

# Graptolitos con preservación tridimensional en el Silúrico centroibérico (España y Portugal)

## Three-dimensionally preserved graptolites from the Silurian of the Central Iberian Zone (Spain and Portugal)

Juan Carlos Gutiérrez-Marco<sup>1</sup>, Saturnino Lorenzo Álvarez<sup>2</sup>  
y José Manuel Piçarra<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Instituto de Geociencias (Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Universidad Complutense de Madrid). c/ José Antonio Novais, n.º 2. E-28040 Madrid. España.  
jcgrapto@ucm.es*

<sup>2</sup>*Departamento de Ingeniería Geológica y Minera. Escuela de Ingeniería Minera e Industrial de Almadén. Universidad de Castilla-La Mancha. Plaza Manuel Meca, n.º 1. E-13400 Almadén (Ciudad Real). España.  
saturnino.lorenzo@uclm.es*

<sup>3</sup>*Laboratório Nacional de Energia e Geologia. Ap. 104. P-7801-902 Beja. Portugal.  
jose.picarra@lneg.pt*

**PALABRAS CLAVE:** Graptolitos, Silúrico, Zona Centroibérica, España, Portugal, conservación en relieve, pizarras negras, nódulos

**KEY WORDS:** Graptolites, Silurian, Central Iberian Zone, Spain, Portugal, relief preservation, black shales, nodules

### RESUMEN

Los graptolitos silúricos de la Zona Centroibérica suelen conservarse aplastados en pizarras negras, pero en algunos yacimientos los rhabdosomas pueden retener parte de su relieve original o conservarse incluso en tres dimensiones. La mayoría de las veces existe una piritización temprana de los rhabdosomas por la acción de bacterias sulforreductoras en ambiente anóxico, a la que se suma la génesis de nódulos. La alteración posterior de la pirita deja los graptolitos en forma de moldes, que pueden ser estudiados mediante vaciados en látex. Otros fenómenos de piritización multifásica en sedimentos gruesos conducen a la formación de nódulos de pirita que incluyen en su interior graptolitos huecos y en tres dimensiones, con el peridermo replicado delicadamente en óxidos de hierro. En otras ocasiones, los graptolitos preservados en nódulos generados en sedimentos pelágicos incluyen el recrecimiento de fosfatos sobre el peridermo de los graptolitos, que llegan a conservarse huecos y con estructuras de rellenos geopetales. Finalmente, se presenta el único caso de calizas con graptolitos conocido en el Silúrico centroibérico.

### ABSTRACT

Silurian graptolites from the Central-Iberian Zone are often preserved as flattened moulds in black shales, but in some cases rhabdosomes can maintain a part of its original relief, and even can appear three-dimensionally preserved. The majority of these cases

can be related to an early pyritisation of the periderm favoured by bacterial activity under anoxic conditions, which also led to the genesis of nodules on the same beds. Further oxidation and disappearance of iron minerals limited the preservation of graptolites to external moulds, that can be studied through latex casts. A different way of preservation of 3-D graptolites occurs in coarse sandstone that enhanced multiphase pyritisation phenomena, where ferruginous nodules enclosing rhabdosomes reveal that the framboidal pyrite that mineralized the periderm during very early diagenesis was remarkably resilient not only to subsequent deformation, but also to the differential weathering of the massive overpyrite that constitute the nodules. The pyritised graptolite periderm was finally replicated by iron-oxides with a minor proportion of phyllosilicates. The occurrence of “hollow” graptolites is also known from silico-phosphatic nodules, where the organic periderm was finely replicated by phosphatic overgrowths that coated the inner and outer surfaces of the rhabdosome. Occasional pseudostalactites of phosphatic minerals and colloidal silica partially occupied the empty spaces. Graptolite internal moulds occurring in limestone are very rare and are restricted to a single locality within the studied region.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los fósiles de graptolitos planctónicos abundan en muchas unidades de pizarras negras del Ordovícico y Silúrico de la Península Ibérica, y subsisten localmente en determinados afloramientos del Devónico Inferior del Macizo Ibérico, Cadenas Costeras Catalanas y Menorca (LENZ *et al.*, 1996). En su presentación más habitual, los rhabdosomas de los graptolitos constituyen moldes muy aplastados rellenos por partículas de arcillas blanquecinas (pirofilitas, cloritas, gumberlita) o bien poseen tonalidades rojizas u amarillentas por su impregnación con óxidos de hierro, contrastando en ambos casos frente a la matriz rocosa y asemejándose a los trazos gráficos a los que alude el nombre del grupo. Además, en bastantes casos pueden presentarse también como películas carbonosas aplastadas en rocas arcillosas ricas en materia orgánica. Las colonias de graptolitos rara vez conservan su relieve original, un hecho normalmente favorecido por la diagénesis temprana en rocas calcáreas, o con la piritización obrada por bacterias sulforreductoras (GUTIÉRREZ-MARCO, 2009). La presente nota aporta algunos ejemplos de conservación tridimensional de graptolitos en rocas silúricas de la Zona Centroibérica luso-española, incluyendo algunos casos ciertamente notables en el registro fósil mundial.

