio y dentro de este periodo de tiempo, los únicos epibiontes sobre hiolitos descritos son los edrioasteroideos y los eocrinoideos.

En cuanto a las estructuras semiesféricas, se asemejan en su forma con los edrioasteroideos (Smith & Arbizu 1987; Zamora & Smith 2010; Nolčová & Mergl 2016; Zicha *et al.* 2020). La estructura descrita por Nolčová & Mergl 2016 en la cara ventral de un hiolito (ver Fig. 7A) se asemeja a la que hemos descrito en nuestras Figs. 16E, 17B (epibionte nº 2) en la preservación como una hendidura en la concha y un pequeño pico que sobresale en el centro, sin embargo, el tamaño de nuestro epibionte es menor que el descrito por Nolčová & Mergl 2016, teniendo este 5mm de diámetro, mientras que el nuestro no llega a 1mm. En cuanto a las estructuras semiesféricas encontramos también similitud con la forma, con la excepción del tamaño (las medidas son iguales al comentado anteriormente) y por la ausencia en nuestros epibiontes de la estructura de 5 dientes equidistantes en una depresión central. Nolčová & Mergl 2016 consideran que sus epibiontes son muy parecidos al edrioasteroideo *Protorophus hispanicus* (Zamora & Smith 2010) perteneciente a la Formación Murero (Zaragoza) del Cámbrico medio. Este edrioasteroideo descrito por Zamora & Smith 2010 tiene en común con nuestros epibiontes que pertenecen a formaciones de la misma área y edad geológica (Cámbrico medio), por lo tanto es posible que si el epibionte descrito por Nolčová & Mergl 2016 es el mismo que el descrito por Zamora & Smith 2010, sean el mismo que el descrito en este trabajo.

Las estructuras que encontramos con mayor frecuencia son las formas de “anillo”, que en su mayoría no son observables a simple vista, exceptuando las anteriormente vistas (1, 2 y 3) (Fig. 17). Aunque los tamaños son muy similares con las estructuras semiesféricas (algo menos de 1mm), el hecho de no verse a simple vista se debe a que estas estructuras tienen menos relieve. Todas estas estructuras tienen un tamaño muy similar oscilando entre los 0,5-1mm, tienen un centro aplanado a la misma altura que la concha del hiolítico y un borde ligeramente protuberante que es el que da la forma de anillo.

Otra de las formas que se observan es la de “plataforma”, que tienen el mismo tamaño que los anillos, (excepto el nº 20, que es más pequeño). La diferencia es que la estructura sobresale sobre el hielito en todo su diámetro.

