

Primer registro del icnogénero *Phycodes* en el Ordovícico Medio de los Montes de Toledo (Zona Centroibérica, España)

First record of the ichnogenus *Phycodes* in the Middle Ordovician of the Toledo Mounts (Central Iberian Zone, Spain)

Juan Carlos Gutiérrez-Marco¹ y Artur A. Sá²

1. Instituto de Geociencias (CSIC, UCM) y Departamento de Paleontología, Facultad de Ciencias Geológicas José Antonio Nováis 12, 28040 Madrid (España).
jcgrapto@ucm.es

2. Departamento de Geología, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Quinta de Prados, 5001-801 Vila Real y Centro de Geociências, Universidade de Coimbra. Polo II, 3030-790 Coimbra (Portugal). asa@utad.pt

Recibido: 3-noviembre-2016. Aceptado: 13-enero-2017. Publicado en formato electrónico: 17-enero-2017.

PALABRAS CLAVE: Icnofósiles, Icnotaxonomía, Ordovícico, Zona Centroibérica, Península Ibérica.
KEY WORDS: Trace fossils, Ichnotaxonomy, Ordovician, Central Iberian Zone, Iberian Peninsula.

Resumen

Se presenta el primer registro español de *Phycodes noha* Mikuláš, un sistema horizontal de galerías en disposición flabelliforme, restringida a las facies lutíticas del Ordovícico Inferior de la República Checa y del Ordovícico Medio de la Península Ibérica. Los ejemplares españoles proceden de las pizarras del Oretaniense inferior (Darriwiliense medio basal) de la sección de la Cuesta de Valderuelo, al oeste de Navas de Estena (Ciudad Real). El análisis morfológico permite considerar a *Phycodes canelensis*, definido en el Oretaniense inferior de Portugal, como un sinónimo posterior de *P. noha*. El descubrimiento de este icnofósil incrementa la escasa icnodiversidad conocida en el Ordovícico Medio centroibérico.

ABSTRACT

Phycodes noha Mikuláš, a horizontal flabellate burrow system so far restricted to the lutitic facies of the Lower Ordovician of the Czech Republic and the Middle Ordovician of Portugal, is recorded for the first time in Spain. The Spanish specimens show a complete morphological transition from typical fan-shaped passages forming a compact subtriangular body in plan view, to rarer bilateral forms ending in fanlike arrangement. The studied material comes from the lower Oretanian shales (ca. basal middle Darriwilian) outcropping at the Cuesta de Valderuelo section, west of Navas de Estena (Ciudad Real province). The morphological study concluded that *Phycodes canelensis*, a composite form described from the lower Oretanian beds in Portugal, could be better considered as a junior synonym of *P. noha*. Its description is based on incomplete specimens lacking the generating tube and stuffed with faecal pellets (*Tomaculum problematicum*), only hypothetically produced by the tracemaker of *Phycodes*. The discovery of *Phycodes noha* in Spain increases the very low ichnodiversity of the Middle Ordovician shales from the Central Iberian Zone of the Iberian Massif.

1. INTRODUCCIÓN

En comparación con el amplio registro icnológico de las sucesiones arenosas del Ordovícico Inferior y Superior del suroeste de Europa, los icnofósiles son sumamente escasos en las unidades pizarrosas del Ordovícico Medio de la Península Ibérica (ver recopilación bibliográfica en ROMANO, 1991; SÁ & GUTIÉRREZ-MARCO, 2015). El icnogénero *Phycodes* Richter es uno de estos raros elementos detectados en las lutitas y limolitas oscuras del Ordovícico Medio de la Zona Centroibérica, en un tramo muy concreto de la Formación Valongo en el *Lagerstätte* de Canelas

(Arouca Geoparque Mundial de la UNESCO, Norte de Portugal), donde fue descrito o ilustrado por GUTIÉRREZ-MARCO & SÁ (2008), SÁ & GUTIÉRREZ-MARCO (2015) y NETO DE CARVALHO *et al.* (2016).