## 2. GRAPTOLITOS EN LIDITAS

La presencia de intercalaciones delgadas de rocas silíceas negras, asimilables a silixitas y radiolaritas, es común en determinadas sucesiones de pizarras negras silúricas de las zonas Galaico-Trasmontana y de Ossa-Morena del Macizo Ibérico, así como en las Cadenas Costeras Catalanas (GUTIÉRREZ-MARCO *et al.*, 1998; ROBARDET & GUTIÉRREZ-MARCO, 2002: ambos con referencias previas). El descubrimiento de graptolitos conservados en relieve dentro de las liditas del Llandoverly, fue señalado en diversos yacimientos portugueses del anticlinal de Valongo y la unidad parautoctona peri-trasmontana (ROMARIZ, 1956, 1957, 1960, 1961, 1962, 1969), parcialmente revisados por PIÇARRA *et al.* (2006a, b; 2009). El registro de liditas silúricas es mucho más raro en la Zona Centroibérica, aunque está ocasionalmente confirmado en el Llandoverly del anticlinal de Valongo (PIÇARRA *et al.*, 2009). Allí se sitúan algunas localidades donde se conservan tridimensionalmente monográptidos y diplogrptoideos del Aeroniense (Figs. 1A-

D). La silicificación temprana de los rabdosomas les dota de un contraste en tonos claros frente a la matriz lúdicica más oscura, que se mantiene en las secciones longitudinales de las colonias (Fig. 1C). Dicha silicificación es de origen secundario y surge a partir del hueco dejado por la desaparición del peridermo orgánico original del graptolito, de modo que las paredes de la colonia se engrosan durante el proceso de precipitación y recrecimiento en sílice, de un modo similar al descrito por GREILING (1958) para los graptolitos conservados en lúditas (*Kieselsäure*) del Silúrico alemán.

### 3. GRAPTOLITOS EN NÓDULOS FOSFÁTICOS

La sucesión silúrica del sinclinorio de Moncorvo (noreste de Portugal) destaca en la Zona Centroibérica por la presencia de facies pelágicas comparables con la “tríada túringica”, que incluyen incluso una caliza de escifocrinoideos datada como Ludlow-Prídoli mediante conodontos (SARMIENTO *et al.*, 1999). El conjunto se correlaciona con las sucesiones silúricas de Turingia (Alemania), sureste de Cerdeña (Italia), Zona de Ossa-Morena y determinados sectores norteafricanos. Como ocurre en Turingia y Cerdeña, las pizarras negras situadas por debajo de la caliza contienen nódulos silico-fosfatados que alcanzan en Moncorvo hasta 15 cm de diámetro, comparables con los “*Phosphoritknollen*” de la parte media de las Pizarras Graptolíticas Inferiores de las sucesiones citadas (JAEGER, 1976). En Portugal, los nódulos contienen abundantes graptolitos del Sheinwoodiense, conservados como moldes huecos sin compactar, en una fina matriz sílicea con granos gruesos de fosfato (Figs. 1E-K), de una forma comparable a los nódulos fosforíticos del Silúrico alemán (HUNDT, 1924: láms. 14-17). El estudio con microscopía electrónica y microanálisis de energía dispersiva de rayos X revela que el peridermo orgánico de los graptolitos no se ha preservado, pero que los tejidos fuselar y cortical fueron replicados por recubrimientos de fosfato cálcico, creciendo hacia el interior y exterior de los rabdosomas, dando lugar a gruesas cristalizaciones fibroso-radiadas rodeando al espacio vacío que en origen ocupaba el peridermo orgánico (Fig. 1J). Con posterioridad a la fosfatización, una escasa sílice coloidal vino a rellenar localmente los huecos dejados por el peridermo orgánico (Fig. 1K). El carácter geopetal de algunos rellenos se manifiesta también por la existencia de falsas estalactitas de fosfato con estructura fibroso-radiada y columnar, precipitadas en el hueco interno de algunos rabdosomas (Fig. 1I). Finalmente, los moldes de muchas colonias se vieron impregnados por óxidos de hierro, derivados de pirita de origen diagenético, que pudo haberse precipitado en el sedimento o por la acción bacteriana en el interior de algunos rabdosomas (SÁ *et al.*, 2009).