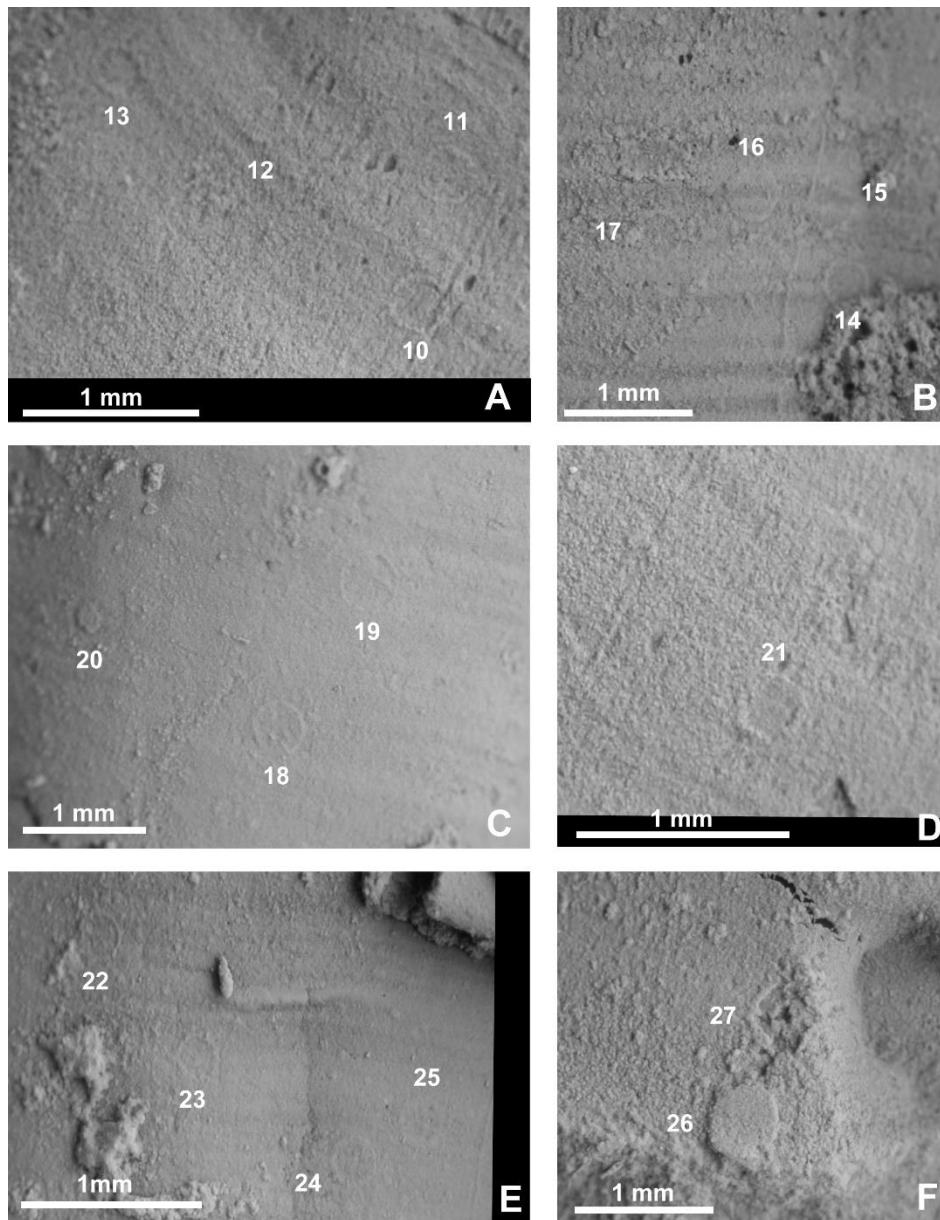


Fig. 18: epibiontes con formas de anillos y plataformas. **A:** epibiontes con forma de anillo del ejemplar nº 13. **B:** varios epibiontes con forma de anillo cercanos entre sí del ejemplar nº 57. **C:** epibiontes con forma de anillo (18 y 19) y uno más pequeño con forma de plataforma (20), del ejemplar nº 57. **D:** epibionte con forma de anillo a un aumento mayor. **E:** varios epibiontes con forma de anillo del ejemplar nº 57. **F:** epibionte con forma de plataforma (26) y otro epibionte con forma de anillo (27).

Las estructuras de anillos podrían pertenecer a restos de la estructura de anclaje de los eocrinoideos, ya que tenían un pedúnculo con sección circular que al desanclarse podría haber dejado restos de él. Liu *et al.* 2023 los describen sobre los hielitos pero no los podemos comparar porque no se describen sus anclajes.

La distribución de los epibiontes (Fig. 19) se da sobre la superficie de toda la concha. Cabe resaltar, que más de la mitad se sitúan entre la abertura y la mitad de la concha, pudiendo sugerir que tenían preferencia por los hielitos de mayor tamaño.

Los epibiontes con forma de anillo y de plataforma (puntos verdes y rosas) se sitúan por toda la superficie de la cara dorsal de los epibiontes, aunque se sitúan más frecuentemente por el eje longitudinal de la concha que es la zona más alta. Además, las formas de anillo si se han encontrado en la parte ventral, a diferencia de las formas de plataforma que únicamente se han encontrado en la cara dorsal.

Los epibiontes con forma semiesférica (puntos azules), no muestran ningún patrón claro, pero sí que se disponen parecen disponerse más lateralmente que el resto de epibiontes.

En la parte ventral (Fig. 19B), tanto las formas de anillo como semiesféricas, se sitúan mas lateralmente que en la parte dorsal y se encuentra una mayor cantidad de epibiontes cerca del opérculo. Una posición más cercana a la apertura y mas lateral en la parte ventral podría deberse a que estas zonas estaban mas elevadas sobre el sustrato tanto por la propia morfología de la concha como por la acción de los helens.

Respecto a las estructuras descritas por Zicha *et al.* 2020 las estructuras circulares descritas tienen un diámetro similar (0,8-1,5mm), pero no se describe ninguna sobre hielitos. Las que aparecen sobre estos tienen contornos poligonales, que no son exactamente circulares.

Por su tamaño y morfología general, es posible que los 3 “tipos” de epibiontes observados pudiesen representar un mismo organismo, pero conservado de distinta forma. Al desanclarse el epibionte es posible que se lleve una parte de la concha del hospedador o que se queden más o menos restos del epibionte sobre su hospedador.