El objeto de la presente nota es comunicar el descubrimiento del mismo icnogénero en niveles correlacionables con los de Canelas en la región de los Montes de Toledo, España, y discutir la pertinencia en la diferenciación de *Phycodes canelensis*, descrita recientemente como ejemplo de interacción animal-microbiana (NETO DE CARVALHO *et al.*, 2016).

2. MARCO GEOLÓGICO

El material estudiado procede de la conocida sección de las Pizarras de Navas de Estena enclavada en la Cuesta de Valderuelo, al Este del término municipal de Navas de Estena (Ciudad Real). La capa con *Phycodes* se sitúa estratigráficamente entre 120 y 135 m por encima de la base de la citada formación, abarcando el estratotipo de los braquiópodos *Paralenorthis estenaensis* y *Sivorthis calatravaensis*. Estos fueron definidos en el yacimiento NE-III A (REYES-ABRIL *et al.*, 2010), localizado unos 5.600 m al sureste de Navas de Estena (lat. 39° 27' 33" N, long. 4° 28' 31" O). La edad del tramo corresponde a la Zona de *Didymograptus artus* (graptolito) y se corresponde con el Oretaniense temprano de la escala regional, equivalente al Darriwiliense medio temprano de la escala geocronológica internacional (GUTIÉRREZ-MARCO *et al.*, 2015).

Con aparición masiva (aunque lateralmente discontinua) en el nivel de los braquiópodos, o bien de manera puntual en las pizarras más finas y menos fosilíferas que lo enmarcan, *Phycodes* destaca tanto de la roca matriz, como de los frecuentes restos de conchas y caparazones de otros invertebrados, por un relleno de diferente textura e impregnación mineral. Los detalles morfológicos y su asignación icnotaxonómica son descritos en el apartado siguiente, así como su relación con el hallazgo previo de *Phycodes* en materiales coetáneos de Portugal (Fig. 1).

3. ICNOTAXONOMÍA

ICNOGÉNERO *Phycodes* Richter, 1850

ICNOESPECIE TIPO.- *Phycodes circinatus* Richter, 1850. Ordovícico Inferior de Turingia (Alemania).

Phycodes noha Mikuláš, 1995, *sensu lato*
Figs. 1, 2a-1

1991 *Buthotrephis noha* ichnosp. nov. Mikuláš, p. 18 (*nomen nudum*).

*1995 *Phycodes noha* ichnosp. nov. Mikuláš, p. 395-397, lám 1, fig. 1; lám 2, fig. 3; lám 4, figs. 3-4; lám. 7, fig. 3; lám. 8, fig. 2; Figs. 4A, C, D, H-I en el texto.

p.1995 *Phycodes* ichnosp. MIKULÁŠ, p. 397, lám 1, fig. 1; lám 2, fig. 3; lám. 6, fig. 1?; Figs. 4B, E? en el texto (non lám. 2, fig. 1; lám. 4, fig. 1; figs. 4F-G en el texto; = *Phycodes* isp.).

v.2006 Estructuras recheadas por pellets fecais – GUTIÉRREZ-MARCO & SÁ, p. 172, 2 figs.

v.2008 *Phycodes noha* Mikuláš – GUTIÉRREZ-MARCO & SÁ, p. 37-38, figs. 1 B-C.

v.2009 *Phycodes noha* Mikuláš – SÁ *et al.*, p. 142, fig. 1.8

v.2015 *Phycodes noha* Mikuláš – SÁ & GUTIÉRREZ-MARCO, p. 17-18, figs. 11A-H.