### 4. GRAPTOLITOS EN NÓDULOS PIRITOSOS

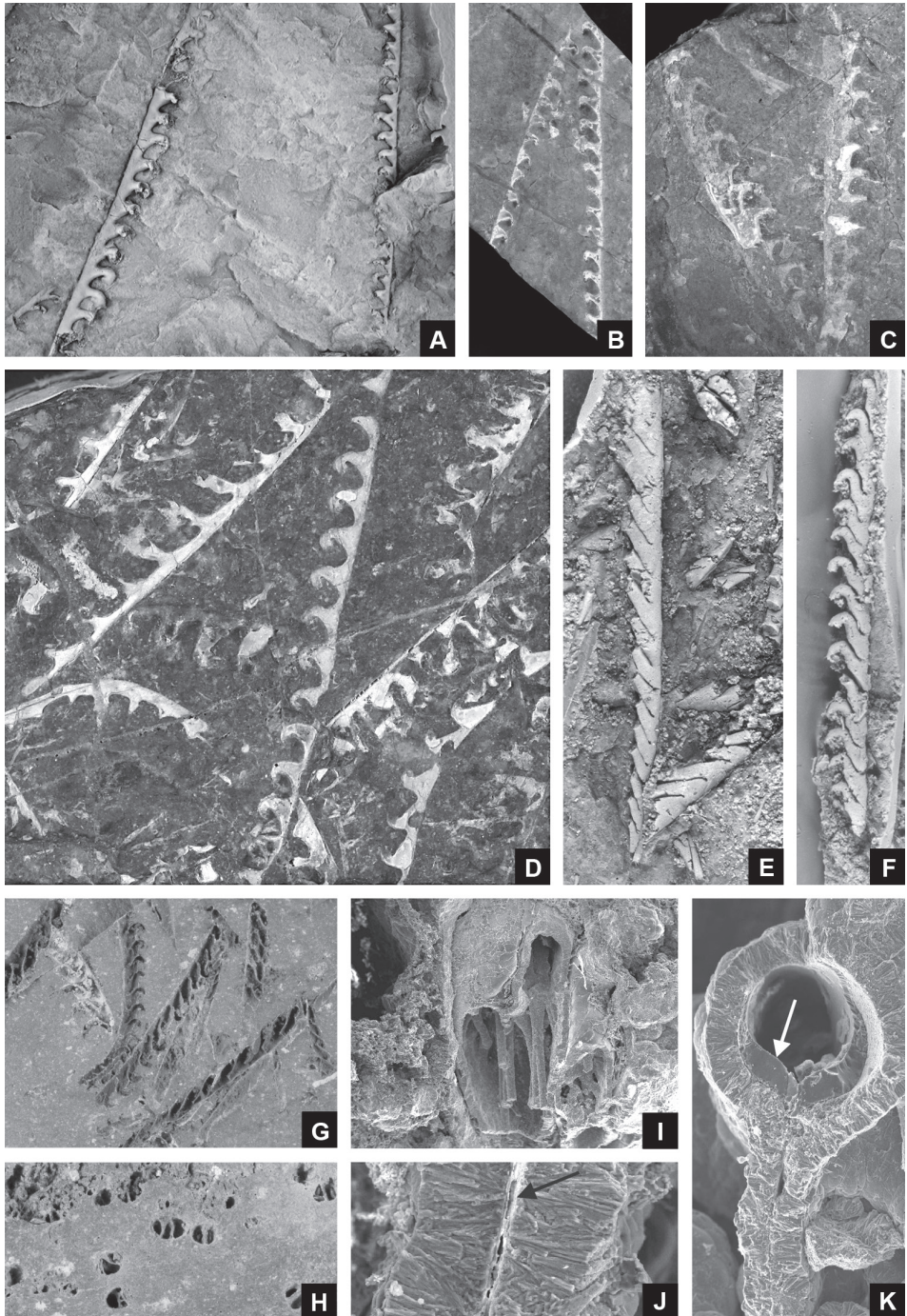
Este modo de conservación es totalmente excepcional y solamente ocurre en sendas localidades de ambos flancos del sinclinal de Almadén (Ciudad Real), situadas en el miembro superior (Rhuddaniense-Aeroniense) de la Cuarcita de Criadero. Se trata de arenas depositadas en aguas marino-someras (GALLARDO-MILLÁN *et al.*, 1994), que raramente encierran nódulos de pirita de origen diagenético (SAUPÉ, 1971). El caso extraordinario es que a veces la pirita de estos nódulos se halla casi completamente descompuesta, y deja ver en su interior agrupaciones de graptolitos biserials conservados en tres dimensiones, con los rabdosomas