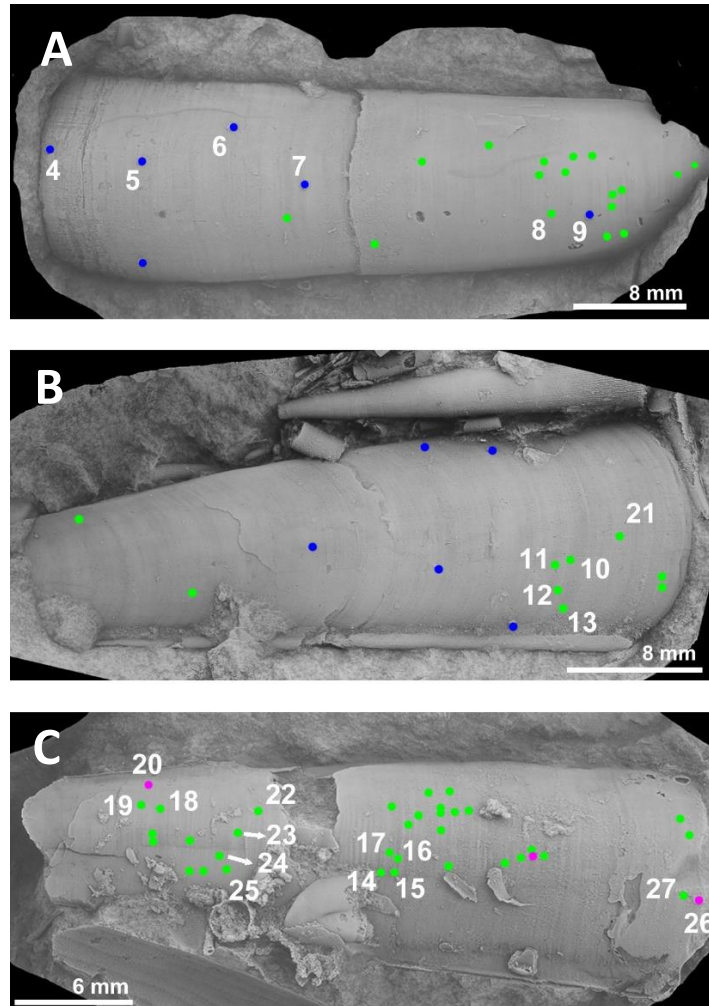


Fig 19: hiolitos representados con la posición de los epibiontes sobre su concha. Los puntos azules representan a las estructuras semiesféricas visibles a simple vista. Los puntos verdes corresponden a las estructuras con forma de anillo visibles bajo la lupa y los puntos rosas corresponden a las estructuras con formas de plataforma. **A:** parte dorsal ejemplar nº 16. **B:** parte ventral ejemplar nº 13. **C:** parte dorsal ejemplar nº 57.

7. CONCLUSIONES

1. La nueva especie de hiolítido del Cámbrico medio de Purojosa, Zaragoza, presenta numerosos epibiontes sobre su concha.
2. Los epibiontes se disponen tanto en la parte dorsal como ventral de la concha, pero no sobre el opérculo.
3. Se han observado en total 97 epibiontes sobre la superficie de 6 hiolítidos. 59 con forma de anillo, 11 con forma semiesférica y 3 con forma de plataforma. 16 aparecen en la cara ventral y 81 sobre la cara dorsal.
4. Comparándolos con otros epibiontes descritos en hiolítidos, los epibiontes del presente estudio se asemejan a anclajes de equinodermos, particularmente de edrioasteroideos.

8. BIBLIOGRAFÍA

Alvaro, J. J. & Vennin, E. (1998). Stratigraphic signature of a terminal Early Cambrian regressive event in the Iberian Peninsula. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 35, 402 – 411. 10.1139/e97-093.

Brasero Espada, J. (2016). Desarrollo de nuevas formulaciones de látex de caucho natural libres de n-nitrosaminas, hipoalergénicas y ecológicas, y su caracterización por RMN de campo bajo. Tesis doctoral, Universidad Complutense de Madrid, Madrid, España, 201 pp.

Caucho y latex (2001). Facilitado por la Webtecnica <http://lawebtecnica.freevar.com/material/caucho/caucho.html> (acceso: 23 enero 2024)

Cohen, K., Finney, S., Gibbard, P., & Fan, J. (2013). Cohen, K.M., Finney, S.C., Gibbard, P.L., Fan, J.X. 2013. The ICS International Chronostratigraphic Chart. *Episodes* 36, 199-204. *Episodes*, 36. <https://doi.org/10.18814/epiiugs/2013/v36i3/002>.