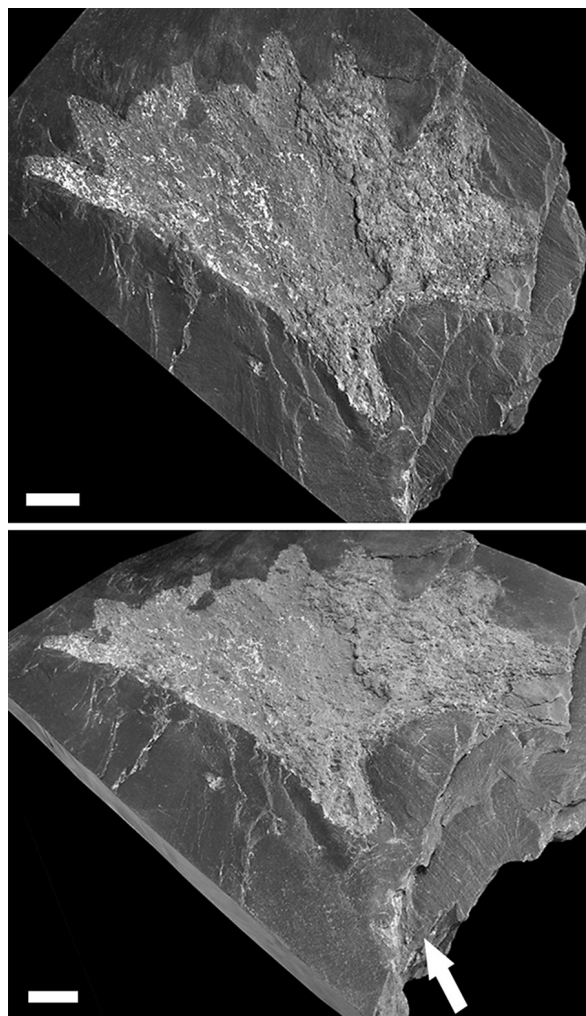


Figura 1. *Phycodes noha* Mikuláš, 1995. Ejemplar aplastado y algo deformado, en vista superior (arriba) y oblicua-posterior (debajo), procedente de la cantera de Canelas (Arouca Geoparque Mundial de la UNESCO, norte de Portugal). Colección del Centro de Interpretación Geológica de Canelas. La flecha señala el extremo proximal (incompleto) de la galería inicial. Escala gráfica 3 cm.

— *Phycodes noha* Mikuláš, 1995. Flattened specimen, somewhat deformed, in upper and oblique-posterior views, coming from the Canelas slate quarry (Arouca UNESCO Global Geopark, north Portugal). Unnumbered specimen from the Canelas Geological Interpretation Center. Arrow marks the broken end of the main generating tube. Scale bar, 3 cm.

v.2016 *Phycodes canelensis* isp. nov. Neto de Carvalho *et al.*, p. 29, figs. 4A-B.

Material.- Se seleccionaron 14 ejemplares para su depósito en el Museo Geominero (IGME, Madrid): MGM-7742-O a MGM-7755-O.

Descripción.- Estructura horizontal formada por un tubo generador bien desarrollado, del que irradian varias ramas en sentido opuesto, pudiendo formar un cuerpo triangular compacto,

o bien separarse en haces laterales. La galería principal (o inicial) ocupa una posición axial y las galerías más distales (6-8 como máximo) no llegan a formar terminaciones “digitadas” destacables en el conjunto de la estructura, que mantiene un aspecto aplanado y paralelo al plano de estratificación. Las dimensiones máximas observadas son 95 mm de longitud y 97 mm de anchura, si bien podría superarse este tamaño ya que una galería inicial aislada, de aspecto “teichichnoide” (con desplazamiento vertical), llega a alcanzar los 60 mm de longitud. El relleno de la huella contrasta claramente por su coloración más clara e impregnación ferruginosa frente a la roca matriz. La textura es también más tosca, y el extremo distal de las galerías secundarias suele presentar concentraciones de valvas de ostrácodos desarticuladas (géneros *Gracquina*, *Klimphores?* y formas lisas).

Observaciones.- Los ejemplares recuerdan claramente a *Phycodes noha*, por su desarrollo flabeliforme en la horizontal a partir de un tubo generador único, y su restricción a facies de lutitas o limolitas ricas en materia orgánica, sin vinculación con sustratos o rellenos arenosos como sucede entre las restantes formas ordovícicas del icnogénero (HAN & PICKERILL, 1994; SEILACHER, 2000; MUÑIZ *et al.*, 2002). El material tipo del Arenigiense checo (MIKULÁŠ, 1995) presenta una gran variabilidad en cuanto al desarrollo de la excavación central triangular, de la que emanan galerías radiales que llegan a adquirir una terminación ensanchada en forma de maza en el icnoholotipo (pero no entre los icnoparatis de la misma localidad). No obstante, otros ejemplares checos muestran un aspecto esencialmente bilateral (MIKULÁŠ, 1995, fig. 4D), semejante al que se marca en la mayor parte de los ejemplares españoles. Uno de ellos (Fig. 2c) parece tener un tubo basal como el del icnogénero *Heimdallia* Bradshaw (BUCKMAN, 1996), pero carece de las conexiones (*spreiten*) verticales propias del mismo.