vacíos e incluso aislables de la matriz (Figs. 2C-G). De acuerdo con los análisis químicos de LORENZO & GUTIÉRREZ-MARCO (2009), el peridermo orgánico del graptolito aparece replicado en óxidos de hierro con una pequeña proporción de filosilicatos, conservado la forma de los anillos fuselares y el recubrimiento cortical externo. El resultado puede deberse a procesos de piritización multifásica en graptolitos, semejantes a los descritos por UNDERWOOD & BOTTRELL (1994). En este sentido, nada más quedar enterrados los graptolitos tuvo lugar la mineralización del peridermo por procesos bacterianos, replicándose su ultraestructura en piritita framboidal en una fase muy temprana de la diagénesis. El microambiente reductor favoreció, en una segunda fase, la piritización masiva alrededor de los graptolitos, probablemente en presencia de gas metano atrapado en los poros del sedimento. Así se generaron nódulos piritosos que aguantaron tanto la compactación gravitacional como la deformación tectónica. La alteración posterior de estos últimos condujo a una oxidación diferencial de la piritita recrecida en el nódulo, más porosa y degradable, en relación con la piritita framboidal que mineralizó tempranamente el esqueleto de los graptolitos. Esta resistió mejor la alteración y terminó también siendo sustituida por óxidos de hierro, que reemplazaron delicadamente los framboides, con lo que se conservó un molde de parte de las estructuras peridérmicas, incluyendo algunas “agallas” corticales, por ataque de parásitos en vida de los graptolitos.

## 5. GRAPTOLITOS EN NÓDULOS SILÍCEOS

El registro de nódulos silíceos fosilíferos es frecuente en muchas sucesiones “iberotípicas” de las zonas Centroibérica, Asturoccidental-Leonesa y Cordillera Ibérica, limitándose por lo general a las pizarras negras del Telychiense y Sheinwoodiense, donde se conocen desde antiguo y han dado lugar a fantásticas interpretaciones (GUTIÉRREZ-MARCO *et al.*, 1997). La conservación tridimensional de los graptolitos está ligada invariablemente a la piritización de los rabdosomas y a la diagénesis temprana del sedimento circundante, tal vez favorecida por la actividad bacteriana en el interior de burbujas de metano ascendentes en la masa de las sapropelitas, que quedaron detenidas en los puntos con mayor porosidad, en muchos casos vinculados con concentraciones de restos de moluscos, euriptéridos o graptolitos. Como consecuencia de esta litificación temprana, los nódulos conservan los restos fósiles en sus dimensiones originales, pero en el caso de los graptolitos no suele producirse una mineralización secundaria en el interior de los rabdosomas y

Fig. 1 (pág. opuesta). Graptolitos del Silúrico portugués conservados en liditas del Aeroniense del anticlinal de Valongo (A-D: PIÇARRA *et al.*, 2009) y en nódulos silico-fosfatados del Sheinwoodiense del sinclinal de Moncorvo (E-K: SÁ *et al.*, 2009). **A.** Vaciado en látex de dos fragmentos de rabdosomas. **B, D.** monográptidos con recristalización silícea del peridermo. **C.** Ídem con sección parcial del rabdosoma de la izquierda mostrando su relleno interno, de la misma naturaleza que la matriz. **E-F.** Vacidados en látex a partir de moldes internos de monográptidos de tecas rectas (E) y ganchudas (F). **G-H.** Secciones longitudinales (G) y transversas (H) de rabdosomas fosfatizados, mostrando el relieve de los septos intertecales. **I.** Aspecto dorso-lateral oblicuo de un rabdosoma hueco, con tecas a la derecha, mostrando crecimientos pseudoestalactíticos geopetales, con columnas de fosfato cálcico fibroso-radiado que penden hacia abajo en la fotografía. **J.** Recrecimientos fosfáticos hacia el interior y exterior de la pared del rabdosoma, cuyo hueco central, correspondiente al peridermo orgánico desaparecido, se señala con una flecha. **K.** Relleno geopetal de sílice (flecha) en el arranque de un septo intertecal (parte



ventral del radosoma hacia el ángulo superior izquierda de la fotografía; comparar con las expansiones circulares del inicio de los septos intertecales en los moldes internos de la figura E). Escalas gráficas: A-D, G y H, 5 mm; E, F e I, 1 mm; J, 50  $\mu$ m; K, 100  $\mu$ m.