Esteve, J. (2013). Revision of the enrolment in Spanish Cambrian trilobites and its implications in trilobite evolution, *Estudios Geológicos* 69 (2), 209-225. 10.3989/egeol.41337.272.

Esteve, J. & Zamora, S. (2014). Enrolled agnostids from Cambrian of Spain provide new insights about the mode of life in these forms. *Bulletin of Geosciences*, 89 (2), 283-291.

Galle, A. & Parsley, R.L (2005) Epibiont relationships on hyolithids demonstrated by Ordovician trepostomes (Bryozoa) and Devonian tabulates (Anthozoa). *Bulletin of Geosciences* 80, 125–38.

Galle, A. & Plusquellec, Y. (2002) Systematics, morphology, and paleobiogeography of Lower Devonian tabulate coral epibionts: Hyostragulidae fam. nov. on hyolithids. *Coral Research Bulletin* 7, 53–64.

Giribet, G. & Edgecombe G.D (2020) The invertebrate tree of life. Princeton University Press. 680 pp.

González, M. 2011. Látex. Facilitado por La Guía de Química. Dirección URL: https://quimica.laguia2000.com/general/latex-2#google_vignette (acceso: 24/01/2024).

Li, L., Zhang, X., Skovsted, C., Yun, H., Pan, B., & Li, G. (2019). Homologous shell microstructures in Cambrian hyoliths and molluscs. *Palaeontology*, 62. <https://doi.org/10.1111/pala.12406>

Horný, R. J. (2006): The Middle Ordovician tergomyan mollusc *Pygmaeoconus*: an obligatory epibiont on hyolithids. *Acta Musei Nationalis Pragae, Series B, Historia Naturalis*, 62 (1–2): 81–95

Kouchinsky, A. (2000). Skeletal microstructures of hyoliths from the Early Cambrian of Siberia. *Alcheringa*, 24, 65-81. <https://doi.org/10.1080/03115510008619525>

Li, L., Zhang, X., Skovsted, C.B., Yun, H., Pan, B. and Li, G. (2019), Homologous shell microstructures in Cambrian hyoliths and molluscs. *Palaeontology*, 62: 515-532. <https://doi.org/10.1111/pala.12406>.

Lincoln, R. J., G. A. Boxball & P. F. Clark. (1995). Diccionario de ecología, evolución y taxonomía. Fondo de Cultura Económica. México, D.F. 488 pp.

Liu, F., Skovsted, C. B., Topper, T. P., Zhang, Z., & Shu, D. (2020). Are hyoliths Palaeozoic lophophorates? *National Science Review*, 7(2), 453-469. <https://doi.org/10.1093/nsr/nwz161>

Liu, F., Zhang, Z., & Skovsted, C. (2021). Research advances on the soft anatomy and skeletal microstructures of Cambrian hyoliths in China and their implications for lophotrochozoan evolution. *Chinese Science Bulletin*, 66. <https://doi.org/10.1360/TB-2020-1433>

Liu, Fan & Skovsted, Christian & Topper, Timothy & Zhang, Zhifei. (2022). Hyolithid-like hyoliths without helens from the early Cambrian of South China, and their implications for the evolution of hyoliths. *BMC Ecology and Evolution* 22(1):64. <https://doi.org/10.1186/s12862-022-02022-9>

Liu, X., Zhao, Y., Yang, X., Chen, Z., Chen, S., & Luo, X. (2023). Stalked eocrinoids attached onto hyolithids with helens from Cambrian Kaili Formation in Jianhe, Guizhou, South China. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 610, 111330. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2022.111330>

Malinky, J. M., & Yochelson, E. L. (2007). On the systematic position of the Hyolitha (Kingdom Animalia). *Memoirs of the Association of Australasian Palaeontologists*, (34), 521-536.

Marek, L. (1963). New knowledge on the morphology of Hyolithes. *Sborník geologických věd, řada Paleontologie*, 1, 53-72.

Marek, L. (1966). New hyolithid genera from the Ordovician of Bohemia. *Casopis Národního musea, oddíl přírodovědy* 135:89-92.

Marek, L., Parsley, R. L. & Galle, A. (1997). Functional morphology of hyoliths based on flume studies. *Věstník Českého geologického ústavu*, 72, 351–358.

Martí mus, M. (2014). Interpreting “shelly” fossils preserved as organic films: the case of hyolithids. *Lethaia*, 47: 397-404.

Martí Mus, M. (2016). A hyolithid with preserved soft parts from the Ordovician Fezouata Konservat-Lagerstätte of Morocco. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 460, 122-129. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2016.04.048>.