La variabilidad morfológica de la huella también está presente entre el material español, donde coexisten morfotipos dispares en el mismo yacimiento, y a veces en idéntico nivel. Así, junto con formas donde la galería inicial da paso a un cuerpo triangular compacto (Figs. 2a-b, e), existen casos donde esta galería generadora se bifurca en dos ramas (Figs. 2j, l) o desarrolla más de un punto de bifurcación axial (Figs. 2g, i). De no encontrarse todos estos morfotipos juntos en la misma capa, resultaría tentador pensar que las formas claramente bifurcadas y divergentes (Figs. 2j-l) justificarían proponer una nueva icnoespecie. Pero el hecho de apreciarse intergradación entre todos los morfotipos concurrentes en el mismo yacimiento, nos lleva a considerar la existencia de una sola forma con gran variabilidad icnogénica, o determinada tal vez por factores ambientales. Ello se manifiesta porque muchas formas inicialmente bifurcadas tienden a desarrollar otras

ramificaciones posteriores a partir de la zona axial (Figs. 2g, i), hasta constituir el cuerpo triangular compacto en el que desemboca la galería inicial, elementos ambos típicos de la icnoespecie (Figs. 2b, d, e, h).

Otro carácter común a la mayoría de los ejemplares del yacimiento, independientemente de su morfología masiva a netamente bilateral, es la gran concentración de valvas de ostrácodos que presentan las galerías más distales en diferentes estructuras (Fig. 2k), y que en un principio podrían haber sido acumuladas allí por el organismo productor. Sin embargo, el icnogénero *Phycodes* se interpreta unánimemente como la huella de alimentación de un sedimentívoro (SEILACHER, 2000), por lo que no tiene mucho sentido pensar que los ostrácodos acumulados al final de la huella pudieran haber formado parte de su dieta. En estas condiciones, lo más probable es que se trate de un caso de selección por tamaño de las partículas más gruesas para acumularlas al final de los tubos, partiendo de unos restos de ostrácodos encontrados al remover el sedimento. La alternativa es que los ostrácodos hubieran entrado de forma activa, o sus valvas transportadas pasivamente, si el productor de *Phycodes* no hubiese concluido por rellenar completamente sus galerías. En este sentido, MIKULÁŠ (1995) señala también acumulaciones selectivas de quitinozoos en el relleno de algunos ejemplares checos. La presencia de *Tomaculum* en ejemplares portugueses de la icnoespecie podría resultar comparable y haber seguido un patrón diferente al de la propia generación de la huella.

Fuera de Bohemia, *Phycodes noha* había sido identificado en materiales del Oretaniense inferior en la Formación Valongo del norte de Portugal (GUTIÉRREZ-MARCO & SÁ, 2008; SÁ *et al.*, 2009; SÁ & GUTIÉRREZ-MARCO, 2015), coetáneos con su registro de los Montes de Toledo, tal y como viene indicado por la asociación acompañante de trilobites, braquiópodos y graptolitos. Los ejemplares portugueses tienen, sin embargo, un mayor tamaño, relacionado en parte con circunstancias tectónicas (apreciable extensión según S_0 con desarrollo de una fuerte foliación paralela a la estratificación), y también con un ambiente pobre en oxígeno, que implicaría a su vez una posible variante dentro del grupo de organismos productores (no necesariamente el mismo animal que generó las huellas registradas en España o la República Checa).