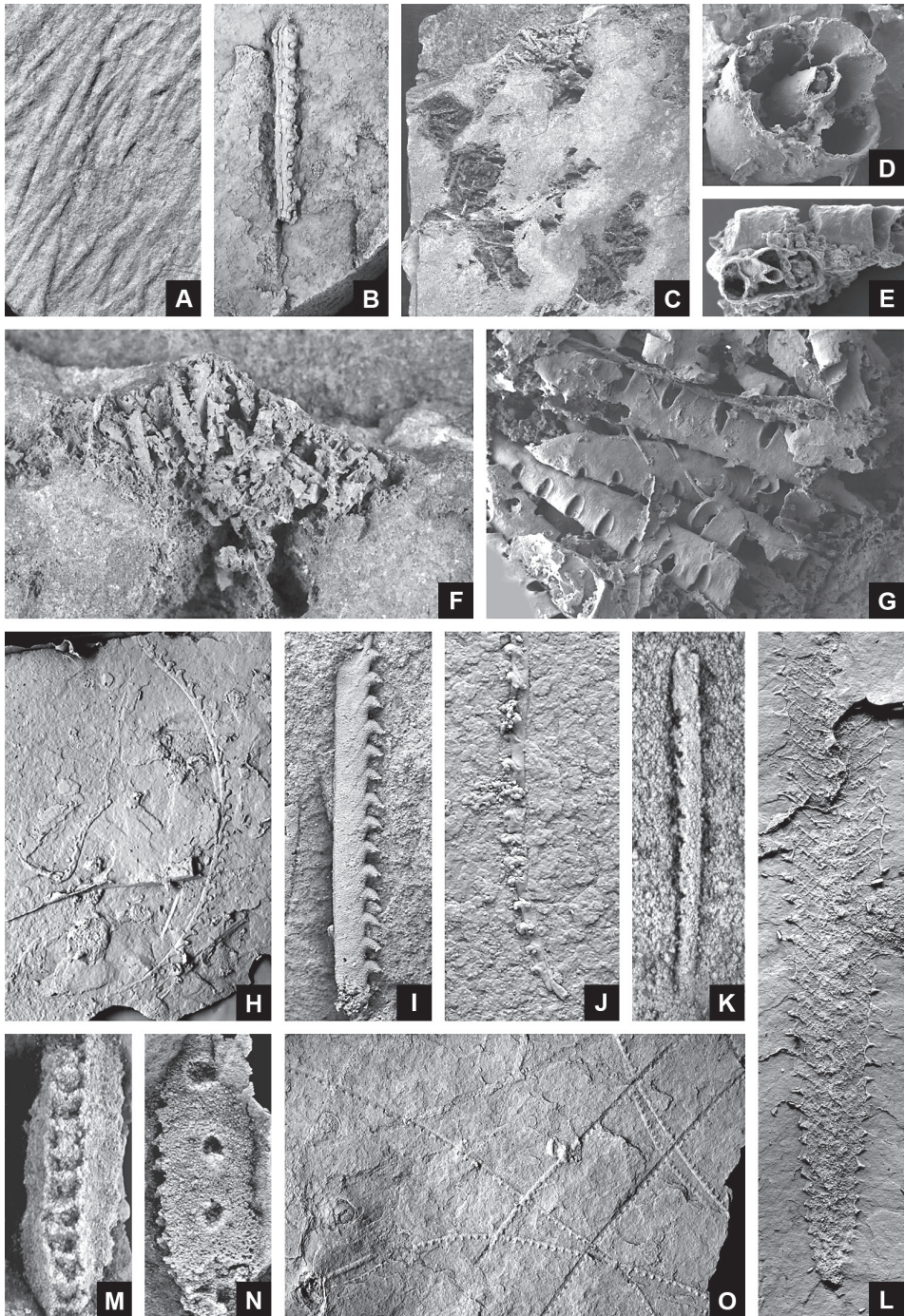
éstos se preservan vacíos, en estado de moldes externos con sus detalles bastante limitados, debido al grano tan tosco de la matriz silíceo desferuginizada (Figs. 2I, K, M, N).

## 6. GRAPTOLITOS EN PIZARRAS NEGRAS

Corresponde al caso más frecuente de conservación del relieve entre los graptolitos silúricos centroibéricos. Siempre se debe a la piritización temprana de parte de los rabdosomas preservados en ambientes anóxicos, o bien enterrados rápidamente bajo condiciones sulforreductoras e influjo bacteriano. Los ejemplos más notables se dan en la parte terminal de la Cuarcita del Criadero, donde se registran fenómenos de obrucción en capas con graptolitos alineados por corrientes (Fig. 2A), así como entre los rabdosomas aislados, finamente piritizados en intercalaciones de limolitas negras (Fig. 2B).

Dentro de las pizarras negras masivas que suceden a las cuarcitas, la piritización no es un fenómeno frecuente, sino que se halla restringida a los nódulos o a determinados niveles lutíticos (Figs. 2H, J, O, L). Esta piritización esporádica afectó esencialmente al peridermo y a las aberturas tecales en colonias que no se rellenaron completamente por sedimento, debido a lo cual resistieron la compactación tan sólo parcialmente, conservándose como moldes en bajorrelieve tras la degradación del material ferruginoso (Figs. 2H, J, L). No obstante, en raras ocasiones la piritización de algunos rabdosomas en pizarras fue completa, y el hueco dejado tras su oxidación fue reemplazado por minerales de arcilla diagenéticos y distintos a los de la matriz (Fig. 2O).