Martí Mus, M., Bergström, J. (2005). The morphology of hyolithids and its functional implications. *Palaeontology*, 48, 1139–1167. [10.1111/j.1475-4983.2005.00511.x](https://doi.org/10.1111/j.1475-4983.2005.00511.x).

Martí Mus, M & Bergström, J. (2007). Skeletal microstructure of helens, lateral spines of hyolithids. *Paleontology*, 50: 1231-1243. <https://doi.org/10.1111/j.1475-4983.2007.00700.x>

Martí Mus, M., Jeppsson, L., & Malinky, J. M. (2014). Interpreting 'shelly' fossils preserved as organic films: the case of hyolithids. *Revista de Paleontología*, 88(1), 160-170. [10. https://doi.org/10.1666/13-038](https://doi.org/10.1666/13-038).

Moysiuk, J., Smith, M. & Caron, JB (2017). Hyoliths are Paleozoic lophophorates. *Nature* 541, 394–397 <https://doi.org/10.1038/nature20804>.

Nolčová, L., & Mergl, M. (2016). Occurrence of epibiotic echinoderms in the Buchava Formation (Cambrian, Drumian) at Biskoupky near Radnice (Barrandian area, Czech Republic). *Geoscience Research Reports*, 49, 43-46. <https://doi.org/10.3140/zpravy.geol.2016.24>.

Moore, J. L., & Porter, S. M. (2018). Plywood-like shell microstructures in hyoliths from the middle Cambrian (Drumian) Gowers Formation, Georgina Basin, Australia. *Palaeontology*, 61(3), 441-467. <https://doi.org/10.1111/pala.12352>

Runnegar, B., Pojeta, J., Morris, N. J., Tylor, J. D., Taylor, M. E. and McClung, G. (1975). Biology of the Hyolitha. *Lethaia*, 8, 181-191.

Skovsted, C. B., Martí Mus, M., Zhang, Z., Pan, B., Li, L., Liu, F., Li, G., & Zhang, Z. (2020). On the origin of hyolith helens. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 555, 109848. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2020.109848>.

Sun, H., Sun, Z., & Zhao, F. (2021). Exceptionally preserved hyolithids from the middle Cambrian of North China. *Geological Magazine*, 158(11), 1951-1959. <https://doi.org/10.1017/S0016756821000510>

Sysoev VA (1957). K morfologii, sistematike i sistematicheskomu polozheniu khiolitiov [On the morphology, systematics and systematic position of the Hyolithoidea]. *Doklady Akademii Nauk SSSR* 116, 304.

Tessmar-Raible, K. & Arendt, D. (2003). Emerging systems: between vertebrates and arthropods, the Lophotrochozoa. *Current Opinion in Genetics & Development*, 13(4), 331–340. [https://doi.org/10.1016/s0959-437x\(03\)00086-8](https://doi.org/10.1016/s0959-437x(03)00086-8).

Woon, J. (2014). Pre-vulcanised NR Latex-Vulcanization, Advantages and Applications. <https://www.linkedin.com/pulse/20140626053655-109089520-prevulcanised-nr-latex-vulcanization-advantages-and-applications> (acceso: 30 de enero 2024).

Yochelson, E. L. (1974). Redescription of the Early Cambrian *Helenia bella* Walcott, an appendage of *Hyolithes*. *Journal of Research of the United States Geological Survey*, 2, 717-722.

Zhao, F., Smith, M. R., Yin, Z., Zeng, H., Li, G., & Zhu, M. (2017). *Orthrozanclus elongata* n. sp. And the significance of sclerite-covered taxa for early trochozoan evolution. *Scientific Reports*, 7(1), 16232. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-16304-6>

Zhao, J., Guo, J., Selden, P. A., Cong, P.-Y., & Li, Y.-J. (2022). A new eocrinoid from the Guanshan Biota (Cambrian Series 2, Stage 4), with implication of the development of

different attachment modes in early Cambrian. *Palaeoworld*, 31(2), 185-193.
<https://doi.org/10.1016/j.palwor.2021.08.001>

Zamora, S. & Smith, A.B. 2010. The oldest isorophid edrioasteroid (Echinodermata) and the evolution of attachment strategies in Cambrian edrioasteroids. *Acta Palaeontologica Polonica*, 53 (3), 487-494.

Zicha, O., Bruthansová, J., & Kraft, P. (2020). Epibionts on shells in the Šárka Formation: A sparsely occupied niche in the lower to middle Darriwilian (Oretanian, Ordovician) in the Prague Basin (Czech Republic). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 550, 109401. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2019.109401>.