Entre el material portugués se advierten morfológicas extremas por el carácter netamente “digitado” de algunos ejemplares, de cuya porción masiva central parten galerías subcilíndricas, con un relleno compuesto parcial o íntegramente por el coprolito *Tomaculum problematicum* Groom. En otros ejemplares, por el contrario, las expansiones digitadas son cortas y subtriangulares (Fig. 1). NETO DE CARVALHO *et al.* (2016) propusieron agrupar las formas portuguesas en la nueva icnoespecie *Phycodes canelensis*, cuya diagnosis se basa únicamente en la existencia

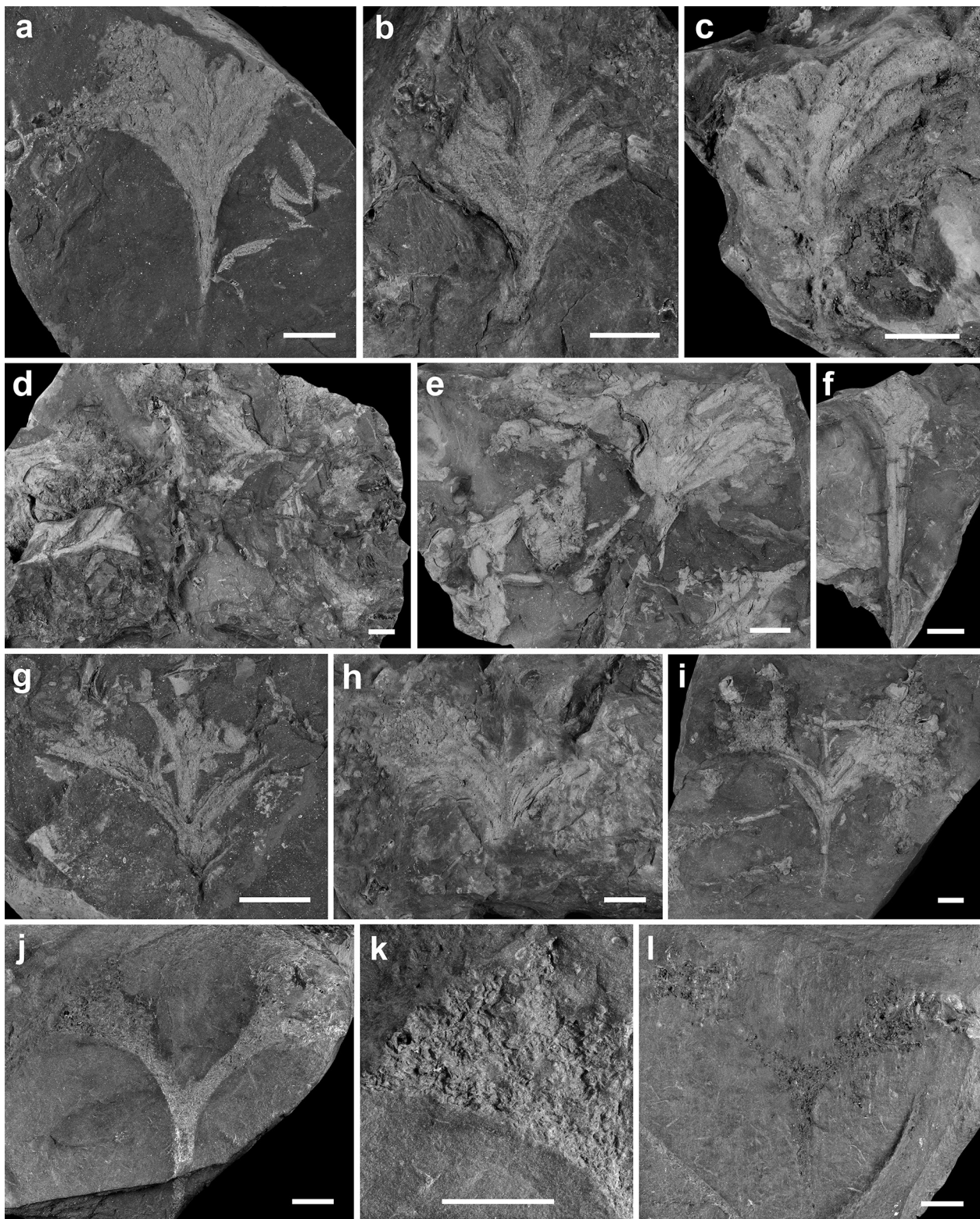


Figura 2. *Phycodes noha* Mikuláš, 1995. Ejemplares del Oretaniense inferior de Navas de Estena (Ciudad Real). Colección del Museo Geominero (IGME, Madrid). **a**, MGM-7742-O; **b**, MGM-7743-O; **c**, MGM-7744-O; **d**, MGM-7745-O; **e**, MGM-7746-O; **f**, MGM-7747-O; **g**, MGM-7748-O; **h**, MGM-7748-O; **i**, MGM-7750-O; **j**, MGM-7751-O; **k**, detalle del ejemplar anterior, mostrando numerosas valvas de ostrácodos en el relleno interno de la rama izquierda; **l**, MGM-7752-O. Escalas gráficas, 1 cm.

— *Phycodes noha* Mikuláš, 1995. Specimens from lower Oretanian shales of Navas de Estena (Ciudad Real province). Collection of the Museo Geominero (Spanish Geological Survey–IGME, Madrid). **a**, MGM-7742-O; **b**, MGM-7743-O; **c**, MGM-7744-O; **d**, MGM-7745-O; **e**, MGM-7746-O; **f**, MGM-7747-O; **g**, MGM-7748-O; **h**, MGM-7748-O; **i**, MGM-7750-O; **j**, MGM-7751-O; **k**, detail of the previous specimen, showing abundant ostracod valves in the infilling of the left branch; **l**, MGM-7752-O. Scale bars, 1 cm.