Fig. 2 (pág. opuesta). Graptolitos silúricos procedentes de varios yacimientos ubicados en los sinclinales de Almadén (A, C-G), Guadalmez (H, L), Herrera del Duque (I, K, M-N), Corral de Calatrava (J, O) y Sierra Morena Oriental (B). A-G, graptolitos aerienses procedentes de la parte alta de la Cuarcita de Criadero; H-L, formas del Telychiense o Sheinwoodiense procedentes de la unidad de pizarras negras (spropelitas) suprayacente a la anterior. **A.** Rabdosomas biseriales orientados por corrientes y moldeados en arenisca (GUTIÉRREZ-MARCO *et al.*, 1996). **B.** Ejemplar piritizado carente del extremo proximal, identificado como *Pseudoglyptograptus* *vas* por GUTIÉRREZ-MARCO & PINEDA VELASCO (1988). **C.** Vista general de varios nódulos de pirita alterados en un plano de arenisca. **D-E.** Fragmentos del extremo proximal de dos rabdosomas biseriales, huecos y fragmentados, mostrando secciones apicales de la sícula. **F.** Detalle del nódulo superior de la figura C, con acumulación mono-específica de graptolitos biseriales. **G.** Carios rabdosomas de *Normalograptus scalaris* replicados en óxidos de hierro, en vista lateral (centro) y subescalariformes, con vestigios de los anillos fuselares y las aberturas tecales reforzadas por engrosamientos peridérmicos. **F.** Vaciado en látex de un rabdosoma de *Torquigraptus arcuatus*, a partir del molde externo de un ejemplar piritizado en pizarra. **I.** Vaciado en látex de un fragmento distal de *Monograptus flemingii* conservado en un nódulo. **J.** Parte proximal piritizada de *Stimulograptus splendens* en pizarra negra. **K.** Réplica en látex de un fragmento distal de *Monoclimacis* conservado en un nódulo. **L.** Vaciado en látex del varillaje y la reticulación de la manga del áncora de *Retiolites geinitzianus*, parcialmente aplastado en pizarra negra. **M-N.** Vaciado en látex de ejemplares conservados en



nódulos del retiolítico *Stomatograptus* sp., en vista ventral (escalariforme) por una de las caras (M) y en vista lateral (N), con los estomas de la manga del áncora muy destacados. O. Rabdosomas de *Stimulograptus becki* en pizarra, originalmente piritizados, luego disueltos y finalmente reemplazados por minerales de arcilla. Escalas gráficas: A, B, F, H y O, 5 mm; C, 10 mm; G e I-N, 2 mm.

## 7. GRAPTOLITOS EN CALIZAS

Las unidades calcáreas no se prodigan en el Silúrico ibérico, donde su registro normalmente se asocia a la “triada turingica” de la Zona de Ossa-Morena y las Cadenas Costeras Catalanas, así como a los niveles del Silúrico superior y tránsito Silúrico-Devónico en los Pirineos (GUTIÉRREZ-MARCO *et al.*, 1998; ROBARDET & GUTIÉRREZ-MARCO, 2002; ambos con referencias previas). Los niveles calcáreos del Llandovery registrados esporádicamente en la Zona Cantábrica no han librado todavía graptolitos, pero existen calizas “graptolíticas” del Ludlow en la Cordillera Ibérica que por el momento no han sido publicadas (datos inéditos del primer autor). Las únicas ilustraciones de graptolitos ibéricos conservados en caliza provienen del trabajo de PIÇARRA *et al.* (1998), dado que el yacimiento donde estos fósiles son más abundantes, las famosas “pizarras y calizas negras carburadas” del Sheinwoodiense de Camprodón (Gerona), concentra citas y colecciones antiguas que permanecen sin figurar (FONT Y SAGUÉ, 1902; FAURA Y SANS, 1909, 1913).

La diagénesis temprana de muchos sedimentos calcáreos favorece la preservación tridimensional de los graptolitos, que en gran parte de las ocasiones conservan su peridermo orgánico y pueden ser separados de la roca mediante procedimientos químicos, lo que redundo en estudios detallados sobre la histología, ultraestructura y composición de los rabdosomas (GUTIÉRREZ-MARCO, 2009). No obstante, el peridermo de los graptolitos no se suele conservar en sus yacimientos españoles en calizas, de donde tampoco pueden ser extraídos debido a los frecuentes casos de recristalización esparítica que incrementa el volumen y acaba por disgregar el peridermo orgánico en multitud de fragmentos.

Las únicas calizas con graptolitos registradas en la Zona Centroibérica (*sensu lato*) han sido descubiertas recientemente al este del Puerto Calatraveño, en el término de Alcaracejos (Córdoba). Este sector se ubica al sur de la alineación magmática de Los Pedroches, donde existe una gran mezcla de fósiles y sucesiones del Neoproterozoico y Paleozoico, en parte afines a la Zona de Ossa-Morena y en parte al sector surcentroibérico clásico, de modo que algunos autores han optado por diferenciar aparte este dominio como la Zona Lusitano-Mariánica (SAN JOSÉ *et al.*, 2004).