de un relleno fecal. En su descripción tampoco apreciaron la existencia de una galería inicial horizontal y opuesta a las flabeladas, claramente descrita por SÁ & GUTIÉRREZ-MARCO (2015, figs. 11A, D, H) y reproducida en la figura 1 para la misma localidad. El error se debe a que ilustraron ejemplares incompletos, uno de los cuales (NETO DE CARVALHO *et al.*, 2016, fig. 4c) sí que conserva en su contraparte el tubo generador (se corresponde con el mismo ejemplar ilustrado por SÁ & GUTIÉRREZ-MARCO, 2015, figs. 11D-E).

En la revisión de algunos icnofósiles portugueses, SÁ & GUTIÉRREZ-MARCO (2015) ya habían examinado una amplia muestra de *P. noha* derivada de la localidad de Canelas, donde la icnoespecie presenta gran variabilidad morfológica y cuyo relleno fecal sólo parece constatar en raros (pero sobresalientes) ejemplares. Por comparación con las citas conocidas en otros icnogéneros de invertebrados que ocasionalmente muestran rellenos fecales similares (por ejemplo *Zoophycos* Massalongo, *Rhizocorallium* Zenker, *Melatercichnus* Miller, *Phymatoderma* Brongniart, *Taenidium* Heer, *Fimbritubichnus* Gluszek, *Echinospira* Girotti, *Quebecichnus* Hofmann, *Chondrites* von Sternberg, *Palaeophycus* Hall o *Halymenites* Stenberg, entre otros), en el presente trabajo concluimos que la presencia de *T. problematicum* en el interior de *Phycodes*, no constituye en sí misma ninguna icnotaxobase significativa, y menos aún a nivel de icnoespecie. Además, SÁ & GUTIÉRREZ-MARCO (2015) inciden en que el relleno fecal que convierte a algunos de los ejemplares portugueses en icnofósiles compuestos, tal vez no resulte consustancial al organismo productor ni a la huella de *P. noha*, sino que podría ser obra de un organismo diferente, que en este caso retrabajase el relleno de las galerías en una fase muy posterior a la de su abandono.

NETO DE CARVALHO *et al.* (2016) interpretaron la presencia de *T. problematicum* en el interior de su *Phycodes canelensis* (= *P. noha*) como el depósito intencionado de los residuos fecales, bien para alejarlos de los sedimentos con nutrientes aún por consumir, o bien como almacén para cultivar bacterias quimioautótrofas a las que recurrir durante los periodos desfavorables para otros recursos alimenticios ordinarios. La primera interpretación es poco verosímil porque el relleno por *Tomaculum* afecta a estructuras ya completadas, y la segunda especulación resulta cuestionable ateniéndonos al registro vertical de *T. problematicum* en la Cuesta de Valderuelo, donde la aparición de los coprolitos no se halla vinculada con los productores de otras huellas. En la misma sección se ha observado que varias generaciones de productores de *Tomaculum* pueden reciclar grandes masas lenticulares de otros *Tomaculum* previamente excretadas y tal vez transportadas, generando en su seno nuevas galerías cilíndricas simples a ovaladas rellenas por *Tomaculum* con diámetros, ordenación y proporciones más uniformes. Por otro lado, la “estrategia de

ocultamiento” de residuos fecales invocada para *Phycodes canelensis* por comparación con la del productor de *Tubotomaculum mediterraneensis* (ver GARCÍA-RAMOS *et al.*, 2014), nos parece muy diferente al involucrar grupos dispares de invertebrados (crustáceos frente a posibles gusanos), en ambientes de sedimentación con características notablemente distintas.

Distribución.- *Phycodes noha* Mikuláš fue descrito originalmente en lutitas del Arenigiense medio (Floiense, Ordovícico Inferior) de la Formación Klabava de Bohemia (República Checa), y posteriormente se ha registrado en las pizarras del Oretaniense inferior (Darriwiliense medio basal) de las formaciones Valongo (Zona Centroibérica portuguesa) y Navas de Estena (este trabajo).

3. CONCLUSIONES

El escaso registro icnológico de las pizarras del Ordovícico Medio centroibérico se incrementa aquí con el descubrimiento aislado de una novedosa huella, *Phycodes noha* Mikuláš, encontrada en la parte inferior de las Pizarras de Navas de Estena (Oretaniense inferior) de los Montes de Toledo centro-septentrionales. Se trata de un sistema de túneles horizontales de morfología muy variable, por lo general flabelado en torno a una galería inicial. El análisis del material español permite considerar a *Phycodes canelensis* Neto de Carvalho *et al.* como un sinónimo posterior de *P. noha*, y cuestionar el papel jugado por el organismo productor de la huella en las acumulaciones fecales (*Tomaculum*) o de microfósiles (ostrácodos, quitinozoos) que ocasionalmente se reconocen en su interior.

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Sören Jensen (Universidad de Extremadura) y a un revisor anónimo, por sus acertadas correcciones y sugerencias al manuscrito final. A Julio L. Martín Sánchez (Collado Mediano, Madrid) por el descubrimiento de los primeros ejemplares en los Montes de Toledo y su ayuda en el trabajo de campo; y a Carlos Alonso (Universidad Complutense de Madrid) por las fotografías. Este artículo es una contribución a los proyectos IBEROR (CGL2012-39471) y PICG 653 de la IUGS-UNESCO.

BIBLIOGRAFÍA

- BUCKMAN, J.O. 1996. *Heimdallia* from the Lower Carboniferous of Ireland: *H. mullaghmori* a new ichnospecies, and re-evaluation of the three-dimensional format of the ichnogenus. *Ichnos*, **5**: 43-51.
- GARCÍA-RAMOS, J.C., MÁNGANO, M.G., PIÑUELA, L., BUATOIS, L.A. & RODRÍGUEZ-TOVAR, F.J. 2014. The ichnogenus *Tubotomaculum*: an enigmatic pellet-filled structure from Upper Cretaceous to