En la figura 3A-C se ilustra parte del material obtenido, que consiste en fragmentos mesio-distales de un monograptido de tecas ganchudas, conservado como moldes internos sin rastros del peridermo orgánico. Algunos ejemplares debieron quedar vacíos y fueron rellenados posteriormente por cemento esparítico (Fig. 3C). De la unidad calcárea, aparentemente lenticular y con restos de nautiloideos, no se cuenta de momento con detalles precisos sobre su ubicación estratigráfica, en una región intensamente tectonizada y con afloramientos desconectados entre sí.

### AGRADECIMIENTOS

A Carlos Alonso y al Centro Nacional de Microscopía Electrónica “Luis Brú” (Universidad Complutense de Madrid) por las ilustraciones fotográficas. Al Dr. Artur A. Sá (Universidad de Trás-os-Montes e Alto Douro, Portugal), por su ayuda en la confección de las figuras y la lectura crítica del manuscrito. Este trabajo es una contribución al proyecto 591 del PICG (IUGS-UNESCO) y está dedicado a nuestro colega “cámbrico” Dr. Antonio Perejón, con motivo de su jubilación.





Fig. 3. *Monograptus* sp. (fragmentos mesio-distales de rabdosomas con tecas ganchudas). Moldes internos en la caliza del Wenlock (?) del Puerto Calatraveño (A), con detalle de uno de los ejemplares (B) y otro con relleno espático (C). Escalas gráficas: A, 10 mm; B-C, 2 mm.

#### BIBLIOGRAFÍA

- FAURA Y SANS, P. 1909. Graptolitos citados en Cataluña. *Memorias de la Real Sociedad Española de Historia Natural*, **6** (2): 45-65.
- FAURA Y SANS, P. 1913. Síntesis estratigráfica de los terrenos primarios de Cataluña, con una descripción de los yacimientos fosilíferos más importantes. *Memorias de la Real Sociedad Española de Historia Natural*, **9** (1): 1-200.
- FONT Y SAGUÉ, N. 1902. Nota sobre el silúrico superior del valle de Camprodón (Pirineos catalanes). *Boletín de la Sociedad Española de Historia Natural*, **7**: 102-104.
- GALLARDO-MILLÁN, J.L., HIGUERAS, P. & MOLINA, J.M. 1994. Análisis estratigráfico de la “Cuarcita de Criadero” en el Sinclinal de Almadén. *Boletín Geológico y Minero*, **105**: 135-145.
- GARCÍA PALACIOS, A., GUTIÉRREZ-MARCO, J.C. & HERRANZ ARAÚJO, P. 1996. Edad y correlación de la “Cuarcita de Criadero” y otras unidades cuarcíticas del límite Ordovícico-Silúrico en la Zona Centroibérica meridional (España y Portugal). *Geogaceta*, **20**: 19-22.
- GREILING, L. 1958. Graptolithen-Erhaltung in “weisser Kieselsäure”. *Senckenbergiana lethaea*, **39** (3-4): 289-299.
- GUTIÉRREZ-MARCO, J.C. 2009. Capítulo 8. Hemicordados: graptolitos. In: MARTÍNEZ-CHACÓN, M.L. & RIVAS, P. Eds. *Paleontología de Invertebrados*. Págs. 497-524. Sociedad Española de Paleontología, Universidad de Oviedo, Universidad de Granada e Instituto Geológico y Minero de España. Madrid, Oviedo, Granada.
- GUTIÉRREZ-MARCO, J.C. & PINEDA VELASCO, A. 1988. Datos bioestratigráficos sobre los materiales silúricos del subsuelo de El Centenillo (Jaén). In: *II Congreso Geológico de España, Granada 1988, Comunicaciones, Volumen I*. págs. 91-94. Servicio de Publicaciones, Universidad de Granada. Granada.
- GUTIÉRREZ-MARCO, J.C., RÁBANO, I., BOMBÍN-ESPINO, M., GARCÍA PALACIOS, A. & HERRANZ ARAÚJO, P. 1997. “Piedras Geodes” y nódulos silúricos en el Aparato para la Historia Natural Española (1754) de José Torrubia. *Geogaceta*, **21**: 135-137.
- GUTIÉRREZ-MARCO, J.C., ROBARDET, M. & PIÇARRA, J.M. 1998. Silurian Stratigraphy and Paleogeography of the Iberian Peninsula (Spain and Portugal). In: GUTIÉRREZ-MARCO, J.C. & RÁBANO, I. (eds.), *Proceedings of the Sixth International Graptolite Conference of the GWG (IPA) and the SW Iberia Field Meeting 1998 of the International Subcommission on Silurian Stratigraphy (ICS-IUGS)*. págs. 13-44. Temas Geológico-Mineros, 23, Instituto Tecnológico Geominero de España. Madrid.

- HUNDT, R. 1924. *Die Graptolithen des deutschen Silurs*. 97 págs. Verlag Max Weg. Leipzig.
- JAEGER, H. 1976. Das Silur und Unterdevon vom thüringischen Typ in Sardinien und seine regionalgeologische Bedeutung. *Nova Acta Leopoldina*, n.F., **45** (224): 263-299.
- LENZ, A.C., ROBARDET, M., GUTIÉRREZ-MARCO, J.C. & PIÇARRA, J.M. 1996. Devonian graptolites from southwestern Europe: a review with new data. *Geological Journal*, **31**: 349-358.
- LORENZO, S.E. & GUTIÉRREZ-MARCO, J.C. 2009. Occurrence and 3D-preservation of Llandoverly graptolites in the Criadero Quartzite of the Almadén mining district (Spain). *Rendiconti della Società Paleontologica Italiana*, **3** (3): 311-312.
- PIÇARRA, J.M., GUTIÉRREZ-MARCO, J.C., LENZ, A.C. & ROBARDET, M. 1998. Pridoli graptolites from the Iberian Peninsula: a review of previous data and new records. *Canadian Journal of Earth Sciences*, **35** (1): 65-75.
- PIÇARRA, J.M., GUTIÉRREZ-MARCO, J.C., SÁ, A.A., MEIRELES, C. & GONZÁLEZ-CLAVIJO, E. 2006. Silurian graptolite biostratigraphy of the Galicia – Trás-os-Montes Zone (Spain and Portugal). *Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar*, **128**: 185-188.
- PIÇARRA, J.M., GUTIÉRREZ-MARCO, J.C., SARMIENTO, G. & SÁ, A.A. 2006. Novos dados de conodontes e graptólitos no Paleozóico parautoctone da Zona Galiza – Trás-os-Montes (Espanha e Portugal). In: MIRÃO, J. & BALBINO, A. Coords., *Resumos alargados VII Congresso Nacional de Geologia*, 2. Págs. 653-656. Évora.
- PIÇARRA, J.M., SÁ, A.A., ŠTORCH, P. & GUTIÉRREZ-MARCO, J.C. 2009. Silurian stratigraphy and paleontology of the Valongo anticline and Arouca-Tamames syncline, Central-Iberian Zone (Portugal and Spain). *Rendiconti della Società Paleontologica Italiana*, **3** (3): 323-324.
- ROBARDET, M. & GUTIÉRREZ-MARCO, J.C. 2002. Silurian. In: GIBBONS, W. & MORENO, T. (eds.), *The Geology of Spain*. Págs. 51-66. The Geological Society. London.
- ROMARIZ C. 1956. Graptolóides da Serra de Bougado (Santo Tirso). *Associação Portuguesa para o Progresso das Ciências*, **5** (4): 193-196.
- ROMARIZ C. 1957. Graptolóides das formações faníticas do Silúrico de Entre Douro e Minho. *Boletim da Sociedade Geológica de Portugal*, **12** (1): 23-30.
- ROMARIZ C. 1960. Notas sobre graptolóides portugueses. *Boletim do Museu e Laboratório Mineralógico e Geológico da Faculdade de Ciências de Lisboa*, **8** (2): 165-168.
- ROMARIZ C. 1961. Graptolóides das formações faníticas do silúrico português. *Boletim da Sociedade Geológica de Portugal*, **14**: 17-30.
- ROMARIZ C. 1962. Graptólitos do Silúrico Português. *Revista da Faculdade de Ciências de Lisboa*, 2ª série C, **10** (2): 115-312.
- ROMARIZ C. 1969. Graptolitos silúricos do Noroeste Peninsular. *Comunicações dos Serviços Geológicos de Portugal*, **53**: 107-155.
- SÁ, A.A., PIÇARRA, J.M., GUTIÉRREZ-MARCO, J.C. & SARMIENTO, G.N. 2009. P-rich nodules and “hollow graptolites” in the upper Silurian of the Moncorvo synclinorium, north Portugal. *Rendiconti della Società Paleontologica Italiana*, **3** (3): 335-336.
- SAN JOSÉ, M.A. DE, HERRANZ, P. & PIEREN, A.P. 2004. A review of the Ossa-Morena Zone and its limits. Implications for the definition of the Lusitan-Marianic Zone. *Journal of Iberian Geology*, **30**: 7-22.
- SARMIENTO, G.N., PIÇARRA, J.M., REBELO, J.A., ROBARDET, M., GUTIÉRREZ-MARCO, J.C., ŠTORCH, P. & RÁBANO, I. 1999. Le Silurien du synclinorium de Moncorvo (NE du Portugal): biostratigraphie et importance paléogéographique. *Geobios*, **32** (5): 749-767.
- SAUPÉ, F. 1971. Stratigraphie et pétrographie du «Quartzite du Criadero» (Valentien) à Almadén (province de Ciudad Real, Espagne). *Mémoires du Bureau des Recherches Géologiques et Minières*, **73**: 139-147.
- UNDERWOOD, C.J. & BOTTRELL, S.H. 1994. Diagenetic controls on multiphase pyritization of graptolites. *Geological Magazine*, **131**: 315-327.