- Miocene deep-marine deposits of southern Spain. *Journal of Paleontology*, **88**(6): 1189-1198.
- GUTIÉRREZ-MARCO, J.C. & SÁ, A.A. 2006. Icnofósseis. In: A.A. SÁ, & J.C. GUTIÉRREZ-MARCO, Coord. *Trilobites gigantes das ardósias de Canelas (Arouca)*. págs. 162-179. Ardósias Valerio y Figueiredo, Madrid.
- 2008. Nota preliminar sobre los icnofósiles de la Formación Valongo (Ordovícico Medio) en la sección de Canelas (Geoparque Arouca, norte de Portugal). In: J.I. RUIZ-OMENACA, L. PIÑUELA & J.C. GARCÍA-RAMOS, Eds. *Libro de Resúmenes XXIV Jornadas de la Sociedad Española de Paleontología*. págs. 37-38. Museo del Jurásico de Asturias, Colunga, España.
- GUTIÉRREZ-MARCO, J.C., SÁ, A.A., RÁBANO, I., SARMIENTO, G.N., GARCÍA-BELLIDO, D.C., BERNARDEZ, E., LORENZO, S., VILLAS, E., JIMÉNEZ-SÁNCHEZ, A., COLMENAR, J. & ZAMORA, S. 2015. Iberian Ordovician and its international correlation. *Stratigraphy*, **12**(3-4): 257-263.
- HAN, Y. & PICKERILL, R.K. 1994. *Phycodes templus* isp. nov. from the Lower Devonian of northwestern New Brunswick, eastern Canada. *Atlantic Geology*, **30**: 37-46.
- MIKULÁŠ, R. 1991. Trace fossils from the Klabava Formation (Early Ordovician, Bohemia). In: Z. Roček, Ed. *Czechoslovak Paleontology 1990*. page 18. Charles University, Prague, Czechoslovakia.
- 1995. Trace fossils from the Klabava Formation (Early Ordovician), Czechoslovakia. *Acta Universitatis Carolinae, Geologica*, **1992**(3-4): 385-419.
- MUÑIZ, F., MAYORAL, E. & SANTOS, A. 2002. Consideraciones taxonómicas sobre el icnogénero Phycodes. In: J. CIVIS & J.A. GONZÁLEZ DELGADO, Eds. *Libro de Resúmenes XVIII Jornadas de la Sociedad Española de Paleontología & II Congreso Ibérico de Paleontología*. págs. 94-95. Universidad de Salamanca, Salamanca, España.
- NETO DE CARVALHO, C., COUTO, H., FIGUEIREDO, M.V. & BAUCON, A. 2016. Microbial-related biogenic structures from the Middle Ordovician slates of Canelas (northern Portugal). *Comunicações Geológicas*, **103**: 23-38.
- REYES-ABRIL, J., VILLAS, E. & GUTIÉRREZ-MARCO, J.C. 2010. Orthid brachiopods from the Middle Ordovician of the Central Iberian Zone (Spain). *Acta Palaeontologica Polonica*, **55**(2): 285-308.
- RICHTER, R. 1850. Aus der thüringischen Grauwacke. *Zeitschrift der Deutsche Geologische Gesellschaft*, **2**: 198-206.
- ROMANO, M. 1991. Lower to Middle Ordovician trace fossils from the Central Iberian Zone of Portugal and Spain. In: C.R. BARNES & S.H. WILLIAMS, Eds. *Advances in Ordovician Geology. Geological Survey of Canada, Paper*, **90-9**: 191-204.
- SÁ, A.A. & GUTIÉRREZ-MARCO, J.C. 2015. *Aroucaichnus* igen. nov. y otros icnofósiles singulares del Ordovícico del Geoparque Arouca (Portugal). *Boletín de la Sociedad Geológica del Perú*, **110**: 8-23.
- SÁ, A.A., GUTIÉRREZ-MARCO, J.C., ROCHA, D., VALÉRIO, M., BRILHA, J. & RÁBANO, I. 2009. Ordovician ichnofossils: a new scientific and educational resource for the Arouca Geopark. In: C. NETO DE CARVALHO & J. RODRIGUES, Eds. *New Challenges with Geotourism*. págs. 140-142. Idanha-a-Nova Municipality/Geopark Naturtejo da Meseta Meridional, Escala vertical Lda., Idanha-a-Nova, Portugal.
- SEILACHER, A. 2000. Ordovician and Silurian Arthropycid ichnostratigraphy. In: M.A. SOLA & D. WORSLEY, Eds. *Geological exploration in Murzuq Basin*. págs. 237-258. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands.