



BIOESTRATIGRAFÍA DEL SILÚRICO (GRAPTOLITOS) DE LA PARTE MERIDIONAL DE LA ZONA CENTROIBÉRICA ESPAÑOLA

Silurian graptolite biostratigraphy of the southern Central Iberian Zone (Spain)

Saturnino Lorenzo¹ y Juan Carlos Gutiérrez-Marco²

¹ Dpto. de Ingeniería Geológica y Minera-IGeA, Escuela de Ingeniería Minera e Industrial (UCLM), Plaza Manuel Meca 1, 13400 Almadén, Ciudad Real. saturnino.lorenzo@uclm.es

² Instituto de Geociencias (CSIC- UCM) y Área de Paleontología, Departamento de Geodinámica, Estratigrafía y Paleontología, Facultad CC. Geológicas, José Antonio Novais 12, 28040 Madrid. jcgrapto@ucm.es

Resumen: Se analiza la bioestratigrafía de la sucesión silúrica en un vasto sector de la Zona Centroibérica meridional, a través del análisis de una treintena de secciones y localidades paleontológicas puntuales, seleccionadas entre más de 130 lugares con graptolitos silúricos. Se realizó un exhaustivo análisis bibliográfico a partir de los datos contenidos en 254 estudios que refirieron distintos aspectos del Silúrico en la región, lo que permitió revisar las unidades litoestratigráficas y precisar su correlación en las distintas estructuras variscas. El registro de graptolitos se circunscribe mayormente a las facies de pizarras negras vinculadas con fondos anóxicos entre el Telychiense y el Homeriense inferior. En casos puntuales se hallaron graptolitos del Aeroniense y el Ludfordiense en intercalaciones pizarrosas dentro de unidades dominadas por ambientes arenosos de alta energía. Se identificaron más de cien especies de graptolitos pertenecientes, al menos, a 32 géneros, de las que se ilustran algunas de las más importantes desde el punto de vista bioestratigráfico. Trece de las 15 biozonas y tres subzonas caracterizadas se distribuyen entre la base del Telychiense y el Homeriense basal. Las biozonas que registran una mayor diversidad de graptolitos, así como una amplia extensión en todo el ámbito del trabajo, son las de *Oktavites spiralis* y *Torquigraptus tullbergi* del Llandovery y la de *Cyrtograptus perneri*-*Cyrtograptus ramosus* del Wenlock. Las biozonas analizadas se relacionan bien con la sucesión bioestratigráfica del Silúrico perigondwánico tipificado por la sucesión del sinforme de Praga, en la República Checa.

Palabras clave: graptolitos, bioestratigrafía, Llandovery, Wenlock, España.

Abstract: The biostratigraphy of the Silurian succession in a vast area of the southern Central Iberian Zone is analysed through the study of around thirty sections and isolated fossil localities, selected from over 130 sites containing Silurian graptolites. A thorough bibliographic analysis was carried out, based on data from 254 studies that analyzed various aspects of the Silurian in the region. This allowed for a review of lithostratigraphic units and the refinement of their correlation within the different Variscan structures. The graptolite record is largely restricted to black shale facies associated with anoxic bottoms, between the Telychian and the early Homerian. Occasionally, rare Aeronian and Ludfordian graptolite records may also occur within dark shale intercalations recorded in units dominated by high-energy sandstones. Palaeontologically, over one hundred species of graptolites were identified, belonging to at least 32 genera, with the most biostratigraphically significant species being illustrated. Thirteen of the 15 biozones and three subzones identified range

from the base of the Telychian to the early Homeric. The biozones with the greatest diversity of graptolites, as well as the widest distribution across the study area, are those of *Oktavites spiralis*, *Torquigraptus tullbergi* and *Cyrtograptus perneri*–*Cyrtograptus ramosus*. All biozones studied herein allowed an accurate correlation with the Silurian biostratigraphic succession of peri-Gondwanan regions, as exemplified by the Prague Synform, Czech Republic, with the sole exception of the global *Spirograptus guerichi* Biozone at the base of the Telychian. In Bohemia, this biozone features unfavourable facies for graptolites in its lower part (*Rastrites linnaei* Biozone). From a biostratigraphic perspective, only one biozone is identified in the Aeronian (*Lituigraptus convolutus* Biozone), as pre-Telychian deposits are developed in almost exclusively sandy facies. The overlying black shales contain abundant Telychian graptolite assemblages, including the biozones of *Spirograptus guerichi* (with its three subzones: *Paradiversograptus runcinatus*–*Monograptus gemmatus*, *Parapetalolithus palmeus*, and *Parapetalolithus hispanicus*), *Spirograptus turriculatus*, *Streptograptus crispus*, *Monoclimacis griestoniensis*, *Torquigraptus tullbergi*, *Oktavites spiralis*, and *Cyrtograptus lapworthi*. In the Sheinwoodian black shales, the *Cyrtograptus murchisoni*, *Monograptus riccartonensis*, *Monograptus belophorus*–*Cyrtograptus rigidus*, and *Cyrtograptus perneri*–*Cyrtograptus ramosus* biozones are recognised. Finally, the Homeric and Ludfordian strata are represented by the *Cyrtograptus lundgreni* and *Saetograptus leintwardinensis* (?) biozones, which correspond respectively to the end of black sapropelitic deposition (diachronous in the study area), and to a local intercalation of this lithology within the sandy alternations in the upper part of the succession.

Key words: graptolites, biostratigraphy, Llandoverly, Wenlock, Spain.

Lorenzo, S., Gutiérrez-Marco, J.C. 2025. Bioestratigrafía del Silúrico (graptolitos) de la parte meridional de la Zona Centroibérica española. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 38 (2): 83-111.

Introducción

El Sistema Silúrico es tal vez el que se conoce con menor detalle entre cuantos componen la sucesión paleozoica pre-varisca representada en la Península Ibérica (ver síntesis generales en Julivert *et al.*, 1980; Comba, 1983; Dallmeyer y Martínez García, 1990; Gibbons y Moreno, 2002; Vera, 2004; Quesada y Oliveira, 2019). Ello se debe a la aparente uniformidad de facies sedimentarias y a la escasez de fósiles determinativos, que sólo abundan en la parte inferior de la mayoría de las secciones. Ambos factores han condicionado un nivel simplista de conocimientos y el mantenimiento de ideas erróneas de tipo cronoestratigráfico, sedimentológico y paleobiogeográfico (Gutiérrez-Marco *et al.*, 2001).

En la parte meridional de la Zona Centroibérica española, los materiales silúricos constituyen afloramientos de extensión reducida, restringidos al núcleo de los sinclinales variscos de plano axial vertical que configuran buena parte de las macroestructuras características de la región (Díez Balda *et al.*, 1990; Martínez Poyatos, 2002; Martínez Poyatos *et al.*, 2004a).

Las síntesis estratigráficas más recientes del Silúrico ibérico (Gutiérrez-Marco *et al.*, 1998, 2019; Robardet y Gutiérrez-Marco, 2002) establecen una sucesión “iberotípica” para la región centroibérica situada al norte de la zona de cizalla de Puente Génave-Castelo de Vide (Martín Parra *et al.*, 2006), donde no existen rocas calcáreas y que se subdivide, a grandes rasgos, en: a) una cuarcita basal de espesor métrico, donde se sitúa el tránsito Ordovícico-Silúrico; b) una unidad muy ubicua de pizarras

negras graptolíticas (10-150 m); y c) una sucesión superior con predominio arenoso (200-400 m), que registra el tránsito Silúrico-Devónico, y en la que normalmente alternan cuarcitas y pizarras y puede incorporar intercalaciones de rocas volcánicas.

Dada la ausencia generalizada de estudios estratigráficos de detalle y el gran potencial de la región para las investigaciones paleontológicas, se procedió a revisar exhaustivamente la mayor parte de estos afloramientos atribuidos al Silúrico en un área muy amplia de la región surcentroibérica (Fig. 1). Muchos de ellos fueron descubiertos o delimitados durante la realización de los trabajos cartográficos del Proyecto MAGNA a escala 1:50.000, y su caracterización se apoyó en muestreos paleontológicos dispersos y heterogéneos, cuyos resultados requerían revisión.

El presente artículo constituye un resumen de algunos aspectos tratados en la tesis doctoral inédita del primero de los autores (Lorenzo, 2015), realizada bajo la codirección del segundo autor. Su objetivo es presentar un análisis básico de antecedentes y establecer un primer esquema estratigráfico regional, que sirva como patrón para referir las secciones parciales de los materiales silúricos aflorantes en las diferentes estructuras y localidades. Para ello, nos guiaremos por las informaciones bioestratigráficas aportadas por los graptolitos, sin duda el grupo fósil más abundante y mejor representado en la zona de estudio. La biozonación más reciente y actualizada de estos fósiles (Loydell, 2012; Štorch, 2023; Maletz, 2023a; Štorch *et al.*, 2025) permite precisar la correlación del sector estudiado a los niveles ibérico e internacional.



Fig. 1. Esquema de situación de la región estudiada en el Macizo Ibérico. Modificado de Martínez Catalán *et al.*, 2004.

Finalmente, la actualización de conocimientos sobre el Silúrico de la región surcentroibérica es de utilidad por su aplicación a los aspectos patrimoniales geológicos de la minería del mercurio de Almadén. Dicha minería ha sido reconocida oficialmente por la UNESCO a través, tanto de la designación Patrimonio Mundial en 2012 (Patrimonio del Mercurio. Almadén e Idrija), como de su inclusión en el Geoparque Mundial de la UNESCO Volcanes de Calatrava, aprobado en 2024. Como se indica a continuación, buena parte de los antecedentes sobre el Silúrico de España se originan en la región de Almadén (Ciudad Real), vinculados con la explotación del cinabrio de sus minas. La relevancia de la geología y paleontología del Silúrico local ha sido tratada por Lorenzo *et al.* (2009), Gutiérrez-Marco *et al.* (2012) y Lorenzo y Gutiérrez-Marco (2016).

Antecedentes

La existencia de materiales silúricos en el área de estudio se conoce desde el siglo XIX y está esencialmente

vinculada a la investigación minera en las áreas de Almadén (Ciudad Real) y Sierra Morena Oriental (Jaén). El reconocimiento geológico del Sistema contempla distintas etapas de conocimiento, inicialmente bien definidas y, más adelante, parcialmente solapadas debido a las actividades de distintos grupos con intereses compartidos tanto científicos como mineros o institucionales.

La primera etapa de estudios (1834-1861) se halla representada por los trabajos pioneros realizados en la región de Almadén. Son investigaciones básicas que permitieron deslindar por vez primera las localidades con fósiles “gotlandienses” del “terreno Siluriano” en sentido amplio, que en la Zona Centroibérica corresponde mayoritariamente al Ordovícico. Se trata de los fósiles descubiertos en torno a Almadén por Le Play (1834), Prado (1855), Verneuil y Barrande (1855) y Bernáldez y Rúa Figueroa (1861).

En una segunda etapa (1875-1884) la Comisión del Mapa Geológico de España abordó diversos estudios que permitieron descubrir nuevas localidades con graptolitos y otros fósiles del “Siluriano superior” en las provincias

de Cáceres (Mallada, 1875a, 1875b; Egozcue y Mallada, 1876), Badajoz (Gonzalo y Tarín, 1879), Ciudad Real (Cortázar, 1880) y Jaén (Mallada, 1884). Paralelamente, Kuss (1878) consideró a las ampelitas de graptolitos como intercaladas en la Cuarcita del Criadero de Almadén.

La tercera etapa (1897-1956) corresponde a estudios geológicos donde se identificaron materiales del “Siluriano superior”, generalmente con graptolitos, en afloramientos situados nuevamente en las regiones de Almadén (Malaise, 1897; Hernández-Sampelayo, 1926, 1942, 1960; Ciry, 1936), Guadalmez (Groth, 1911), las Villuercas (Gómez de Llarena, 1916; Sáenz García, 1947; Ramírez y Ramírez, 1955; Sos Baynat, 1955; Kindelán, 1955), Cáceres ciudad (Kindelán *et al.*, 1949) y Sierra Morena oriental (Henke, 1926; Henke y Hundt, 1926; Haberfelner, 1931)

A partir del decenio de 1950, se realizaron numerosas tesis doctorales alemanas a cargo de discípulos del Prof. Franz Lotze (Münster), que perseguían la realización de dos cortes geológicos en el basamento del Macizo Ibérico, atravesando regiones poco exploradas. De las once tesis emplazadas en la región surcentroibérica, nueve identificaron materiales silúricos aportando su estratigrafía y diversos yacimientos paleontológicos. De noroeste a sureste son las tesis de Schmidt (1957) centrada en el sinclinal de Cañaveral-Monfragüe, Bochmann (1956) y Kelch (1957) en los sinclinales de Cáceres y Sierra de San Pedro, Ransweiler (1968) en los sinclinales de Guadarranque y Herrera del Duque, Machens (1954) en el sinclinal de Corral de Calatrava, Redlin (1955) en el sinclinal de Fuencaliente-Solana del Pino, prolongación oriental del sinclinal de Guadalmez, Richter (1967) en el Centenillo y Butenweg (1968, 2008) y Kettel (1968), en Sierra Morena Oriental, estas dos últimas en el flanco norte del sinclinorio de Los Pedroches. Salvo las tres últimas tesis, del resto únicamente se publicaron los mapas con la columna general más los datos paleontológicos (en edición de Walter, 1977), así como unos resúmenes expandidos poco actualizados (Von Raumer, 2008).

Por parte española, en los mismos años se continuó la investigación puntual de la sucesión silúrica en el sinclinal de Almadén, que registró importantes avances con la publicación de la monografía de Almela *et al.* (1962), precedida por los estudios de Almela (1959) y Almela y Febrel (1960). En el vecino sinclinal de Guadalmez, se destaca la aportación de Márquez Triguero (1961), así como las de Julivert y Truyols (1974) en el sinclinal de Guadarranque, Corretgé y García de Figuerola (1971) en el de Cáceres y Alía Medina *et al.* (1971) en la síntesis de trabajos inéditos realizados en Sierra Morena Oriental, entre ellos el importante informe de Capote del Villar y Hernández Enrile (1969).

Una segunda incursión destacable de trabajos extranjeros con datos del Silúrico surcentroibérico proviene, por un lado, de las escuelas francesas de Orsay y Nancy (1964-1982), que aportaron tanto publicaciones como tesis doctorales inéditas. Destacan, en la zona de Almadén, los trabajos de Saupé (1971a, 1971b, 1973), Lauret (1974), Lozac'h y Vidal (1976) y Blachère (1978), en Castuera, situada en la parte más occidental del flanco norte del sin-

clinorio de Los Pedroches, Prost-Dame (1980) y, en Sierra Morena Oriental, Tamain (1964, 1971), Arbey y Tamain (1971), Péran (1971), Poupon (1971) y Charpentier (1976). Por otro lado, los investigadores alemanes prosiguieron los trabajos estratigráficos, que involucraban materiales silúricos, en los sinclinales de Guadalmez (Puschmann, 1967) y Herrera del Duque (Puschmann, 1970), así como en el límite Ordovícico-Silúrico del sinclinal de Corral de Calatrava (Hafenrichter, 1979, 1980). Esta última autora encontró en las Pizarras Chavera y en la base de la Cuarcita del Criadero supuestos acritarcos silúricos mal conservados, con lo cual dicha datación carece de sustento taxonómico. Las contribuciones alemanas más tardías se refieren al Silúrico de los sinclinales de Guadarranque (Ballestra *et al.*, 1982) y Corral de Calatrava (Kappes, 1991). La posición del límite Ordovícico-Silúrico en el sinclinal del Guadarranque fue igualmente considerada por Robardet *et al.* (1980).

Entre los años 1971 y 1982, el Instituto Geológico y Minero de España publicó una síntesis cartográfica de diversas áreas surcentroibéricas con afloramientos silúricos, correspondientes a ocho hojas a escala 1:200.000 (Cáceres, Talavera de la Reina, Villarreal, Badajoz, Villanueva de la Serena, Pozoblanco, Linares y Villacarrillo). En las memorias acompañantes se resume sucintamente la estratigrafía del Sistema Silúrico en los distintos ámbitos, con datos tomados de autores precedentes, y a los que se añaden diversos comentarios.

En 1976 se inicia la publicación de la segunda serie del Proyecto MAGNA a escala 1:50.000 que, con un total de 44 hojas geológicas acompañadas por sus memorias correspondientes, cubrió completamente los afloramientos silúricos situados en el área de este trabajo. La edición de estas hojas fue irregular y la más reciente se publicó en el año 2019. En la Figura 2 puede verse la extensión realizada de los afloramientos silúricos y la numeración de aquellas secciones y localidades que han servido de base para el estudio bioestratigráfico, con referencia tanto al contorno de las estructuras variscas, como a la cuadrícula de hojas 1:50.000.

Aparte del trabajo cartográfico y de los descubrimientos propiciados por el MAGNA, numerosos autores españoles realizaron aportaciones al conocimiento estratigráfico y paleontológico de la región considerada. En el sinclinal de Guadarranque, destacan los trabajos de Gil Cid *et al.* (1976), Rodríguez Núñez (1989), Rodríguez Núñez *et al.* (1989), Sarmiento y Rodríguez Núñez (1991) y Menéndez y Rábano (2010). En el sinclinal de Cañaveral-Monfragüe tenemos a Carballeira *et al.* (1985) y Gumiel *et al.* (2003, 2010). En los sinclinales de Cáceres y la Sierra de San Pedro, los trabajos de Corretgé *et al.* (1982), Soldevila (1992) y López Díaz (1991). En el sinclinal de Herrera del Duque, destacan los trabajos de Pieren Pidal (1985, 1986) y Pieren Pidal y Gutiérrez-Marco (1990). En este último sinclinal y en el de Almadén, Pardo Alonso (1998) analiza la posición del límite Silúrico/Devónico. En el sinclinal de Almadén y en el sinclinal meridional de Guadalmez, se publicaron estudios relativos al área de Garlitos (Soldevila, 1983), y a la sedimentología y datación de la Cuarcita del Criadero (Gal-

lardo Millán *et al.*, 1994; Lorenzo *et al.*, 1997; Villas *et al.*, 1999; Lorenzo y Gutiérrez-Marco, 2009). En los sinclinales de Valdeazogues-Puertollano y en la parte oriental del sinclinal de Guadalmez (Solana del Pino), Palero Fernández (1991, 1992) describe la sucesión silúrica y en el de Corral de Calatrava destacan los artículos de García Palacios *et al.* (1996a, 1996b), Štorch *et al.* (1998) y Loydell *et al.* (2009, 2023a). Finalmente, en Sierra Morena Oriental (sinclinal de Los Pedroches) se publicaron algunos datos silúricos por parte de Ríos Aragüés (1978), Gutiérrez-Marco y Pineda Velasco (1988) y Rey *et al.* (2005). El último de los artículos aporta el estudio sedimentológico de una supuesta transgresión del “Aeroniense” donde se considera como silúrica una parte de las unidades del Hirnantiense.

La enorme cantidad de datos estratigráficos y de toda índole derivados de la sucesión silúrica centroibérica apareció consignada en diversas síntesis, tales como las de Truyols y Julivert (1983), Gutiérrez-Marco *et al.* (1990), San José *et al.* (1992), Gutiérrez-Marco *et al.* (1998, 2001, 2019), Gumiel *et al.* (1998, 2002), Robardet y Gutiérrez-Marco (2002), Robardet (2002, 2003); Kříž *et al.* (2003); Martínez Poyatos *et al.* (2004b) y Palacios Medrano *et al.* (2010). La modelización de la cuenca silúrica y una primera propuesta de unidades tectosedimentarias para la región surcentroibérica fue esbozada por Portero García y Dabrio González (1988).

Desde el punto de vista paleontológico, los principales trabajos publicados versan sobre graptolitos, entre los que cabe mencionar los primeros ejemplares ilustrados procedentes de la región de Almadén (Hernández-Sampelayo, 1926; más su monografía póstuma de 1960 con graptolitos de varias localidades surcentroibéricas); el encendido debate en torno a los mismos yacimientos de graptolitos identificados de forma distinta por Henke y Hundt (1926) y Haberfelner (1931) o la mención cuestionable a la “fauna sárdica” de graptolitos con identificaciones de Romariz *et al.* (1971) en el sinclinal de Guadarranque, que fueron ilustrados más tarde por Gil Cid *et al.* (1976). Los datos taxonómicos y bioestratigráficos más modernos sobre graptolitos en el área de trabajo son los publicados por Štorch (1998a, 1998b) y Loydell *et al.* (2009), centrados en una parte de la sucesión Telychiense y Sheinwoodiense de Corral de Calatrava, donde se describieron varias especies nuevas. A ellos se une el descubrimiento de graptolitos huecos y en preservación tridimensional dentro de la Cuarcita del Criadero de Almadén (Lorenzo y Gutiérrez-Marco, 2009).

Entre la fauna no graptolítica del Silúrico, García Palacios y Rábano (1996) identificaron un trilobites telychiense en el sinclinal de Corral de Calatrava, sitio que también brindó el segundo hallazgo de conodontos conservados en la superficie de las pizarras negras ampelíticas (Loydell *et al.*, 2009), tras su descubrimiento en el sinclinal de Guadarranque (Sarmiento y Rodríguez Núñez, 1991). La presencia de euríptéridos en estas mismas facies fue citada por Rábano *et al.* (1989), en tanto que Kříž (2005) describe bivalvos procedentes de nódulos del Telychiense del sinclinal de Guadalmez, y Lorenzo y Gutiérrez-Marco (2024) resumen los hallazgos de elementos disociados de filocáridos en toda la región.

Lorenzo (2015) expone una visión integradora de la contribución bioestratigráfica de los graptolitos al conocimiento de la sucesión silúrica para el conjunto del área surcentroibérica. A pesar del largo historial de citas de graptolitos contenidas en los estudios precedentes, las identificaciones taxonómicas disponibles adolecen de una gran falta de actualización y rigor, por haber sido realizadas por numerosos geólogos y paleontólogos no especialistas en épocas muy dispares. Como únicos paleontólogos involucrados en el estudio de muestras, para trabajos realizados en las primeras épocas, están los alemanes Rudolf Hunt y Hermann Jaeger, al austriaco Erich Haberfelner, al francés André Philippot y el portugués Carlos Romariz, aunque las aportaciones del primero y los dos últimos presentan un grado de fiabilidad limitado. A ellos podría añadirse la identificación rutinaria de muestras paleontológicas para el proyecto MAGNA, principalmente a cargo de profesores de la Universidad de Oviedo (Jenaro L. García-Alcalde, Miguel Arbizu) y uno de los firmantes (Juan Carlos Gutiérrez-Marco). Esta tendencia se ha invertido con la colaboración en los últimos veinticinco años de especialistas renombrados en graptolitos silúricos como Petr Štorch (Praga, R. Checa) y David Loydell (Portsmouth, UK), así como con la intervención de especialistas extranjeros en otros grupos fósiles, con los que se preparan artículos en ostrácodos (Vincent Perrier, Lyon, Francia), cefalópodos (Paolo Serventi, Módena, Italia) y tubícolas problemáticos (Olev Vinn, Tartu, Estonia), prosiguiendo la colaboración iniciada en el estudio del Silúrico del Dominio Obejo-Valsequillo (Lorenzo *et al.*, 2020; Perrier *et al.*, 2023).

Marco geológico

Desde el punto de vista geológico, los materiales silúricos estudiados se encuadran en la parte meridional de la Zona Centroibérica (Fig. 1), al norte de la banda de cizalla Puente Génave-Castelo de Vide (Martín Parra *et al.*, 2006), y dentro del Dominio de los Pliegues Verticales de Díez Balda *et al.* (1990), renombrado como Dominio del Complejo Esquisto-grauváquico por Martínez Catalán *et al.* (2004).

A pesar de la enorme extensión que abarcan los afloramientos paleozoicos en la región surcentroibérica, los materiales silúricos tan solo se conservan en los pliegues variscos más meridionales, los únicos que no se vieron afectados por la casi completa erosión de sus núcleos silúrico-carboníferos (ver figura 2.46 en Martínez Poyatos *et al.*, 2004b). La distribución de las estructuras que preservan la sucesión silúrica está representada en la Fig. 2, y comprende los siguientes sinclinales: Cañaveral-Monfragüe, Guadarranque, Herrera del Duque, Corral de Calatrava, Almadén, Valdeazogues -Puertollano, Santa Cruz de Mudela, Guadalmez, Cáceres, Sierra de San Pedro y Los Pedroches.

De los tres grandes conjuntos litológicos en los que se dividen los materiales silúricos, ya citados en la introducción, ninguno de ellos se ordena en unidades litoestratigráficas definidas formalmente, con arreglo a las recomenda-

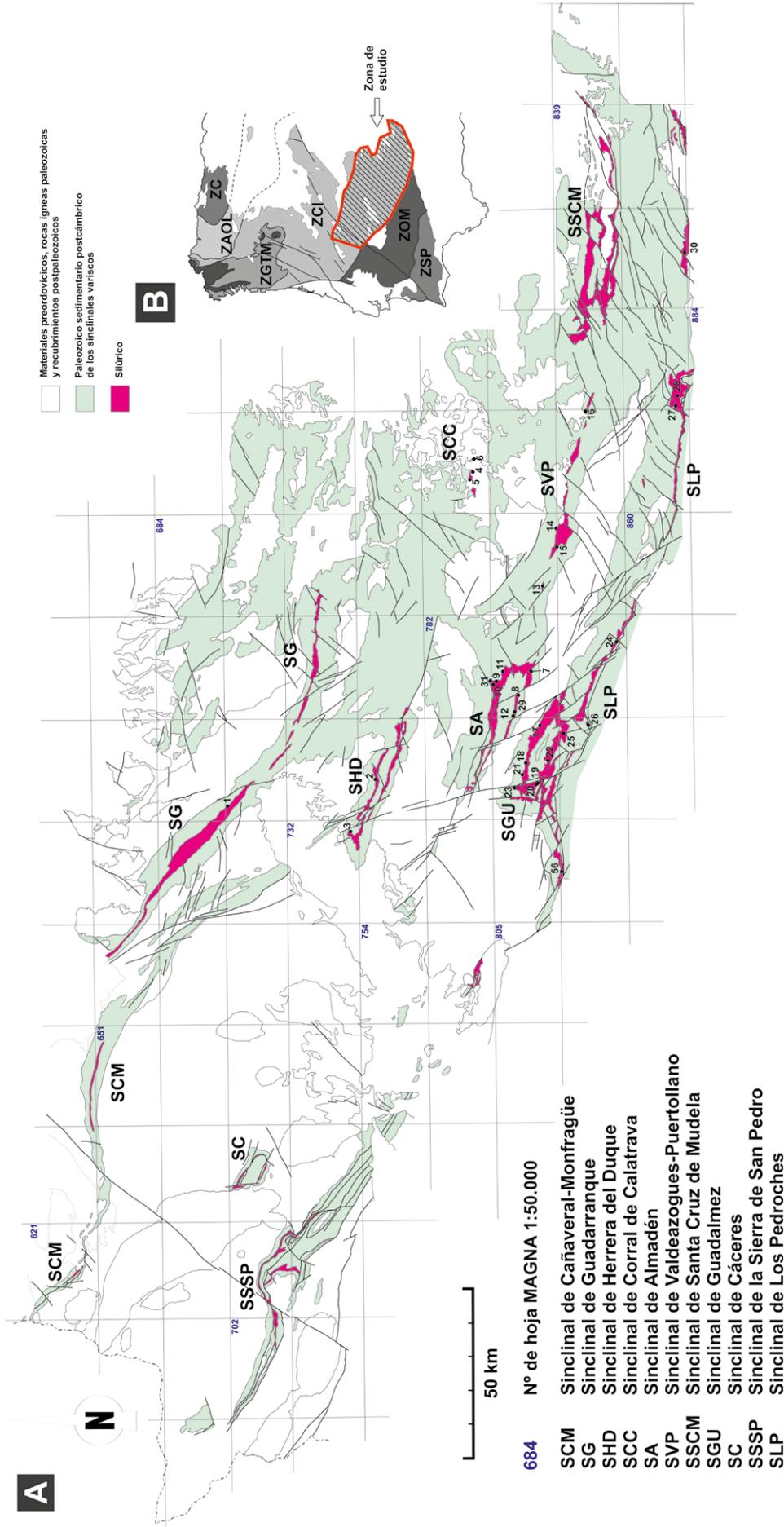


Fig. 2. A. Localización del área de estudio en la región surcentroibérica. B. Mapa geológico esquemático del sector estudiado, con la ubicación de las localidades con graptolitos seleccionadas (números 1-31). La cuadrícula detallada de cada una de ellas se describe en el Apéndice 1. La cuadrícula corresponde a la distribución de hojas a escala 1:50.000.

ciones de la Guía Estratigráfica Internacional (Salvador, 1994; Reguant y Ortiz, 2001). Además, el gran número de trabajos locales desarrollados por multitud de autores en distintas épocas, normalmente centrados en escasas secciones de una o dos estructuras, y con resultados extrapolados en cartografías posteriores, ha dado lugar a muchas denominaciones estratigráficas de carácter operativo, pero de aplicabilidad general limitada o incluso nula. Estas designan en su mayoría tramos singulares de ciertas secciones, como “capas de transición” (Bochmann, 1956), “unidad pelítica superior” (Ransweiler, 1968), “areniscas malva” (Lauret, 1974), “serie arenosa masiva” (Lozac’h y Vidal, 1976) o “pizarras bandeadas” (Gil Cid *et al.*, 1976), entre otros ejemplos. Junto a ellas, coexisten otras unidades con nombre consolidado, que por lo general responden a una larga tradición minera, como la “Cuarcita del Criadero” de Almadén, o las “ampelitas/pizarras negras graptolíticas”, con una litología y contenido paleontológico característico, a techo de aquella. No obstante, las modernas síntesis estratigráficas del Silúrico surcentroibérico, recogen la introducción reciente de diversos nombres de formaciones (o divisiones con nombre propio y rango litoestratigráfico equivalente) que abarcan el rango completo del Sistema (Fig. 3). El hecho de que ninguna de ellas haya sido definida formalmente está influido por la escasa representatividad de muchas secciones dentro del contexto de unos litosomas de gran extensión, cuya área de sedimentación trasciende, en ciertos casos, incluso el ámbito surcentroibérico y se prolonga por el conjunto del suroeste de Europa y norte de África. Nos referimos, por ejemplo, a las unidades arenosas contemporáneas o posteriores al rebote isostático relacionado con la glaciación Hirantiense y a las sapropelitas negras depositadas a lo largo de los diversos pulsos transgresivos globales del Llandovery y Wenlock.

Los materiales más antiguos que componen la sucesión

silúrica son esencialmente arenosos y se encuadran en la denominada Cuarcita del Criadero y equivalentes (= cuarcita “Valentiense”, “de Castellar”, “del Llandovery”, “de Torrealver”, “del Jabonero”, entre otras). Se trata de una formación arenoso-cuarcítica de hasta 45-50 m de potencia media, que alberga las clásicas mineralizaciones cinabríferas del yacimiento de Almadén y que, durante mucho tiempo, se consideró como exclusivamente silúrica. No obstante, los trabajos más recientes han mostrado que la parte inferior puede tener localmente una edad Ordovícico terminal (Gutiérrez-Marco *et al.*, 2002), acreditada por el hallazgo de fósiles hirnantienses (Villas *et al.*, 1999; Bernárdez *et al.*, 2014), que permiten una correlación con el miembro intermedio (cuarcita Las Majuelas) de la Formación Gualija (Fig. 4, García Palacios *et al.*, 1996a).

Por encima de la Cuarcita del Criadero, y con un contacto gradual muy rápido (normalmente mecanizado por su diferente competencia litológica), se sitúa una sucesión de 10-150 m de pizarras negras graptolíticas que suele aflorar de forma discontinua, debido a la erosión actual y a los frecuentes recubrimientos recientes. Estas facies de pizarras negras, esencialmente masivas, se citan comúnmente en la literatura geológica como “ampelitas con *graptolites*”, aludiendo el primer término a su uso en los viñedos como abono aluminico (del griego *ampelos* = vid). Rodríguez Núñez *et al.* (1989) propusieron denominar a la unidad como Formación Guadarranquejo, con corte tipo ubicado en el sinclinal de Guadarranque, desde donde pasó adoptarse gradualmente en toda la región surcentroibérica (Gutiérrez-Marco *et al.*, 1998; Robardet y Gutiérrez-Marco, 2002; Loydell *et al.*, 2009, entre otros). Los abundantes restos fósiles de graptolitos y otros grupos pelágicos han permitido datar y correlacionar con suma precisión el desarrollo sedimentario de la unidad en las distintas secciones estudiadas (Fig. 5).

	Guadarranque	Herrera del Duque	Almadén-Guadalmaz	Los Pedroches	Sierra de San Pedro	
	Rodríguez Núñez (1989) Rodríguez Núñez <i>et al.</i> (1989)	Pieren Pidal (1985) Pardo Alonso y García-Alcalde (1996) Pardo Alonso (1997)	Almela <i>et al.</i> (1962) Pardo Alonso y García-Alcalde (1996) Pardo Alonso (1997)	Henke (1926) Butenweg (1968, 2008)	Soldevila Bartolí (1992)	
DEVÓNICO INFERIOR	 Areniscas de Cerro Herrumbre	Pizarras de Valdenmedio	Alternancias Argilítico-arenosas Cuarcita de Las Cuevas	Capas de San Pablo Cuarcita basal	Pizarras de Valdelsmanos	
		Cuarcita Doradillo				
SILÚRICO	Pridoli Areniscas de Las Cabezuelas	Alternancia de La Corchada	Grupo Cerro Escudero	Alternancias Malva	Capas de San Pablo	
	Ludlow Fm. Guadarranque					Alternancias Argilítico-arenosas
	Wenlock					Alternancias Volcano-sedimentarias
Llandovery	Fm. Guadarranquejo	Pizarras negras graptolíticas	Pizarras negras graptolíticas Cuarcita del Criadero	Pizarras negras graptolíticas Cuarcita del Castellar	Cuarcita del Jabonero	
ORDOVÍCICO SUPERIOR	Fm. Gualija	Pelitas con fragmentos	Pizarras de Muro	Pizarras Chavera	Pizarras de Valdesauce	

Fig. 3. Correlación entre términos litoestratigráficos utilizados por diferentes autores en las principales áreas variscas de la región surcentroibérica, al norte del eje de Los Pedroches.

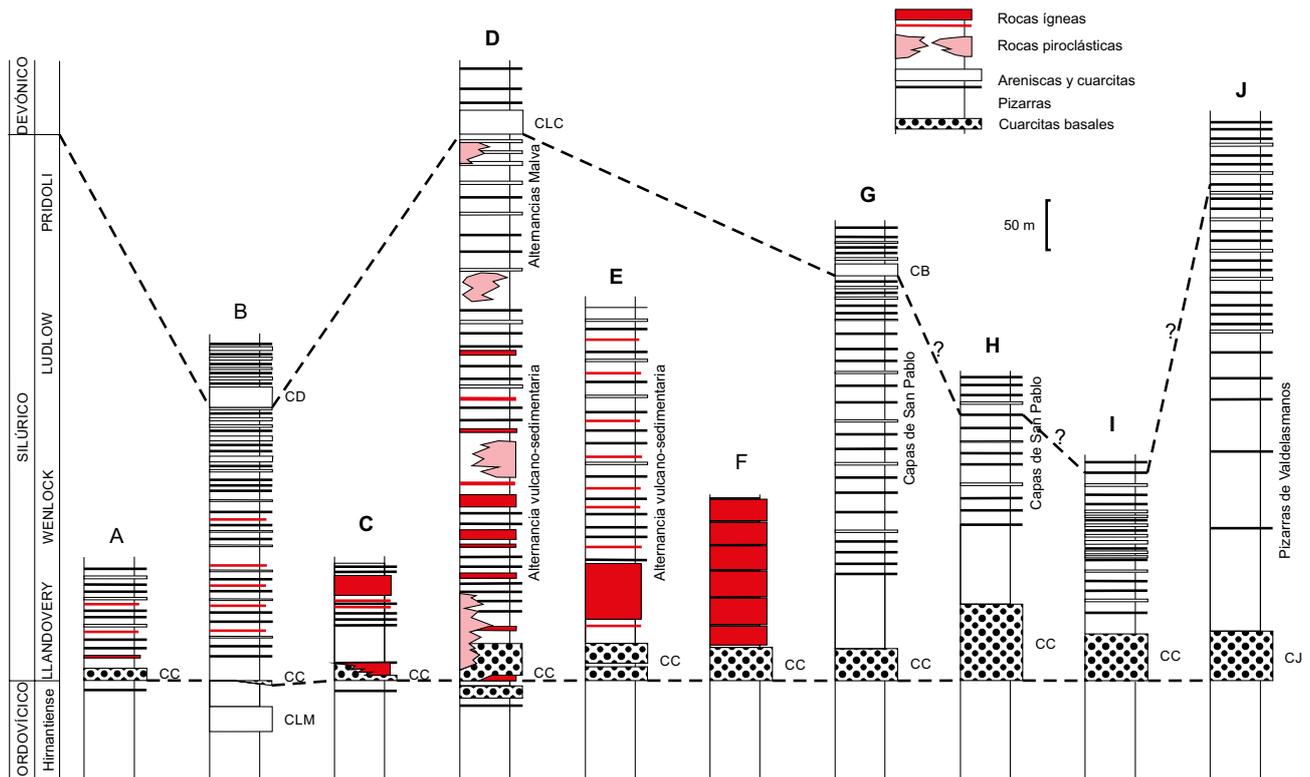


Fig. 4. Esquema de correlación entre las distintas secciones silúricas de la región surcentroibérica con hincapié en la nomenclatura de las unidades cuarcíticas y alternancias superiores reconocidas en distintos ámbitos. La posición del límite Ordovícico-Silúrico se ha situado, a falta de datos paleontológicos, en la base de la Cuarcita del Criadero, excepto en la división tripartita del sinclinal de Almadén. Estructuras (sinclinales o ámbitos variscos): A, Cañaverál-Monfragüe; B, Guadarranque-Herrera del Duque; C, Corral de Calatrava; D, Almadén-Guadalmez; E, Valdezogues-Puertollano; F, Solana del Pino-este de Puertollano; G, Sierra Morena oriental; H, Santa Cruz de Mudela; I, Cáceres; J, Sierra de San Pedro. Abreviaturas para unidades cuarcíticas de referencia: CB, Cuarcita Basal; CC, Cuarcita del Criadero; CD, Cuarcita Doradillo; CJ, Cuarcita del Jabonero; CLC, Cuarcita de Las Cuevas; CLM, Cuarcita de Las Majuelas.

En contacto gradual sobre la unidad de pizarras negras fosilíferas se sitúa una potente alternancia de pizarras, areniscas y cuarcitas, localmente con intercalaciones de rocas ígneas, que oscila entre 200-400 m de espesor que, excepcionalmente, puede alcanzar los 1000 m (Fig. 4). Debido a que sus características litológicas (predominio de areniscas o intercalación de tramos más o menos continuos o potentes, bien cuarcíticos o pizarrosos) varían para cada estructura o conjunto de estructuras, no es posible establecer el dominio de aplicabilidad de las numerosas denominaciones locales con las que aparece citada en la literatura regional. Por ello, la designamos informalmente como “Alternancia de pizarras, areniscas y cuarcitas”, cuya parte alta solo puede reconocerse en las estructuras sinclinales donde el nivel de erosión actual ha permitido la conservación de materiales devónicos datados. En este sentido, el escaso contenido paleontológico se restringe a contados hallazgos silúricos en intercalaciones pizarrosas localizadas en su parte inferior (Rodríguez-Núñez, 1989) y a braquiópodos y trilobites del Lochkoviense en algunos niveles situados en el tercio superior (Pardo Alonso, 1998). Sin embargo, la posición del límite Silúrico-Devónico no ha podido ser precisada en ninguna sección por la ausencia generalizada de restos fósiles en la parte media y superior de la unidad.

La inclusión de materiales volcánicos y subvolcánicos, en el conjunto de la sucesión silúrica surcentroibérica, es

frecuente en determinadas estructuras como en los sinclinales de Almadén y Valdezogues-Puertollano, así como en la parte oriental del sinclinal de Guadalmez, pero está generalizada para las dos unidades superiores en gran parte de la región estudiada.

Bioestratigrafía

En este trabajo se resume la lista y distribución estratigráfica de los graptolitos identificados en más de un centenar de secciones, o afloramientos aislados, distribuidos por toda el área de estudio. Cabe destacar que las secciones más completas y fosilíferas se sitúan en los sinclinales de Corral de Calatrava, Guadalmez, Almadén y Guadarranque (Fig. 2).

La Figura 5 combina la columna estratigráfica sintética con el rango vertical de 119 especies identificadas plenamente o en nomenclatura abierta, distribuidas en 15 biozonas entre el Aeroniense (Llandovery) y el Ludfordiense (Ludlow). El esquema bioestratigráfico adoptado es el del Silúrico peri-Gondwánico tipificado por la sucesión del sinforme de Praga (Štorch, 2023), excepto para la biozona basal del Telychiense. Esta ha sido nominada en función del graptolito *Spirograptus guerichi*, adaptada al nuevo Estratotipo Global de Límite de este Piso, ubicado en España (Gutiérrez-Marco *et al.*, 2024a, 2024b; Loydell *et*

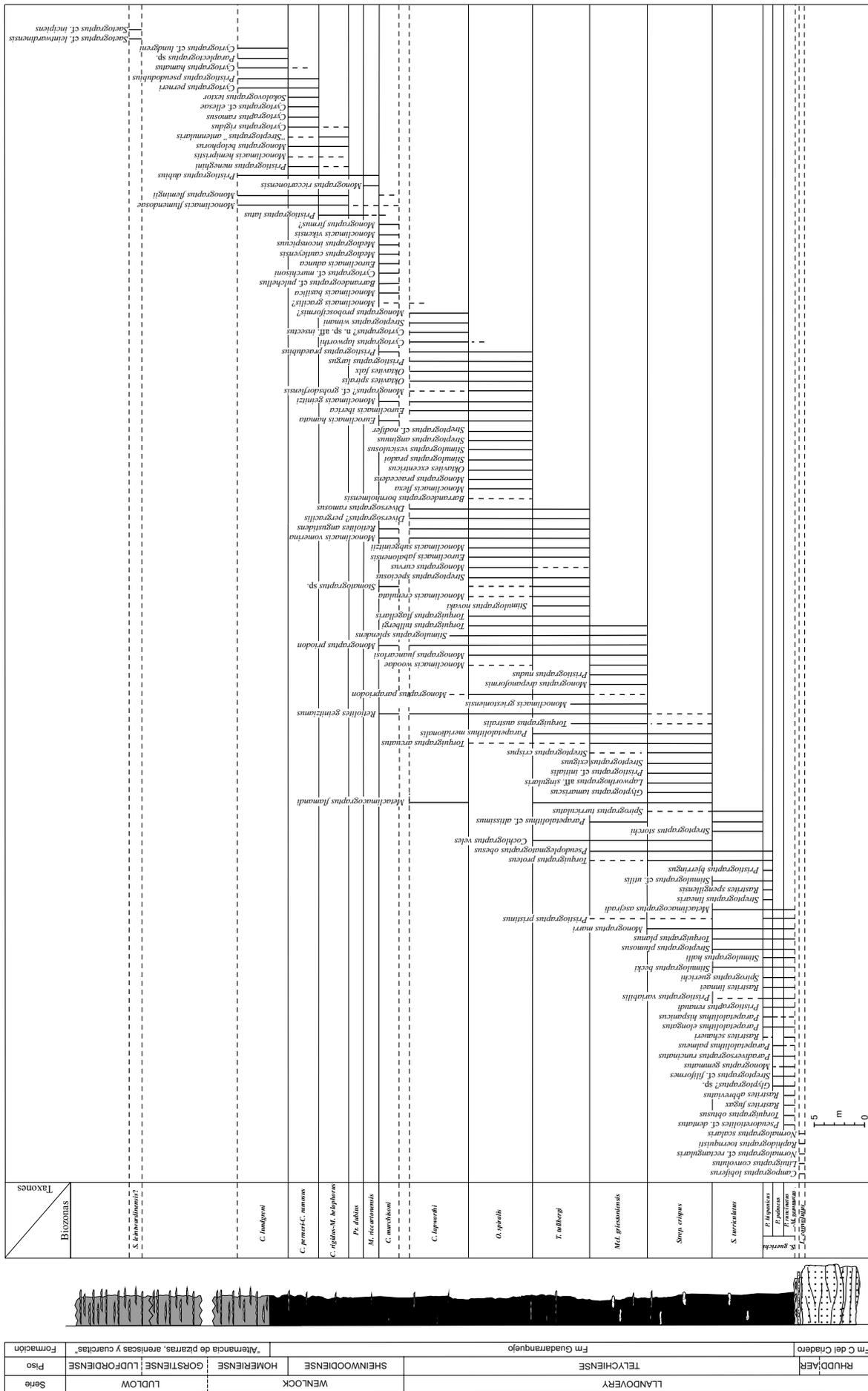


Fig. 5. Distribución estratigráfica de las especies de graptolitos identificadas, en relación con la columna sintética del Silúrico de la región surcentroibérica y la biozonación de graptolitos utilizada en el presente trabajo (Fig. 10).

al., 2025). En Bohemia, los niveles basales de la biozona equivalente (Biozona de *Rastrites linnaei*) muestran facies desfavorables para graptolitos (Štorch, 2023).

Los graptolitos son muy escasos en la Cuarcita del Criadero, debido al ambiente energético y al bajo potencial de preservación en unos sedimentos dominados por arenas de grano fino a medio. Únicamente se hallan con cierta frecuencia en las facies de areniscas tableadas inmediatas al techo de la unidad, generalmente en estado de moldes en relieve que conservan retazos de materia carbonosa (Fig. 6S) (García Palacios *et al.*, 1996a). Más raros son los tubarios piritizados encontrados en las areniscas de la parte alta (Fig. 6B) (Gutiérrez-Marco y Pineda Velasco, 1988) y, sobre todo en nódulos piritosos, donde los graptolitos presentan un estado de conservación excepcional vinculado con procesos de piritización multifásica (Fig. 6A) (Lorenzo y Gutiérrez-Marco, 2009; Gutiérrez-Marco *et al.*, 2014).

Las facies más adecuadas para la preservación de graptolitos las ofrece tanto la Formación Guadarranquejo, como las intercalaciones de pizarras negras localizadas en la parte inferior de las Alternancias suprayacentes (= Formación Guadarranque de Rodríguez Núñez *et al.*, 1989), donde estos fósiles llegan a ser muy abundantes. Dependiendo de los niveles estratigráficos y las circunstancias de alteración de las pizarras negras, podemos encontrarnos desde tubarios conservados como películas carbonosas oscuras y aplastadas, que resaltan cuando la matriz arcillosa se altera a colores grisáceos más claros (Figs. 6L; 7A-B; 8E, M; 9F, H, M, P), otros piritizados conservados en relieve (Fig. 8K), hasta el caso más frecuente de preservación que son los moldes aplastados en pizarras oscuras con pérdida del peridermo carbonoso original, y donde el hueco dejado por la degradación del tubario se rellenó por minerales de arcilla de alteración blanquecina (cloritas, pirofilitas: por ejemplo Figs. 6F, H, J, O; 7D-J, L, M, P; 8A, B, F-J, L, N; 9B-D, G, I-L, O, Q). En pizarras con fuerte alteración de la piritización diagenética, los huecos de los tubarios aplastados se impregnan de hidróxidos de hierro de tonalidades pardo-anaranjadas, que destacan tanto sobre pizarras oscuras (Figs. 6G, M, Q; 9A), como sobre pizarras alteradas a colores claros, donde los graptolitos contrastan fuertemente (Figs. 6K; 7K, N).

Una piritización o litificación temprana indujo la conservación tridimensional de los tubarios registrados en el interior de algunos nódulos contenidos en determinados tramos de las pizarras negras que, por lo general, son poco fosilíferos. Estos graptolitos se hallan siempre en estado de moldes externos, con el interior ausente o relleno por una masa amorfa arcillosa, más o menos ferruginizada. En estos casos, para su estudio se recurre a la realización de moldes en látex (Fig. 8C).

En cuanto a la orientación de los graptolitos en los nódulos y en el plano de sedimentación de las lutitas negras, puede variar, desde aleatoria (ausencia de energía durante la sedimentación) a orientada por corrientes, formando acumulaciones más o menos densas (Figs. 6L; 9C). En cualquier caso, la mayoría de los tubarios aparecen fragmentados, siendo raro el registro de colonias de más de una decena de centímetros, así como ejemplares completos en sus dos extremos. La fragmentación de los graptolitos pue-

de haber ocurrido en vida, dentro de ambientes energéticos o, más probablemente, por la disgregación de los tubarios en fase bioestratinómica.

En los planos de estratificación de pizarras y areniscas, los tubarios de los graptolitos suelen presentarse aplastados lateralmente o con varios grados de conservación escalari-forme. Este último aspecto, que muestra frontalmente las aberturas tecales, es común entre formas biseriales del Aeroniense como *Normalograptus* y *Rhaphidograptus*, cuyos tubarios tienen una sección transversal redondeada. Las colonias espiraladas a contorsionadas de cierta anchura (*Spirograptus*, *Torquigraptus*, *Oktavites*, *Cyrtograptus*, etc.) se suelen conservar comprimidas en un solo plano (Figs. 6O; 7G, I, M; 8L; 9H, J, O, Q). Ello se relaciona con una preservación al estilo “plástico de cocina” (*clingfilm*), que involucra el recubrimiento de estas formas complejas por un tapiz bacteriano, y su compactación súbita en un solo plano por el peso de los sedimentos acumulados encima, sin mediación de sedimento intersticial (Jones *et al.*, 2002).

Aparte de las deformaciones tafonómicas, los yacimientos estudiados compendian secciones con escasa evidencia de deformación tectónica. Dentro de la decena de grandes estructuras estudiadas, existen multitud de lugares donde las formaciones graptolíticas aparecen deformadas, bien en relación con fallas o zonas de cizalla, o bien con las charnelas de pliegues con esquistosidad de plano axial. En estas situaciones, los fósiles de graptolitos, en caso de existir, resultan indeterminables. En otros casos, el contexto tectónico de algunos yacimientos involucra una deformación moderada que no impide la identificación de los graptolitos, traducida en pequeñas expansiones cuando S_0 y S_1 resultan localmente subparalelas, o cuando se marca una lineación tectónica que coincide con el acortamiento o estiramiento de los tubarios de ciertas especies (Fig. 9B).

Como paso previo a la presentación de los resultados bioestratigráficos, cabe añadir que la nomenclatura y clasificación genérica de las distintas especies se ha actualizado conforme a la última revisión del volumen de graptolitos del *Treatise on Invertebrate Paleontology*, referido al infraorden Neograptina (Maletz, 2023b; Maletz y Loydell, 2023; Lenz *et al.*, 2023).

Aparte de los graptolitos, sólo la Formación Guadarranquejo contiene un cierto registro paleontológico de otros grupos, por lo general carentes de interés bioestratigráfico, salvo algunos conodontos citados por Sarmiento y Rodríguez Núñez (1991) y Loydell *et al.* (2009). El resto de los fósiles incluye diversas formas de braquiópodos (rinconeliformes, linguliformes y craniiformes), moluscos (cefalópodos, bivalvos y gasterópodos), artrópodos (filocáridos, euriptéridos, trilobites y ostrácodos), raros equinodermos pelmatozoos y grupos minoritarios como cornulítidos, macaeridios (anélidos) o cnidarios (*Sphenothallus*, *Kolihaia*). Si bien los cefalópodos son frecuentes en casi todas las zonas estudiadas a partir de la Biozona de *Oktavites spiralis*, la sección de Corral de Calatrava es la única donde los fósiles de diversos grupos de invertebrados muestran una cierta abundancia.

Nuestros resultados bioestratigráficos destierran definitivamente, para la zona de estudio, la existencia de “mezclas” entre asociaciones de graptolitos de distinta edad.



Fig. 6. Graptolitos del Aeroniense y Telychiense: biozonas de *Lituigraptus convolutus* (A, B, C, D, S) y *Spirograptus guerichi* (G, subzona de *P. runcinatus*-“M” *gemmatus*; I, K, Q, subzona de *P. palmeus*; F, H, J, N, O, P, subzona de *P. hispanicus*; E, L, M, R, sin subzona definida). A. *Normalograptus scalaris* (Hisinger). Loc. 31, MGM-1079S. B. *Pseudoglytopgraptus* sp. Loc. 28, MGM-1074S. C. *Campograptus lobiferus* (M’Coy). Loc. 16, MGM-1237S. D. *Lituigraptus convolutus* (Hisinger). Loc. 16, MGM-1242S. E. *Metaclimacograptus asejradi* Legrand. Loc. 30, MGM-1082S. F. *Parapetalolithus hispanicus* (Haberfelner). Loc. 1, MGM-1127S. G. *Rastrites* cf. *fugax* Barrande. Loc. 5, MGM-1365S. H. *Pristiograptus renaudi* (Philippot). Loc. 1, MGM-1172S. I. *Parapetalolithus palmeus* (Barrande). Loc. 17, MGM-1140S. J. *Stimulograptus halli* (Barrande). Loc. 1, MGM-1252S. K. *Streptograptus* cf. *filiformis* Chen. Loc. 17, MGM-1227S. L. *Pristiograptus variabilis* (Perner). Loc. 17, MGM-1174S. M. *Paradiversograptus* cf. *runcinatus* Lapworth. Fragmento distal de la colonia. Loc. 30, MGM-1654S. N. *Stimulograptus becki* (Barrande). Loc. 1, MGM-1249S. O. *Spirograptus guerichi* Loydell, Štorch & Melchin. Loc. 1, MGM-1340S. P. *Streptograptus linearis* Chen. Loc. 4, MGM-1225S. Q. *Torquigraptus planus* (Barrande). Loc. 9, MGM-1320S. R. *Monograptus gemmatus* (Barrande). Loc. 18, MGM-1291S. S. *Rhaphidograptus toernquisti* (Elles & Wood). Loc. 17, MGM-1111S. La escala gráfica equivale a 3 mm.

Esta hipótesis había sido postulada por Henke y Hundt (1926) y por Hernández Sampelayo (1960) para diversos yacimientos del área de Almadén, Corral de Calatrava y Sierra Morena oriental, cuyos datos pervivieron en numerosas publicaciones posteriores. A este respecto, Haberfelner (1931) ya había criticado duramente las “extrañas asociaciones de graptolitos” observadas por Henke y Hundt (1926), donde se mezclaban especies de niveles muy dispares del Silúrico, demostrando que implicaban identificaciones taxonómicas erróneas. Sin embargo, la posibilidad de que en una misma muestra pudieran concurrir especies características de distintas biozonas, es una constante en los trabajos sobre graptolitos silúricos del área ibero-armoricana, donde incluso se ha aludido a circunstancias paleogeográficas especiales en áreas alejadas de los estratotipos británicos (Philippot, 1950; Philippot y Riba, 1952; Romariz, 1962, 1969). Diversos trabajos posteriores probaron que en todas aquellas localidades francesas, portuguesas y españolas donde se habían postulado “dislocaciones estratigráficas” en el registro de los graptolitos, en realidad contenían asociaciones “normales”, de edades concretas, con mezcla de graptolitos mal identificados.

A continuación, se describen las biozonas o subzonas de graptolitos silúricos identificadas en la región surcentroibérica (Figs. 5 y 10). El criterio para reconocerlas se basa, casi siempre, en la presencia de su taxón nominal, cuya extensión vertical define cada biozona concreta. En su ausencia, algunas biozonas se han definido por el intervalo comprendido entre la desaparición y aparición de los taxones nominales de las biozonas inferior y superior a la biozona deducida, respectivamente. También se puede establecer una biozona por la presencia de taxones conocidos únicamente en parte de ella, incluso en ausencia de su taxón nominal.

Entre las biozonas analizadas, la única del Aeroniense representada con seguridad es la de *Lituigraptus convolutus*. Las biozonas del Telychiense son las de *Spirograptus guerichi* (con sus tres subzonas de *Paradiversograptus runcinatus*-*Monograptus gemmatus*, *Parapetalolithus palmeus* y *Parapetalolithus hispanicus*), *Spirograptus turriculatus*, *Streptograptus crispus*, *Monoclimacis griestoniensis*, *Torquigraptus tullbergi*, *Oktavites spiralis* y *Cyrtograptus lapworthi*. En el Sheinwoodiense se reconocen las biozonas de *Cyrtograptus purchisoni*, *Monograptus riccartonensis*, *Monograptus belophorus*-*Cyrtograptus rigidus* y *Cyrtograptus perneri*-*Cyrtograptus ramosus*. Finalmente, el Homeriense y el Ludfordiense se hallan representados, respectivamente, por las biozonas de *Cyrtograptus lundgreni* y de *Saetograptus leintwardinensis*(?) (Fig. 5).

En el Apéndice 1 se detallan las localidades fosilíferas estudiadas y numeradas en la Fig. 2.

Biozonas del Llandovery

De los tres pisos que componen esta Serie, el Telychiense es el más completo en términos de biozonas de graptolitos. Los depósitos correspondientes al Rhuddaniense y Aeroniense comprenden facies arenosas poco favorables para la conservación de fósiles, excepto ciertos niveles lo-

calizados en la parte alta de la Cuarcita del Criadero, donde se dieron condiciones muy especiales de preservación de graptolitos durante el Aeroniense.

Biozona de Lituigraptus convolutus. Corresponde a los únicos graptolitos aeronienses registrados en el área de trabajo, en las secciones de la estación de Chillón-Este (nº 17 en la Fig. 2), del arroyo del Lápiz (nº 9) y en la de la confluencia de los ríos Guadiana-Jabalón (nº 5), además de en las localidades de la Cañada de Cantohincado (nº 16) y Los Toriles (nº 31).

Se caracteriza por la presencia de *Lituigraptus convolutus* (Hisinger) (Fig. 6D), *Campograptus lobiferus* (McCoy) (Fig. 6C), *Rhaphidograptus toernquisti* (Elles & Wood) (Fig. 6B, S), *Normalograptus scalaris* (Hisinger) (Fig. 6A), *Pristiograptus* sp., *Rastrites* sp. y *Metaclimacograptus* sp. La asociación está restringida a las intercalaciones pizarras y limolíticas de la parte más alta de la Cuarcita del Criadero, donde alternan con niveles arenosos y cuarcíticos laminados de espesor centimétrico.

Cabe destacar que las localidades centroibéricas correspondientes a la Biozona de *L. convolutus* muestran una diversidad de graptolitos extremadamente baja en comparación con otros registros mundiales, especialmente los de Bohemia (Štorch, 1998c, 2023). Esto es debido al desarrollo, en la región surcentroibérica, de facies arenosas de muy poca profundidad, compatibles con la interpretación paleoambiental de Štorch (1998a).

Biozona de Spirograptus guerichi. Corresponde a la base del Telychiense que, en la mayoría de las secciones estudiadas, coincide, bien con el inicio de la sedimentación de las pizarras negras graptolíticas o, más raramente, con los niveles de tránsito entre éstas y la Cuarcita del Criadero. No obstante, el registro de esta biozona es esporádico, porque normalmente se halla muy afectada por la laminación tectónica inherente al gran contraste litológico entre ambas unidades. Esta mecanización del contacto puede afectar a la biozona en su totalidad o a alguna de las tres subzonas integrantes. Desde el punto de vista bioestratigráfico, la biozona se caracteriza por la aparición y extensión vertical de la forma nominal *Spirograptus guerichi* Loydell, Štorch & Melchin (Fig. 6O).

- *Subzona de Paradiversograptus runcinatus*-*Monograptus gemmatus*. Se documenta en muy pocas localidades de la región estudiada, donde aparece restringida a los niveles de tránsito entre la Cuarcita del Criadero y la Formación Guadarranquejo de las secciones Guadalmaz-Norte (nº 18 en la Fig. 2), estación de Chillón-Este (nº 17) y la confluencia entre los ríos Guadiana y Jabalón (nº 5). Desde el punto de vista bioestratigráfico, además de por la presencia de *S. guerichi*, la subzona se caracteriza por la coexistencia de sus formas nominales *Monograptus gemmatus* (Barrande) (Fig. 6R) y *Paradiversograptus runcinatus* (Lapworth) (Fig. 6M), que se presentan asociadas a *Stimulograptus becki* (Barrande), *Sti. halli* (Barrande), *Streptograptus plumosus* (Baily), *Strep. cf. filiformis* Chen, *Torquigraptus obtusus* (Schauer), *T. planus* (Barrande), *Monograptus marri* Perner, *Pristiograptus variabilis* (Per-

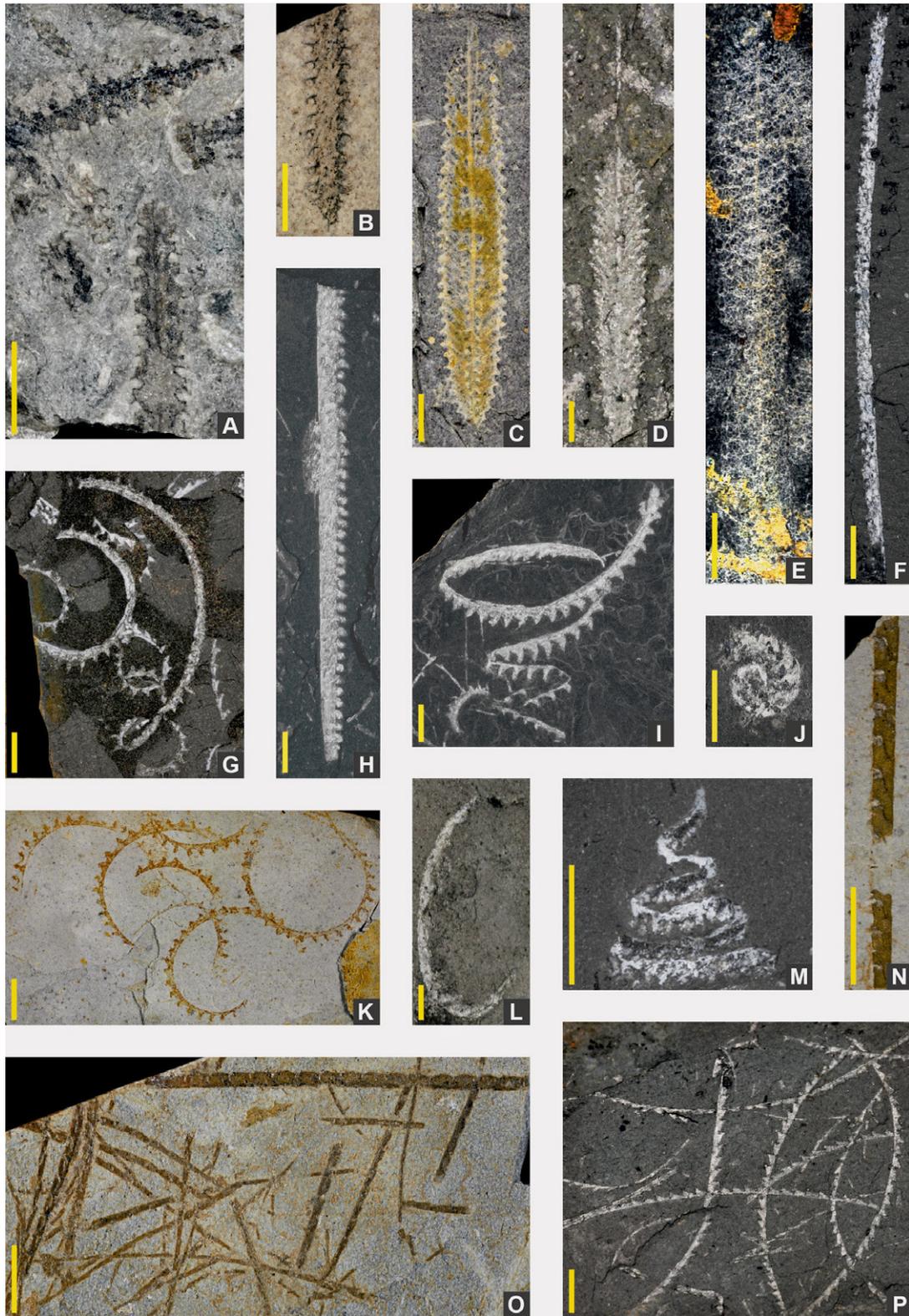


Fig. 7. Graptolitos del Telychiense: biozonas de *Spirograptus guerichi*, subzona de *P. hispanicus* (H, I), *Spirograptus turriculatus* (L, M), *Streptograptus crispus* (E, J, P), *Monoclimacis griestoniensis* (B, D, F, K, N, O), *Torquigraptus tullbergi* (C), *Oktavites spiralis* (G) y sin zona definida (A) A y B. *Metaclimacograptus flamandi* (Legrand). A. Loc. 27, MGM-1106S; B. Loc. 27, MGM-1105S. C y D. *Parapetalolithus meridionalis* (Legrand). C. Loc. 19, MGM-1132S; D. Loc. 25, MGM-1139S. E. *Pseudoplegmatoraptus obesus* (Lapworth). Loc. 9, MGM-1076S. F. *Monoclimacis woodae* Zalasiewicz, Loydell & Štorch. Loc. 4, MGM-1376S. G. *Torquigraptus australis* Štorch. Loc. 4, MGM-1314S. H. *Monograptus marri* Perner. Loc. 1, MGM-1297S. I. *Torquigraptus proteus* (Barrande). Loc. 1, MGM-1323S. J. *Cochlograptus veles* (Richter). Loc. 4, MGM-1213S. K. *Torquigraptus tullbergi* (Bouček). Loc. 19, MGM-1321S. L. *Streptograptus cf. plumosus* (Baily). Loc. 4, MGM-1235S. M. *Spirograptus turriculatus* (Barrande). Loc. 4, MGM-1356S. N y O. *Monoclimacis griestoniensis* (Nicol). N. Loc. 19, MGM-1390S; O. Loc. 24, MGM-1392S. P. *Torquigraptus arcuatus* (Bouček). Loc. 27, MGM-1310S. La escala gráfica equivale a 3 mm, excepto en la L (= 1 mm).



Fig. 8. Graptolitos del Telychiense-Wenlock: biozonas de *Torquigraptus tulbergi* (C), *Oktavites spiralis* (E, G, I, M, K, L, O), *Cyrtograptus lapworthi* (B, N), *Cyrtograptus muchisoni* (A, D) y sin zona definida (F, H, J, P). A. *Retiolites geinitzianus* (Barrande). Loc. 4, MGM-1147S. B. *Retiolites angustidens* Elles & Wood. Loc. 4, MGM-1141S. C. *Stomatograptus* sp. (latex). Loc. 3, MGM-1167S. D. *Pristigraptus praedubius* (Bouček). Loc. 4, MGM-1176S. E. *Streptograptus* cf. *nodifer* (Törnquist). Loc. 18, MGM-1226S. F. *Monograptus priodon* (Bronn.) Loc. 4, MGM-1306S. G. *Monograptus curvus* Manck. Loc. 4, MGM-1068S. H. *Oktavites falx* (Suess). Loc. 4, MGM-1359S. I. *Stimulograptus splendens* Štorch. Loc. 19, MGM-1263S. J y M. *Diversograptus ramosus* Manck. J. Loc. 4, MGM-1409S; M. Loc. 18, MGM-1418S. K. *Monograptus juancarlosi* Štorch. Loc. 1, MGM-1298S. L. *Oktavites spiralis* (Geinitz). Loc. 4, MGM-1346S. N. *Euroclimacis ibérica* Štorch. Loc. 4, MGM-1379S. O. *Euroclimacis jabalonensis* Loydell, Štorch & Gutiérrez-Marco. Loc. 18, MGM-1389S. P. *Euroclimacis* cf. *hamata* Loydell, Štorch & Gutiérrez-Marco. Loc. 7, MGM-1388S. La escala gráfica equivale a 3 mm, excepto en la C (= 1 mm).

ner) (Fig. 6L), *P. renaudi* (Philippot), *P. pristinus* Přibyl, *Rastrites linnaei* Barrande, *R. cf. fugax* Barrande (Fig. 6G), *R. schaueri* Štorch & Loydell, *R. abbreviatus* Lapworth, *Metaclimacograptus asejradi* Legrand (Fig. 6E), *Parapetalolithus elongatus* (Bouček & Přibyl), *Glyptograptus* sp. y *Pseudoretiolites cf. dentatus* Bouček & Münch (Fig. 5).

En la biozonación avalónica de las Islas Británicas (Loydell, 1994), *Par. runcinatus* y *M. gemmatus* caracterizan subzonas consecutivas en la base de la Biozona de *S. guerichi*. Sin embargo, tanto en la Cordillera Ibérica (Gutiérrez-Marco y Štorch, 1998) como en la zona de estudio, ambas especies coexisten en los mismos niveles y componen una única subzona. Esta no llega a diferenciarse en el sinclinal del Valle del norte de Sevilla, donde *M. gemmatus* se registra en los dos tercios inferiores de la Biozona de *S. guerichi*, y *Par. runcinatus* se sitúa por debajo de la primera aparición de *Parapetalolithus* (Loydell et al., 2015).

- *Subzona de Parapetalolithus palmeus*. Las secciones donde se ha podido identificar esta subzona son las del arroyo del Lápez (nº 9, Fig. 2), estación de Chillón-Este (nº 17) y confluencia de los ríos Guadiana y Jabalón (nº 5). En la asociación concurren prácticamente las mismas especies que en la subzona precedente, destacando la aparición de la forma nominal *Parapetalolithus palmeus* (Barrande) (Fig. 6I). Además de ésta se registran *S. guerichi*, *Sti. becki*, *Sti. halli*, *Strep. plumosus*, *Strep. cf. filiformis* (Fig. 6K), *T. planus* (Fig. 6Q), *M. marri*, *M. gemmatus*, *P. variabilis*, *P. renaudi*, *P. pristinus*, *R. linnaei*, *Parad. runcinatus*, *Metacl. asejradi*, *Parap. elongatus* y *Glyptograptus* sp.

- *Subzona de Parapetalolithus hispanicus*. Se ha reconocido en las localidades PN-1 del corte del Puerto de San Vicente (nº 1, Fig. 2) y GM GRE, en el sinclinal de Guadalmez (nº 22), así como en las secciones del río Jabalón (nº 4) y del arroyo del Lápez (nº 9). Esta subzona terminal de la Biozona de *S. guerichi* se caracteriza por la aparición de *Parapetalolithus hispanicus* (Haberfelner) (Fig. 6F) y, localmente, de otros taxones como *Streptograptus linearis* Chen (Fig. 6P), *Pseudoplegmatoraptus obesus* (Lapworth), *Pristiograptus bjerringus* (Bjerrreskov), *Stimulograptus cf. utilis* Loydell, *Rastrites spengillensis* Rickards y *Torquigraptus proteus* (Barrande) (Fig. 7I). De las subzonas precedentes continúan su representación las especies *Parap. elongatus*, *Metacl. asejradi*, *P. renaudi* (Fig. 6H), *P. variabilis*, *P. pristinus*, *R. linnaei*, *R. cf. schaueri*, *S. guerichi* (Fig. 6O), *Sti. becki* (Fig. 6N), *Sti. halli* (Fig. 6J), *Strep. plumosus*, *T. planus* y *M. marri* (Fig. 7H).

Biozona de Spirograptus turriculatus. Corresponde a la parte terminal del *stage slice* "Te1" de Cramer et al. (2011), y ha sido identificada en las secciones del río Jabalón (nº 4, Fig. 2) y arroyo del Lápez (nº 9). La base de la biozona está marcada por la aparición de su especie índice *Spirograptus turriculatus* (Barrande) (Fig. 7M), que reemplaza a *S. guerichi*. En su gran mayoría, la asociación comprende especies que prosiguen su representación desde la biozona precedente, como *Metacl. asejradi*, *P. variabilis*, *M. marri*, *Sti. becki*, *Sti. cf. utilis*, *Strep. plumosus* (Fig. 7L), *T. planus*, *T. proteus* y *Ps. obesus*. La especie *Streptograptus*

storchi Loydell es exclusiva de esta biozona, donde también se documenta la primera aparición de *Parapetalolithus cf. altissimus* (Elles & Wood).

Aunque *S. turriculatus* había sido citado profusamente en la región surcentroibérica (Gutiérrez Marco y Pineda Velasco, 1988; Rodríguez-Núñez et al., 1989 y Štorch et al., 1998b), han podido revisarse la mayor parte de los yacimientos y se ha comprobado que, en casi todos los casos, había sido confundido con *S. guerichi*, una especie más antigua y muy parecida morfológicamente.

Biozona de Streptograptus crispus. Al igual que la división bioestratigráfica precedente, la caracterización de esta biozona se restringe a unas pocas localidades. En concreto, ha sido reconocida en la cantera del Molinillo (nº 23, Fig. 2), El Centenillo (muestra EC SE-1G) (nº 27) y en las secciones del río Jabalón (nº 4) y arroyo del Lápez (nº 9). Se caracteriza por la primera aparición de la especie *Streptograptus crispus* (Lapworth), que coincide también con la de *Torquigraptus arcuatus* (Bouček) (Fig. 7P), *T. australis* Štorch, *Cochlograptus veles* (Richter) (Fig. 7J), *Pristiograptus cf. initialis* Kirste, *Streptograptus exiguus* (Nicholson), *Lapworthograptus aff. singularis* (Törnquist), *Parapetalolithus meridionalis* (Legrand) (Figs. 7C-D), *Glyptograptus tamariscus* (Nicholson), *Metaclimacograptus flamandi* (Legrand) y *Retiolites geinitzianus* (Barrande). De biozonas inferiores prosiguen su registro especies de rango temporal amplio como *T. proteus*, *M. marri*, *P. cf. pristinus*, *S. cf. turriculatus* y *Ps. obesus* (Fig. 7E), tras haber sobrevivido al Evento Utilis de extinción (Loydell, 1994; Štorch, 1995b).

Biozona de Monoclimacis griestoniensis. Corresponde a la parte terminal del *stage slice* "Te2" de Cramer et al. (2011), y es una de las biozonas más ampliamente reconocidas en la región surcentroibérica, habiéndose documentado en numerosas localidades como en las de las cercanías de Santa Eufemia (Córdoba) (GM PO(S) y GM PO (CENT), nº 25, Fig. 2), al este de Santa Elena (19-34 9803-GM, nº 28) y El Centenillo (nº 27), y en las secciones del río Jabalón (nº 4), arroyo del Lápez (nº 9), Guadalmez Norte (nº 18), estación de Belalcázar (nº 19) y Puente Quebrada (nº 24).

Se caracteriza por la aparición del género *Monoclimacis* y, más concretamente, por la de la especie índice *Monoclimacis griestoniensis* (Nicol) (Figs. 7N, O). La asociación se compone de *Monoclimacis woodae* Zalasiewicz, Loydell & Štorch (Fig. 7F), *Monograptus juancarlosi* Štorch, *M. priodon* (Bronn), *M. drepanoformis* Toghill & Strachan, *M. cf. parapriodon* Bouček, *Stimulograptus splendens* Štorch, *Torquigraptus australis*, *T. arcuatus*, *T. tullbergi* (Bouček), *Streptograptus crispus* (Lapworth), *Pristiograptus nudus* (Lapworth), *Cochlograptus veles*, *Metaclimacograptus flamandi* (Figs. 7A-B), *Parapetalolithus meridionalis* (Legrand) y *Retiolites geinitzianus*. Por otro lado, en la Biozona de *Mcl. griestoniensis* se registra la última aparición de especies de amplio rango como *P. pristinus*, *T. proteus*, *Parapet. cf. altissimus* y *Ps. obesus* (Fig. 5).

Biozona de Torquigraptus tullbergi. Esta biozona se ha caracterizado en las secciones del río Jabalón (nº 4, Fig. 2), arroyo del Lápiz (nº 9), Guadalmez Norte (nº 18), estación de Belalcázar (nº 19) y Puente Quebrada (nº 24), en las localidades de Valdecaballeros (nº 3), al este de Almadén (AL-193, nº 12), cerca de Brazatortas (PT OB-3, nº 15), al este de Santa Elena (19-34 9805-GM y 19-34 9807-GM, nº 28) y en el interior de la mina de Almadén (nº 29).

La asociación de graptolitos se caracteriza por la aparición de *Torquigraptus tullbergi* (Bouček) (Fig. 7K) y *Monoclimacis crenulata* (Elles & Wood), junto con *Torquigraptus flagellaris* (Törnquist), y *M. parapriodon*. También se hallaron formas de amplia distribución vertical como *M. priodon*, *M. juancarlosi*, *T. cf. arcuatus*, *Metaclim. flamandi*, *Ret. geinitzianus*, *Parapet. meridionalis*, *Stim. splendens* y *Cochl. veles*; además de otras que hacen su primera aparición en la biozona, como *Stimulograptus novaki* (Bouček), *Streptograptus speciosus* (Tullberg), *Monograptus curvus* Manck, *Monoclimacis vomerina* (Nicholson), *Retiolites angustidens* Elles & Wood y representantes de los géneros *Diversograptus* (*D. pergracilis?* (Bouček), *D. ramosus* Manck) y *Stomatograptus* (*Stomatograptus* sp.) (Fig. 8C). De manera ocasional, en la parte baja de la biozona se registran los últimos representantes de *Mcl. griestoniensis* y *T. australis* (Fig. 7G). Cerca del techo de la biozona inician su representación *Euroclimacis jabalonensis* Loydell, Štorch & Gutiérrez-Marco, *Monoclimacis subgeinitzi* Fu y *Oktavites* sp. (Loydell et al., 2009).

Biozona de Oktavites spiralis. Esta biozona ha sido identificada en las secciones de arroyo Guadarranquejo (nº 1, Fig. 2), río Jabalón (nº 4), Guadalmez Norte (nº 18), estación de Belalcázar (nº 19) y Puente Quebrada (nº 24) y, además, localidades puntuales cerca de Santa Eufemia (GM EU-2, nº 26), y al sur de Peñalsordo (GM-H, nº 20; D-3, nº 21).

La base de esta biozona se marca por la aparición de la especie nominal *Oktavites spiralis* (Geinitz) (Fig. 8L) junto con *O. falx* (Suess) (Fig. 8H), que continúan representadas en la Biozona de *Cyrtograptus lapworthi*. El resto de la asociación se compone de *Oktavites excentricus* (Bjerreskov), *Monograptus praecedens* Bouček, *M. parapriodon*, *M. juancarlosi* (Fig. 8K), *M. curvus* (Fig. 8G), *M. priodon* (Fig. 8F), *M.?* cf. *grobdsorfiensis* (Hemmann), *Stimulograptus splendens* (Fig. 8I), *Stim. pradoi* Loydell, Štorch & Gutiérrez-Marco, *Stim. vesiculosus* (Perner), *Pristiograptus praedubius* (Bouček), *P. largus* (Perner), *Monoclimacis geinitzi* (Bouček), *Mcl. subgeinitzi*, *Mcl. vomerina*, *Mcl. woodae*, *Mcl. flexa* Loydell, Štorch & Gutiérrez-Marco, *Mcl. cf. crenulata*, *Euroclimacis iberica* Štorch, *E. hamata* Loydell, Štorch & Gutiérrez-Marco, *E. jabalonensis* (Fig. 8O), *Streptograptus anguinus* (Příbyl), *Strep. speciosus*, *Strep. cf. nodifer* (Törnquist) (Fig. 8E), *Torquigraptus flagellaris*, *T. tullbergi*, *T. cf. arcuatus*, *Diversograptus ramosus* (Figs. 8J, M), *D.?* *pergracilis*, *Barrandeograptus bornholmensis* (Laursen), *Retiolites angustidens* y *R. geinitzianus*. En la parte más alta de la Biozona destaca la primera aparición del género *Cyrtograptus*, representado por *C. lapworthi* Tullberg.

Biozona de Cyrtograptus lapworthi. Solo se ha identificado en las proximidades de Valdeazogues (Localidad PT VAZ-14, nº 13, Fig. 2) y en la sección de Retamar (nº 14), ambas en el sinclinal de Valdeazogues-Puertollano, además de en la sección del río Jabalón (Corral de Calatrava, nº 4).

Esta biozona es difícil de delimitar porque la mayoría de las especies extienden su rango desde la biozona precedente. En la región surcentroibérica se la distingue únicamente por la presencia de *C. lapworthi*, *Streptograptus wimani* (Bouček) y una nueva especie de *Cyrtograptus*. Esta última fue citada como *Cyrtograptus?* sp. nov. por Loydell et al. (2009) y tiene un cierto parecido con *C. insectus* Bouček, con la que fue confundida en trabajos previos (ver Biozona de *C. insectus?* en Štorch et al., 1998). Además de estos graptolitos, la asociación la integran *M. priodon*, *M. aff. probosciformis* Bouček, *Mcl. vomerina*, *Mcl. geinitzi*, *E. iberica* (Fig. 8N), *E. hamata*, *P. praedubius*, *P. largus*, *D. ramosus*, *R. angustidens* (Fig. 8B), *R. geinitzianus*, *Pseudoretiolites* sp. y los últimos representantes de *Metaclim. flamandi*, *O. spiralis*, *O. falx*, *M.?* cf. *grobdsorfiensis*, *M. parapriodon*, *Stim. splendens* y *D.?* *pergracilis*.

Laguna estratigráfica de las *Biozonas de Cyrtograptus insectus* y de *Cyrtograptus centrifugus*. Las biozonas terminales del Telychiense no han podido identificarse en ninguna de las localidades estudiadas. Loydell et al. (2009) señalan la existencia de una laguna estratigráfica entre la parte media de la Biozona de *C. lapworthi* y la base de la Biozona de *C. purchisoni* en la sección de Corral de Calatrava, que se correspondería con un brusco descenso eustático previo al límite Llandovery - Wenlock. Dicha laguna estaría generalizada en toda la región, ya que el primer registro de *C. purchisoni* Carruthers se sitúa casi siempre muy cerca (0-50 cm) de los últimos representantes de *O. spiralis* (Geinitz).

Biozonas del Wenlock

De los dos pisos que componen esta Serie, únicamente ha sido posible caracterizar casi todo el Sheinwoodiense mediante las correspondientes biozonas de graptolitos, localizadas en la parte alta de la Formación Guadarranquejo y en la parte inferior de las Alternancias arenosas suprayacentes. Los depósitos del Homeriense comprenden, por lo general, facies de alternancias de areniscas y pizarras, poco favorables para la conservación de los graptolitos, excepto en contadas intercalaciones de pizarras negras en las que se ha identificado la primera de las biozonas del Homeriense, la Biozona de *Cyrtograptus lundgreni*.

Biozona de Cyrtograptus purchisoni. Esta biozona se documenta en las proximidades de Santa Eufemia (Localidad GM EU-4, nº 26, Fig. 2), y cerca de Almadenejos (Localidades AL AM-1 y AL AM-3, nº 7), así como en la sección de Retamar (nº 14).

Se caracteriza principalmente por la aparición de *Cyrtograptus* cf. *purchisoni* Carruthers y *Euroclimacis adunca* (Bouček) (Fig. 9N), además de otros elementos característicos como *Monoclimacis basilica* (Lapworth), *Mcl.*

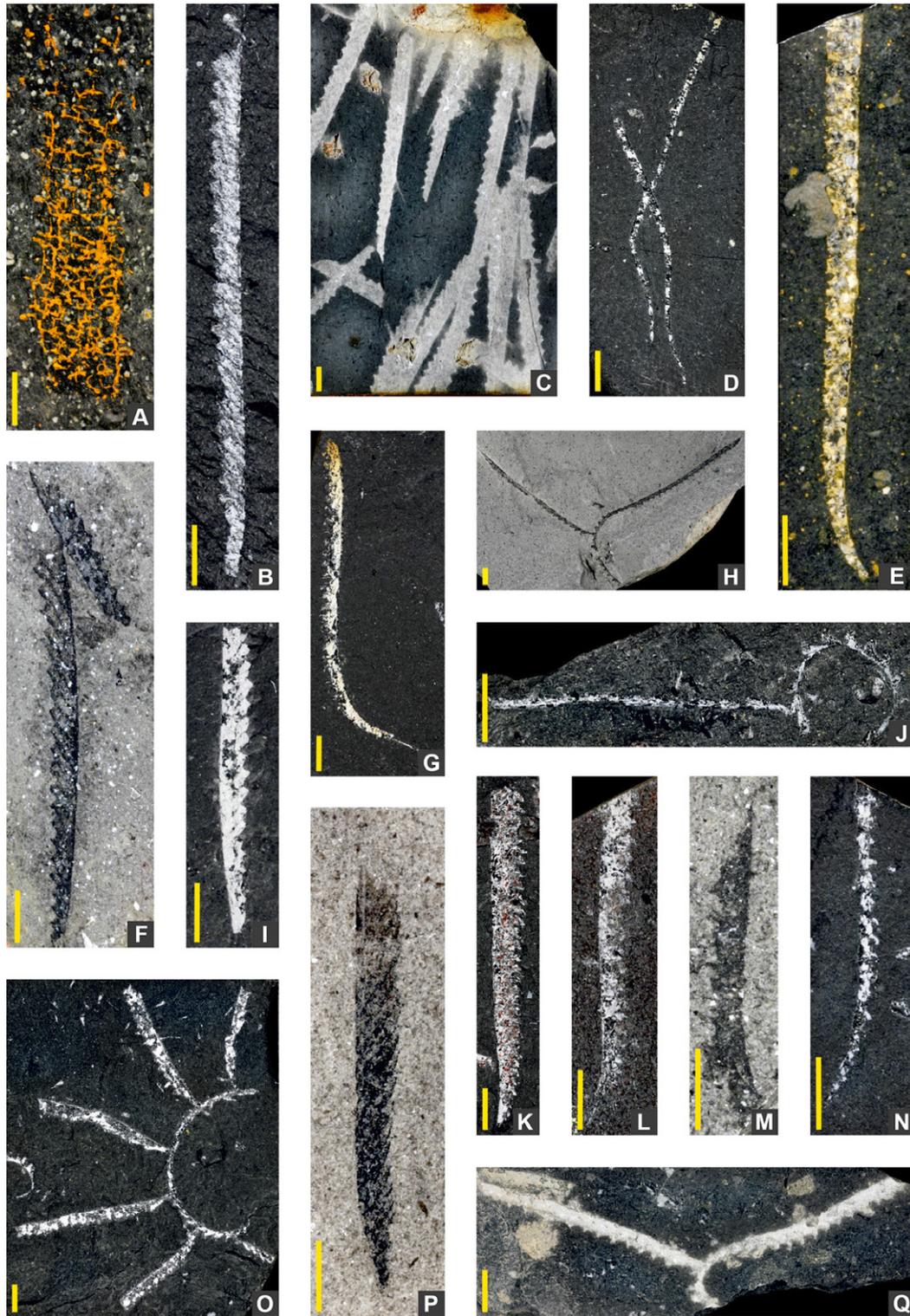


Fig. 9. Graptolitos del Wenlock-Ludlow: biozonas de *Cyrtograptus murchisoni* (N), *Monograptus belophorus*-*Cyrtograptus rigidus* (D, G, I), *Cyrtograptus perneri*-*Cyrtograptus ramosus* (A, E, L, O), *Cyrtograptus lundgreni* (H, J, K) y sin zona definida (B, C, F, M, P, Q) A. *Sokolovograptus textor* (Bouček & Munch). Loc. 14, MGM-1159S. B. *Pristiograptus latus* (Bouček). Loc. 1, MGM-1178S. C. *Pristiograptus meneghini* (Gortani). Loc. 2, MGM-1181S. D. “*Streptograptus*” *antennularis* (Meneghini). Loc. 4, MGM-1221S. E. *Monoclimacis flumendosae* (Gortani). Loc. 10, MGM-1405S. F. *Pristiograptus pseudodubius* (Boucek). Loc. 24, MGM-1183S. G. *Monograptus belophorus* (Meneghini). Loc. 4, MGM-1272S. H. *Cyrtograptus* cf. *lundgreni* Tullberg, colonias carentes de la región proximal, con fragmentos del cladio tecal. Loc. 17, MGM-1427S. I. *Pristiograptus dubius* (Suess). Loc. 4, MGM-1194S. J. *Cyrtograptus perneri* Boucek. Loc. 4, MGM-1286S. K. *Monograptus flemingii* (Salter). Loc. 4, MGM-1285S. L. *Monograptus* cf. *riccartonensis* Lapworth. Loc. 4, MGM-1288S. M. *Saetograptus* cf. *lentwardinensis* (Lapworth). Loc. 24, MGM-1215S. N. *Euroclimacis adunca* (Boucek). Loc. 4, MGM-1382S. O. *Cyrtograptus ramosus* Boucek. Loc. 4, MGM-1436S. P. *Saetograptus* cf. *incipiens* (Wood), conservación oblicua dorsal. Loc. Alange (Badajoz). MGM-1219S. Q. *Cyrtograptus rigidus* Tullberg, tubario con cladio en conexión. Loc. 2, MGM-1423S. La escala gráfica equivale a 3 mm, excepto en A (= 1 mm).

vikensis? Bassett & Rickards, *Mediograptus cautleyensis* (Rickards) y *Med. inconspicuus* (Bouček). En casi toda la biozona, a excepción de su techo, son frecuentes y abundantes los ejemplares de *Monograptus priodon*, *Mcl. vomerina*, *Mcl. geinitzi*, *E. hamata* (Fig. 8P), *Pristiograptus praedubius* (Fig. 8D), *Retiolites geinitzianus* (Fig. 8A) y *R. angustidens*, parte de los cuales se continúan desde el Telychiense, así como *Barrandeograptus cf. pulchellus* (Tullberg), *Monograptus firmus*? Bouček, *M. flemingii* (Salter) y *Monoclimacis flumendosae* (Gortani). En el techo de la biozona se constata el primer registro local de *Pristiograptus latus* (Bouček) (Fig. 9B), pero no una biozona diferenciada de *M. firmus*, como existe en el Silúrico británico (Zalasiewicz *et al.*, 2009; Loydell, 2012) y en Lituania (Loydell *et al.*, 2003) o, como una subzona separada, como se ha observado en el Wenlock de Bohemia (Štorch, 2023). Loydell *et al.* (2009) interpretaron esta ausencia de *Monograptus firmus* Bouček, en el horizonte previo a la aparición brusca de *M. riccantonensis* en la sección del río Jabalón, como indicativa de un pequeño hiato sedimentario equivalente en duración a la Biozona (o subzona) de *M. firmus*.

Biozonas de Monograptus riccantonensis y de Pristiograptus dubius. Estas biozonas se registran muy esporádicamente en el conjunto del área estudiada, donde han logrado determinarse de manera aislada en la sección del río Jabalón (nº 4, Fig. 2) del sinclinal de Corral de Calatrava, en la que parecen detectarse los primeros graptolitos registrados con posterioridad al Evento Murchisoni de extinción (Štorch, 1995b).

La Biozona de *Monograptus riccantonensis* se caracteriza por el registro de la forma nominal, *M. riccantonensis* Lapworth, acompañada por *P. dubius*. La desaparición en la sección de *M. riccantonensis* y la prosecución de una asociación monótona de *Pristiograptus* (*P. dubius* y *P. latus*) son citados por Štorch *et al.* (1998) y Loydell *et al.* (2009) como posibles indicadores de la Biozona de *Pristiograptus dubius*.

Biozona de Cyrtograptus rigidus-Monograptus belophorus. Esta biozona se ha identificado en las secciones del arroyo Guadarranquejo (nº 1, Fig. 2), arroyo de La Colada (nº 2), río Jabalón (nº 4), Retamar (nº 14), estación de Chillón oeste (nº 17) y cerca de Almadenejos (Loc. 4, nº 11).

Se caracteriza por la aparición, conjunta o separada, de *Cyrtograptus rigidus* Tullberg y *Monograptus belophorus* (Meneghini) (Fig. 9G), siendo la segunda especie mucho más abundante que la primera. Adicionalmente, se reconocen en la asociación *Monograptus flemingii*, *M. riccantonensis* Lapworth, *Pristiograptus latus*, *P. meneghini* (Gortani) (Fig. 9C), *P. dubius* (Suess) (Fig. 9I), *Monoclimacis flumendosae*, *Mcl. hemipristis* (Meneghini) y “*Streptograptus*” *antennularius* (Meneghini) (Fig. 9D). La biozona está bastante difundida en el área de estudio, siempre en facies de pizarras negras.

Biozona de Cyrtograptus perneri-Cyrtograptus ramosus. Se reconoce en las secciones arroyo de La Colada (nº 2, Fig. 2), río Jabalón (nº 4), Retamar (nº 14) y estación

de Chillón oeste (nº 17), así como en la localidad Casa del Piellero, en el sinclinal de Almadén (nº 10).

Se distingue por la aparición de *Cyrtograptus perneri* Bouček (Fig. 9O) y *C. ramosus* Bouček, junto a otras especies de distribución estratigráfica amplia, como *Monograptus flemingii*, *Pristiograptus dubius*, *P. meneghini*, *P. pseudodubius* (Bouček) (Fig. 9F) y *Monoclimacis flumendosae* (Fig. 9E), además de raros registros de *Cyrtograptus cf. ellesae* Gortani y *Sokolovograptus textor* (Bouček & Münch) (Fig. 9A). *Monoclimacis hemipristis*, “*Streptograptus*” *antennularius*, *M. belophorus* y *M. riccantonensis* (Fig. 9L) siguen representados en esta biozona en algunas localidades. La aparición de *C. rigidus* (Fig. 9Q) y *C. cf. hamatus* en un mismo horizonte fosilífero plantea la posible identificación errónea de una de las dos formas.

Biozona de Cyrtograptus lundgreni. La identificación del Homeriense con base a graptolitos se limita, en la zona de trabajo, a la biozona basal de este Piso. El resto de la sucesión no contiene graptolitos de esta edad, y las pizarras negras son reemplazadas paulatinamente por sedimentos de mayor tamaño de grano, donde los fósiles son cada vez más escasos o no se registran.

La biozona se ha identificado en las secciones del río Jabalón (nº 4, Fig. 2), Puente Morena (nº 6), Retamar (nº 14) y estación de Chillón oeste (nº 17), así como Almadén (Localidad AL AV-4, nº 8). Se determina localmente en función del hallazgo de fragmentos de *Cyrtograptus cf. lundgreni* Tullberg (Fig. 9H) o de *C. hamatus* (Baily), en una asociación dominada por las siguientes formas que inician su registro en el Sheinwoodiense: *C. perneri* (Fig. 9J), *Monograptus flemingii* (Fig. 9K), *Pristiograptus dubius*, *P. pseudodubius* (Bouček) y *Monoclimacis flumendosae*. Esto implica que, ante la ausencia de las especies índice de esta biozona y de las dos precedentes, muchas secciones con graptolitos del Wenlock centroibérico no puedan delimitarse a nivel de piso dentro del rango Sheinwoodiense medio - Homeriense inferior. La reducida diversidad de graptolitos representada en la Biozona de *C. lundgreni* de la región estudiada, contrasta enormemente con las asociaciones asignadas a la misma en otras áreas mundiales, que propician incluso su división en subzonas (Jaeger, 1991; Štorch, 1994, 2023; Štorch *et al.*, 2025).

Biozonas del Ludlow

Las referencias a graptolitos del Ludlow son bastante excepcionales en el área de trabajo, y en su mayoría corresponden a identificaciones erróneas de especies del Gorstiense o incluso del Ludfordiense que, o bien aparecen mezcladas con asociaciones más antiguas, o bien se citan en yacimientos que tras su revisión se revelaron como de edad Telychiense. Se trata de simples menciones a especies como *Neodiversograptus nilssoni* (Lapworth), *Saetograptus varians* (Wood), *Crinitograptus crinitus?* (Wood), *Lobograptus scanicus* (Tullberg) o *Bohemograptus bohemicus* (Barrande), citadas en los trabajos de Mallada (1875a, 1875b), Egozcue y Mallada (1876), Cortázar (1880), Gómez de Llarena (1916), Hernández-Sampelayo

aprox. 419,6 Ma	Series	Pisos	Subd.	ZCI meridional	Peri-Gondwana (Europa)	
	PRIDOLI	RADOTINIENSE	Pr2	Sin datos	<i>Skalograptus transgrediens</i>	
		JAROVIENSE	Pr1		<i>Wolynograptus perneri</i>	
	<i>Slovinograptus beatus</i>					
aprox. 422,7 Ma	LUDLOW	LUDFORDIENSE	Lu3		<i>Wolynograptus bouceki</i>	
			Lu2		<i>Skalograptus lochkovenski</i>	
			Lu1		<i>Uncinatogr. pridoliensis</i>	
			<i>Skalograptus parulimus–Skalograptus ultimus</i>			
			<i>Pristiograptus fragmentalis</i>			
			<i>Psmcl. latilobus–Slovinogr. balticus</i>			
			<i>Neocuculogr. kozlowskii</i>			
aprox. 425 Ma	GORSTIENSE	Go2	Go1	<i>Neocuculogr. inexpectatus</i>		
				<i>Bohemograptus tenuis</i>		
aprox. 426,7 Ma	WENLOCK	HOMERIENSE	Ho3	<i>Saetograptus leintwardinensis</i>		
			Ho2	<i>Saetograptus leintwardinensis</i>		
		SHEINWOODIENSE	Sh3	<i>Lobograptus scanicus–Saetograptus chimaera</i>		
			Sh2	<i>Saetograptus fritschi</i>		
			Sh1	<i>Lobograptus progenitor</i>		
		aprox. 430,6 Ma	WENLOCK	HOMERIENSE	Ho1	<i>Neodiversograptus nilsoni</i>
						<i>Colonograptus ludensis–Colonograptus gerhardi</i>
						<i>Colonograptus deubeli–Colonograptus praedeubeli</i>
				SHEINWOODIENSE	Sh3	<i>Gothograptus nassa–Pristiograptus frequens</i>
					Sh2	<i>Pristiograptus parvus</i>
Sh1	<i>Monograptus flemingii</i>					
	<i>Cyrtograptus lundgreni</i>					
	<i>Testograptus testis</i>					
	<i>Cyrtograptus lundgreni</i>					
	<i>Cyrtograptus perneri–Cyrtograptus ramosus</i>					
aprox. 432,9 Ma	LLANDOVERY	TELYCHIENSE	Te5	<i>Cyrtograptus perneri–Cyrtograptus ramosus</i>		
			Te4	<i>Cyrtograptus rigidus–Monograptus belophorus</i>		
			Te3	<i>Monograptus belophorus</i>		
		AERONIENSE	Ae3	<i>Pristiograptus dubius</i>		
			Ae2	<i>Pristiograptus dubius–Pristiograptus latus</i>		
			Ae1	<i>Monograptus riccartonensis</i>		
		RHUDDANIENSE	Rh3	<i>Hiato</i>		
			Rh2	<i>Monograptus firmus</i>		
			Rh1	<i>Cyrtograptus murchisoni</i>		
		aprox. 438,6 Ma	LLANDOVERY	TELYCHIENSE	Te5	<i>Cyrtograptus centrifugus</i>
Te4	<i>Cyrtograptus insectus</i>					
Te3	<i>Cyrtograptus lapworthi</i>					
Te2	<i>Oktavites spiralis</i>					
Te1	<i>Oktavites spiralis</i>					
	<i>Torquigraptus tullbergi</i>					
	<i>Torquigraptus tullbergi</i>					
	<i>Monoclimacis griestoniensis</i>					
	<i>Monoclimacis griestoniensis</i>					
	<i>Streptograptus crispus</i>					
	<i>Streptograptus crispus</i>					
aprox. 440,5 Ma	LLANDOVERY	AERONIENSE	Ae3	<i>Spirograptus turriculatus</i>		
			Ae2	<i>Spirograptus turriculatus</i>		
			Ae1	<i>Spirograptus turriculatus</i>		
		RHUDDANIENSE	Rh3	<i>S. guerichi</i>		
			Rh2	<i>Parapet. hispanicus</i>		
			Rh1	<i>Parapet. palmeus</i>		
		aprox. 443,1 Ma	LLANDOVERY	RHUDDANIENSE	Rh3	<i>Parad. runcinatus–“M.” gemmatus</i>
					Rh2	<i>Rastrites linnaei</i>
					Rh1	<i>Parapet. hispanicus</i>
						<i>Parapet. palmeus</i>
	<i>Parapet. palmeus</i>					
	<i>Parapet. palmeus</i>					
	<i>Parapet. palmeus</i>					
	<i>Parapet. palmeus</i>					
aprox. 443,1 Ma	LLANDOVERY	AERONIENSE	Ae3	<i>Lituigraptus rastrum</i>		
			Ae2	<i>Stimulograptus sedgwickii</i>		
			Ae1	<i>Lituigraptus convolutus</i>		
		RHUDDANIENSE	Rh3	<i>Lituigraptus convolutus</i>		
			Rh2	<i>Petalolithus folium</i>		
			Rh1	<i>Demirastrites simulans</i>		
			<i>Demirastrites pectinatus</i>			
			<i>Demirastrites triangulatus</i>			
			<i>Coronograptus cyphus</i>			
			<i>Cystograptus vesiculosus</i>			
	<i>Parakidograptus acuminatus</i>					
	<i>Akidograptus ascensus</i>					

Fig. 10. Biozonas de graptolitos reconocidas en la región surcentroibérica (izquierda), y su correlación con el esquema biocronológico de las cuencas peri-gondwánicas europeas (derecha, tomado de Storch, 2023). La datación de los límites cronoestratigráficos de series y pisos está tomada de Melchin *et al.* (2020) y Cohen *et al.* (2025); las abreviaturas de los “Stage Slices” como subdivisión de los pisos, son las de Cramer *et al.* (2011). Los pisos de la serie Pridoli son, por el momento, informales, y se adaptan de Manda *et al.* (2023). Debido al mínimo espacio disponible, no se han representado las tres subzonas reconocidas dentro de la Biozona de *Spirograptus guerichi* (Fig. 5). Las dos superiores serían correlacionables con las zonas de *Parapetalolithus palmeus* y *P. hispanicus* de Bohemia, y la inferior corresponde aquí a la subzona de *Paradiversograptus runcinatus*-“*Monograptus*” *gemmatus*.

(1926), Henke y Hundt (1926) y Almela *et al.* (1962). Sucede lo mismo en áreas próximas a las aquí analizadas, donde el único artículo que ilustra graptolitos del Ludlow corresponde a Gutiérrez-Marco *et al.* (1997), en concreto un ejemplar de *Saetograptus leintwardinensis* (Lapworth) registrado en Alange (Badajoz). Por su interés, hemos procedido a una revisión de este yacimiento y se ha identificado un nuevo taxón, *Saetograptus cf. incipiens* (Wood) (Fig. 9P).

Dentro de la zona estudiada, el registro confirmado de graptolitos del Ludlow se limita a un nivel aislado del flanco norte del sinclinal de Los Pedroches, donde aparece una asociación monoespecífica de *Saetograptus cf. leintwardinensis* (Lapworth), identificada en la sección de Puente Quebrada (San Benito) (nº 24, Fig. 2). Según Štorch *et al.* (2014), dicha especie (Fig. 9M) tiene prioridad taxonómica sobre *S. linearis* (Bouček), otra forma citada con alguna frecuencia en la bibliografía ibérica de graptolitos.

Saetograptus leintwardinensis define una biozona homónima en la base del Ludfordiense (= inicio del *stage slice* “Lu1” de Cramer *et al.*, 2011).

Correlación bioestratigráfica

Los graptolitos planctónicos son los fósiles guía que se utilizan internacionalmente para el establecimiento de las divisiones cronoestratigráficas a todos los niveles dentro del Silúrico (4 series y 8 pisos: Melchin *et al.*, 2020; Štorch *et al.*, 2025). La biozonación estándar (Koren *et al.*, 1996) ha sido modificada a escala regional para adecuarse a los datos locales, lo que ha dado lugar a variaciones en el esquema de biozonas para los distintos ámbitos paleobiogeográficos (ver, entre otros, Zalasiewicz *et al.*, 2009; Loydell, 2012; Maletz, 2023a; Štorch, 2023; con referencias previas). En el caso de la región surcentroibérica, la biozonación utilizada es la de la región peri-gondwánica europea, que sigue el esquema patrón de biozonas adoptado en la cuenca de Praga (Štorch, 2023; con referencias previas), que fue adoptado por vez primera para la Península Ibérica por Gutiérrez-Marco y Štorch (1998), Štorch (1998a, b) y Štorch *et al.* (1998). Su correspondencia con la biozonación estándar revisada (Melchin *et al.*, 2020) se detalla en Štorch *et al.* (2025). En el caso de la biozona más antigua del Telychiense, preferimos denominarla con arreglo a la extensión de *Spirograptus guerichi*, por corresponder a la biozona nominal que se utiliza en el resto del mundo, cuyo estratotipo global de límite (GSSP) ha sido establecido en España (Gutiérrez-Marco *et al.*, 2024a). En Europa central, la biozona equivalente es la de *Rastrites linnaei*, que adopta la larga tradición de la escala bohémica (Štorch, 2023; Strossová, 2024; Strossová *et al.*, 2024).

En la se presenta una síntesis del marco cronoestratigráfico y bioestratigráfico general para el Sistema Silúrico, junto con las biozonas de graptolitos reconocidas en el presente estudio en la parte meridional de la Zona Centroibérica. La distribución vertical de especies permite caracterizar 15 biozonas y tres subzonas, así como siete intervalos sin registro graptolítico que suelen coincidir con el desarrollo de litologías poco favorables para la preser-

vación de estos fósiles, o bien con condiciones sedimentarias muy someras y energéticas, en especial en las alternancias de predominio arenoso dominantes en el Ludlow y Pridoli. No obstante, dos (o tres?) de estos intervalos corresponden en realidad a hiatos sedimentarios localizados en el techo del Telychiense y dentro del Sheinwoodiense, respectivamente, que fueron caracterizados con gran precisión en la sección del río Jabalón en Corral de Calatrava (Loydell *et al.*, 2009).

Si comparamos la sucesión silúrica de la región surcentroibérica con otras áreas del Macizo Ibérico, se observa que la mayor parte del registro graptolítico se halla comprendido entre la biozona basal del Telychiense y la biozona basal del Homerense. Esto presenta notables similitudes con las sucesiones graptolíticas desarrolladas en la Cordillera Ibérica y zonas Cantábrica y Asturoccidental-Leonesa, y difiere mucho con el registro bastante completo del Silúrico en facies equivalentes de sapropelitas negras, que caracteriza la Zona de Ossa Morena (Robardet y Gutiérrez-Marco, 2002; Gutiérrez-Marco *et al.*, 2021; Štorch, 2023; Gutiérrez-Marco *et al.*, 2024b).

Aspectos paleoecológicos y paleobiogeográficos

Los parámetros de distribución de los graptolitos holoplanctónicos han propiciado diversos modelos en función de la temperatura, profundidad del hábitat y dinámica oceánica (Cooper *et al.*, 2012, 2023; Maletz, 2023c; Štorch *et al.*, 2025, entre otros). Durante mucho tiempo, las vistosas facies de pizarras negras graptolíticas de la región estudiada se interpretaron como depositadas en cuencas anóxicas cerradas, tal vez profundas o, en casos extremos, incluso abisales. Sin embargo, las condiciones anóxicas del fondo pueden darse en contextos mucho más someros, cuando hay estratificación de masas de agua por temperatura y densidad, o bien por su proximidad a áreas de afloramiento (*upwelling*), con gran productividad orgánica. En estas condiciones la materia orgánica, acumulada en exceso en el fondo marino, consume todo el oxígeno en su degradación, generando ambientes anóxicos a disaeróbicos, con ausencia de faunas bentónicas o endobentónicas.

Štorch (1998a) establece tres paleoecosistemas graptolíticos para las facies de pizarras negras del Silúrico de la plataforma perigondwánica en función de la profundidad y la cantidad de nutrientes. El primero de ellos corresponde a las asociaciones acumuladas en las facies de plataforma profunda y talud superior, donde la biodiversidad es moderada a alta y está dominada por formas cosmopolitas, que permiten correlaciones muy precisas a larga distancia. El segundo paleoambiente se sitúa en la plataforma, donde las condiciones anóxicas se generan prácticamente en la interfase sedimento-agua, lo que permite la proliferación de graptolitos pelágicos de diversidad moderada, así como microfósiles nectónicos, nectobentónicos y epibentónicos (euriptéridos, filocáridos, nautiloideos, conodontozoóforos, ostrácodos, bivalvos, braquiópodos, crinoideos). El tercer escenario reúne una asociación de graptolitos epipelágicos de baja biodiversidad, capaces de alcanzar los ambientes bien oxigenados y energéticos de la plataforma somera.

Las dos últimas asociaciones descritas por Štorch (1998a) aparecen representadas en el área de trabajo de este estudio. Los graptolitos del Aeroniense, derivados de los niveles superiores de la Formación Cuarcita del Criadero y unidades equivalentes, corresponden claramente a formas de aguas superficiales que ingresan en la plataforma somera y se hallan dominadas por colonias biseriales de *Normalograptus* y *Rhaphidograptus*, con escasa a nula representación de tubarios uniseriales. La rápida transgresión marina que sigue a la Formación Cuarcita del Criadero favorece la llegada de asociaciones más variadas vinculadas con áreas de *upwelling* que incrementan mucho la productividad en todo el sector, con máximos de biodiversidad para las biozonas de *Spirograptus guerichi* y *Oktavites spiralis* del Telychiense. Aún con todo, las asociaciones de graptolitos son las típicas de plataforma, con rastrítidos, parapetalolítidos, torquigráptidos y *Oktavites* en el Telychiense, y algunos cirtográptidos en el Wenlock. Las fluctuaciones de los niveles de oxígeno cerca del fondo permiten, episódicamente, la instalación de comunidades bentónicas adaptadas a condiciones disaeróbicas (braquiópodos “de papel”, bivalvos de concha fina, ostrácodos y raros trilobites), en tanto que los abundantes restos de cefalópodos y filocáridos neotónicos evidencian ambientes bien oxigenados a cierta distancia del fondo. Tan sólo en la sección del río Jabalón (Corral de Calatrava), se observa, excepcionalmente, la intercalación de niveles lumaquélidos delgados (10-30 cm), de continuidad lateral decamétrica y naturaleza margosa, que se forman en el Sheinwoodiense por la acumulación de conchas de braquiópodos y cornulítidos. No obstante, lo habitual es el desarrollo de medios sapropelíticos con ausencia generalizada de bioturbación, en cuyas condiciones anóxicas influyeron tanto la estratificación de masas de agua dentro de la plataforma, como una elevada productividad orgánica, que consumía todo el oxígeno en la putrefacción de los componentes orgánicos acumulados en el fondo. Es por ello que la presencia de organismos bentónicos como trilobites, bivalvos, macaeridios, cnidarios y ciertos braquiópodos resulta anecdótica, y puede ser debida tanto al transporte de escleritos a larga distancia, como a la adaptación de raras formas a un modo de vida epiplanctónico, tal vez como epizooos de algas flotantes de tipo sargazo (cornulítidos, gasterópodos, algunos braquiópodos).

Las asociaciones graptolíticas de diversidad moderada predominan en la región durante buena parte del Telychiense y Sheinwoodiense, sin que se reconozcan formas propias de ambientes mesopelágicos. Sin embargo, a partir del Sheinwoodiense y, sobre todo, en el Homerense, se produce un retorno a las asociaciones monótonas de aguas superficiales, dominadas por grandes *Pristiograptus*, monográptidos de tecas ganchudas y algunos *Monoclimacis*, que dan paso a una fauna todavía más empobrecida y restringida virtualmente a formas de *Pristiograptus* del grupo *dubius*. En estas condiciones, las únicas referencias bioestratigráficas provienen del registro esporádico de *Cyrtograptus* (en el Wenlock) y de *Saetograptus* (en el Ludlow). El carácter progresivamente más somero de la sedimentación se evidencia por la sustitución de las pizarras negras por otras de tonalidades grisáceas, con abundantes

micras detríticas, que hacia techo van intercalando laminaciones arenosas y horizontes cada vez más espesos de areniscas.

Finalmente, y desde el punto de vista paleobiogeográfico, la región estudiada se situaría en la periferia del macrorcontinente de Gondwana durante el Silúrico, en latitudes que pasaron progresivamente de más elevadas a intermedias (de 60° S a 30° S según Torsvik y Cocks, 2017). El predominio de facies extensivas de areniscas y pizarras negras graptolíticas, depositadas en ambientes de plataforma marina somera en toda la región estudiada, es común a un área más amplia que incluye el suroeste de Europa y parte del norte de África. Este factor, unido al predominio de especies cosmopolitas entre los organismos planctónicos, impide delimitar divisiones paleobiogeográficas menores, que en todo caso se adscriben a la llamada “provincia mediterránea” de graptolitos (Štorch, 1998a).

Consideraciones finales y conclusiones

En este trabajo se analiza la bioestratigrafía de la sucesión silúrica, a partir de los datos proporcionados por los graptolitos de un extenso sector del Macizo Ibérico, que comprende el sector español de la Zona Centroibérica meridional, ubicado al norte de Zona de Cizalla Puente Génave-Castelo de Vide. El estudio en el que se basa (Lorenzo, 2015) abarcó unas 130 secciones y localidades puntuales (que suman más de 380 niveles fosilíferos) repartidas en seis provincias pertenecientes a tres comunidades autónomas: Extremadura (Cáceres, Badajoz), Castilla-La Mancha (Ciudad Real, Toledo) y Andalucía (Córdoba, Jaén). De todas ellas, para el presente trabajo se ha seleccionado una treintena de los lugares con mayor representatividad estratigráfica e interés paleontológico.

El grupo fósil en el que se centraron los estudios fueron los graptolitos, por su preciso potencial para la datación cronoestratigráfica y la correlación bioestratigráfica. Entre los fósiles de invertebrados no graptolitos, tan solo una pequeña parte ha podido ser identificada taxonómicamente y no aporta datos estratigráficos relevantes. Se trata de raros artrópodos como euríptéridos, filocáridos, ostrácodos y trilobites; moluscos (cefalópodos, gasterópodos y bivalvos), braquiópodos (rinconeliformes y linguliformes), equinodermos (osículos de crinoideos), cnidarios, anélidos (macaeridios), cornulítidos, conodontos e icnofósiles. Con excepción de los graptolitos y otros organismos pelágicos como los cefalópodos, la proporción de restos de otros grupos es muy minoritaria en las ubicuas facies de pizarras negras graptolíticas. El ambiente de depósito de estas facies suele corresponder a medios euxínicos, siendo este carácter independiente de la profundidad (Štorch, 1998a; Finney *et al.*, 2007; Boucot y Chen, 2009). La anoxia estaría vinculada a la presencia de masas de agua estratificada y a fenómenos de sobreabundancia de materia orgánica (“blooms” de microplancton), cuya putrefacción provoca el déficit de oxígeno que, entre otros efectos, impide la vida bentónica.

El estudio taxonómico de los graptolitos ha revelado la presencia, en la zona de estudio, de más de cien especies pertenecientes, al menos, a treinta y dos géneros. El análisis

de la bibliografía regional, combinado con la revisión de las localidades fosilíferas previamente descritas, ha permitido descartar varias decenas de taxones mencionados por autores previos en el conjunto de la región surcentroibérica.

Desde el punto de vista bioestratigráfico, se ha caracterizado una sola biozona del Aeroniense (la de *Lituigraptus convolutus*), dado que los materiales pre-telychienses se desarrollan en facies casi exclusivamente arenosas. Las pizarras negras que le suceden contienen abundantes asociaciones de graptolitos del Telychiense, abarcando las biozonas de *Spirograptus guerichi* (con sus tres subzonas de *Paradiversograptus runcinatus-Monograptus gemmatus*, *Parapetalolithus palmeus* y *Parapetalolithus hispanicus*), *Spirograptus turriculatus*, *Streptograptus crispus*, *Monoclimacis griestoniensis*, *Torquigraptus tullbergi*, *Oktavites spiralis* y *Cyrtograptus lapworthi*. En las pizarras negras del Sheinwoodiense se reconocen las biozonas de *Cyrtograptus purchisoni*, *Monograptus riccartonensis*, *Pristiograptus dubius*, *Cyrtograptus rigidus-Monograptus belophorus* y *Cyrtograptus perneri-Cyrtograptus ramosus*. Finalmente, el Homeriense y el Ludfordiense se hallan representados, respectivamente, por las biozonas de *Cyrtograptus lundgreni* y de *Saetograptus leintwardinensis*(?) que corresponden, respectivamente, al final del depósito de las sapropelitas negras (diacrónico en el área estudiada) y a una intercalación puntual de estas litologías en las alternancias arenosas de la parte alta de la sucesión.

Teniendo en cuenta el número de registros de las biozonas en la mayoría de las secciones estudiadas, cabe destacar que, durante el Llandovery, las biozonas de *Oktavites spiralis* y *Torquigraptus tullbergi* son las que alcanzan una mayor dispersión y diversidad de especies; de manera análoga en el Wenlock con la Biozona de *Cyrtograptus perneri-Cyrtograptus ramosus* ocurre lo mismo.

El reconocimiento de quince biozonas y tres subzonas de graptolitos facilita la correlación directa del Silúrico surcentroibérico con el esquema bioestratigráfico del ámbito peri-Gondwánico, tipificado por la sucesión del sinforme de Praga (Štorch, 2023). La única excepción la constituye la biozona basal del Telychiense, que en Bohemia muestra facies desfavorables para graptolitos en su parte inferior (Biozona de *Rastines linnaei*, aquí reemplazada por la Biozona global de *Spirograptus guerichi*).

Agradecimientos y financiación

A Carlos Alonso (Universidad Complutense de Madrid), por las fotografías de graptolitos, y a los revisores científicos Dres. Rodolfo Gozalo (Universitat de València) y Fernando E. López (CONICET-Universidad Nacional de San Juan). El presente estudio ha sido financiado, en su última fase, por el proyecto PDI2021-125585NB-I00 del Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades – Agencia Estatal de Investigación y es también una contribución al programa de investigación científica en los Geoparques mundiales de la UNESCO Volcanes de Calatrava y Villuercas-Ibores-Jara.

Contribución de autores

Los dos autores han contribuido de manera equitativa

al texto y a la producción del manuscrito. SL realizó las figuras.

Referencias

- Alía Medina, M., Capote, R., Hernández Enrile, J.L., 1971. Rasgos geológicos y tectónicos de la Sierra Morena oriental y sus estribaciones meridionales en la transversal de Moral de Calatrava (Ciudad Real) a Villanueva del Arzobispo (Jaén). 1º Congreso Hispano-Luso-Americano de Geología Económica, Madrid, 1: 3-15.
- Almela, A., 1959. Esquema geológico de la zona de Almadén (Ciudad Real). Boletín del Instituto Geológico y Minero de España, 70: 315-330.
- Almela, A., Febrel, T., 1960. La roca fraileasca de Almadén, un episodio tobáceo en una formación basáltica del Siluriano superior. Notas y Comunicaciones del Instituto Geológico y Minero de España, 59: 41-72.
- Almela, A., Alvarado, M., Coma, J., Felgueroso, C., Quintero, I., 1962. Estudio geológico de la región de Almadén. Boletín del Instituto Geológico y Minero de España, 73: 195-327.
- Arbey, F., Tamain, G., 1971. Existence d'une glaciation siluro-ordovicienne en Sierra Morena (Espagne). Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris, Série D, 177: 1291-1294.
- Ballestra, G., Becker-Wahl, C., Germann, A., Höfges, J., Hoffmann, M., Kumpa, M., Marker, A., Neidhöfer, R., Ruth, H.G., Schilling, E., Wilcke, J., Walter, R., 1982. La geología del Sinclinal de Guadarranque. (Contribuciones al conocimiento del Precámbrico y Paleozoico Inferior de los Montes de Guadalupe, España Central, III). Münstersche Forschungen zur Geologie und Paläontologie, 56: 45-68.
- Bernaldez, F., Rúa Figueroa, R., 1861. Memoria sobre las minas de Almadén y Almadenejos. Madrid, Imprenta Nacional, 325 p.
- Bernárdez, E., Colmenar, J., Gutiérrez-Marco, J.C., Rábano, I., Zamora, S., 2014. New peri-Gondwanan records of the Hirnantia Fauna in the latest Ordovician of Spain. En: Gondwana 15 North meets South, Abstracts Book, (R.J. Pankhurst, P. Castiñeiras, S. Sánchez Martínez, Eds.). Instituto Geológico y Minero de España, Madrid, 15.
- Blachère, H., 1978. Etude géologique et minière de la région de Chillón-El Borracho (synclinal d'Almadén). Ciudad Real/Espagne. Thèse 3ème cycle, Univ. Paris-Sud, Orsay, 163 p.
- Bochmann, H.G., 1956. Stratigraphie und Tektonik der zentralen Extremadura im Bereich von Cáceres und der östlichen Sierra de San Pedro (Spanien). Dissertation der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster, 195 p. (Inéd.). [Resúmenes publicados en: Münstersche Forschungen zur Geologie und Paläontologie, (Walter, Ed., 1977). 42: 10-13, Anlage 3 y en: Franz Lotze (1903-1971). The doctoral theses of his students in Spain and Portugal. Abridged versions, (J.F. von Raumer, Ed., 2008). Instituto Universitario de Geología "Isidro Parga Pondal". O Castro, serie Nova Terra, 36:53-56].
- Boucot, A.J., Chen, X., 2009. Fossil plankton depth zones. Palaeoworld, 18: 213-234. <https://doi.org/10.1016/j.palwor.2009.05.002>
- Butenweg, P., 1968. Geologische Untersuchungen im Ostteil der Sierra Morena nordöstlich von La Carolina. (Prov. Jaén, Spanien). Münstersche Forschungen zur Geologie und Paläontologie, 6, 126 p.
- Butenweg, P., 2008. Geological investigations in the eastern Sierra Morena northeast of La Carolina (Prov. Jaén, Spain) – a summary. En: Franz Lotze (1903-1971). The doctoral theses of his students in Spain and Portugal. Abridged versions, (J.F.

- von Raumer, Ed.). Instituto Universitario de Geología "Isidro Parga Pondal". O Castro, serie Nova Terra, 36: 57-61.
- Capote del Villar, R., Hernández Enrile, J.L., 1969. Estudio geológico de la región Santa Cruz de Mudela-Despeñaperros. Memoria Inédita, Junta de Energía Nuclear, Madrid, 89 p.
- Carballeira, J., Pol, C., Duque, J., 1985. Tempestitas del Ordovícico Superior en el sinclinal de Cañaveral (Cáceres). Trabajos de Geología, Oviedo, 15: 87-97.
- Charpentier, J.L., 1976. Géologie et Métallogénie de la Sierra Carolina (Jaén, Espagne). Thèse 3ème cycle, Univ. Paris-Sud, Orsay, 156 p.
- Ciry, G., 1936. Contribution a l'étude géologique de la région d'Almadén. Boletín de la Sociedad Española de Historia Natural, 36: 295-300.
- Cohen, K., Harper, D., Gibbard, P., Car, N., 2025. The international stratigraphic chart this decade. Episodes, 48 (1): 105-115. <https://doi.org/10.18814/epiiugs/2025/025001>
- Comba, J.A. (Coord.), 1983. Libro Jubilar José María Ríos. Geología de España, Tomo 1. IGME, Madrid, 656 p.
- Cooper, R.A., Rigby, S., Loydell, D.K., Bates, D.E.B., 2012. Paleocology of the Graptoloidea. Earth-Science Reviews, 112: 23-41. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2012.01.001>
- Cooper, R.A., Rigby, S., Bates, D.E.B., Maletz, J., 2023. Paleocology of the Pterobranchia (Cephalodiscida and Graptolithina). En: Treatise on Invertebrate Paleontology, Part V, Hemichordata, Second Revision, including Enteropneusta, Pterobranchia (Graptolithina), (P.A. Selden, W.I. Ausich, Eds. y J. Maletz, Coord). The University of Kansas, Paleontological Institute, Lawrence, Kansas, 548 p.
- Corretgé, L.G., García de Figuerola, L.C., 1971. Rasgos geológicos de la región comprendida entre el sinclinal de Cañaveral y la Sierra de San Pedro (Cáceres). I Congreso Hispano-Luso-Americano de Geología Económica, Madrid, 1: 183-195.
- Corretgé, L.G., Suárez, O., Tena-Dávila, M., 1982. Los granitos, rocas volcánicas y rocas volcanoclásticas del sinclinal de Cáceres. Trabajos de Geología, Univ. de Oviedo, 12: 251-271.
- Cortázar, D., 1880. Reseña física y geológica de la provincia de Ciudad Real. Boletín de la Comisión del Mapa Geológico de España, 7: 289-330.
- Cramer, B.D., Brett, C.E., Melchin, M.J., Männik, P., Kleffner, M.A., McLaughlin, P.I., Loydell, D.K., Munnecke, A., Jeppson, L., Corradini, C., Brunton, F.R., Saltzman, M.R., 2011. Revised correlation of Silurian Provincial Series of North America with global and regional chronostratigraphic units and $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ chemostratigraphy. Lethaia, 44: 185-202. <https://doi.org/10.1111/j.1502-3931.2010.00234.x>
- Dallmeyer, R.D., Martínez García, E. (Eds.), 1990. Pre-Mesozoic Geology of Iberia. Berlin, Springer-Verlag, 416 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-83980-1>
- Díez Balda, M.A., Vegas, R., González-Lodeiro, F., 1990. Central-Iberian Zone. Autochthonous sequences. Structure. En: Pre-Mesozoic Geology of Iberia, (R.D. Dallmeyer y E. Martínez-García, Eds.). Springer-Verlag, 172-188. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-83980-1>
- Egozcue, J., Mallada, L., 1876. Memoria geológico-minera de la provincia de Cáceres. Memorias de la Comisión del Mapa Geológico de España, 4, 368 p.
- Finney, S.C., Berry, W.B.N., Cooper, J.D., 2007. The influence of denitrifying seawater on graptolite extinction and diversification during the Hirnantian (latest Ordovician) mass extinction event. Lethaia, 40: 281-291. <https://doi.org/10.1111/j.1502-3931.2007.00027.x>
- Gallardo Millán, J.L., Higuera, P., Molina, J.M., 1994. Análisis estratigráfico de la "Cuarcita de Criadero" en el Sinclinal de Almadén. Boletín Geológico y Minero de España, 105: 135-145.
- García Palacios, A., Rábano, I., 1996. Hallazgo de trilobites en pizarras negras graptolíticas del Silúrico inferior (Telychiense, Llandovery) de la Zona Centrobérica (España). Geogaceta, 20 (1): 239-241.
- García Palacios, A., Gutiérrez-Marco, J.C., Herranz Araújo, P., 1996a. Edad y correlación de la "Cuarcita de Criadero" y otras unidades cuarcíticas del límite Ordovícico-Silúrico en la Zona Centrobérica meridional (España y Portugal). Geogaceta, 20 (1): 19-22.
- García Palacios, A., Štorch, P., Gutiérrez-Marco, J.C., 1996b. Graptolite biostratigraphy of Silurian black shales near Corral de Calatrava (Central Iberian Zone, Spain). The James Hall Symposium: Second International Symposium on the Silurian System, Rochester. Program and Abstracts, 54.
- Gibbons, W., Moreno, T. (Eds.), 2002. The Geology of Spain. Geological Society of London, 632 p. <https://doi.org/10.1144/GOSP>
- Gil Cid, M.D., Gutiérrez Elorza, M., Romariz, C., Vegas, R., 1976. El Ordovícico y Silúrico del sinclinal de Guadarranque-Gualija (Prov. de Cáceres, España). Comunicações dos Serviços Geológicos de Portugal, 60: 17-29.
- Gómez de Larena, M., 1916. Bosquejo Geográfico-Geológico de los Montes de Toledo. Trabajos del Museo Nacional de Ciencias Naturales (Geología), 15, 74 p.
- Gonzalo y Tarín, J., 1879. Reseña físico-geológica de la provincia de Badajoz. Boletín de la Comisión del Mapa Geológico de España, 6: 389-412.
- Groth, J., 1911. Sur le Primaire de la Sierra Morena. Comptes Rendus de l'Académie des Sciences (Paris), 150: 231-232.
- Gumiel P., Campos, R., Monteserín, V., 1998. Mapa Geológico y de Recursos Minerales del Sector Central de Extremadura (a escala 1:100.000). Junta de Extremadura, Mérida, 99 p.
- Gumiel, P., Campos, R., Monteserín, V., Bellido, F., Quesada, C., Lombardero, M., 2002. Mapa Geológico y de Recursos Minerales del Sector Centro-Occidental de Extremadura (escala 1:100.000). Junta de Extremadura, Mérida, 140 p.
- Gumiel, P., Campos, R., Segura, M., Monteserín, V., 2003. Guía Geológica del Parque Natural de Monfragüe. Consejería de Agricultura y Medio Ambiente, Junta de Extremadura, Mérida, 94 p.
- Gumiel, P., Arias, M., Monteserín, V., Segura, M., 2010. Modelo geológico 3D de la estructura en sinforme de Monfragüe: un valor añadido al patrimonio geológico del parque Nacional. Boletín Geológico y Minero, 121 (1): 15-28.
- Gutiérrez-Marco, J.C., Pineda Velasco, A., 1988. Datos biostratigráficos sobre los materiales silúricos del subsuelo de El Centenillo (Jaén). Comunicaciones del II Congreso Geológico de España, Granada, 1: 91-94.
- Gutiérrez-Marco, J.C., Štorch, P., 1998. Graptolite biostratigraphy of the Lower Silurian (Llandovery) shelf deposits of the Western Iberian Cordillera, Spain. Geological Magazine, 135 (1): 71-92. <https://doi.org/10.1017/S0016756897007802>
- Gutiérrez-Marco, J.C., San José, M.A., Pieren, A., 1990. Chapter IV, 2.1.3: Post-Cambrian Palaeozoic Stratigraphy, Central Iberian Zone. En: Pre-Mesozoic Geology of Iberia, (R.D. Dallmeyer y E. Martínez García, Eds.). Springer Verlag, Berlín, 160-171.
- Gutiérrez-Marco, J.C., Porro Mayo, T., Herranz Araújo, P., Pieren Pidal, A., 1997. Dos nuevos yacimientos con graptolitos silúricos en la región de Alange (Badajoz). Geogaceta, 21: 131-133.
- Gutiérrez-Marco, J.C., Robardet, M., Piçarra, J.M., 1998. Silu-

- rian Stratigraphy and Paleogeography of the Iberian Peninsula (Spain and Portugal). En: Proceedings Sixth International Graptolite Conference & 1998 Field Meeting of the IUGS Subcommission on Silurian Stratigraphy, (J.C. Gutiérrez-Marco y I. Rábano, Eds.). *Temas Geológico-Mineros ITGE*, 23: 13-44.
- Gutiérrez-Marco, J.C., Rábano, I., Sarmiento, G.N., Robardet, M., 2001. Fósiles del Silúrico español. Memorias de las VII Jornadas Aragonesas de Paleontología. "La Era Paleozoica. El Desarrollo de la Vida Marina". Institución "Fernando El Católico" (Excma. Diputación de Zaragoza), 95-123.
- Gutiérrez-Marco, J.C., Robardet, M., Rábano, I., Sarmiento, G.N., San José Lancha, M.A., Herranz Araújo, P., Pieren Pidal, A.P., 2002. Chapter 4, Ordovician. En: *The Geology of Spain*, (W. Gibbons and T. Moreno, Eds.). The Geological Society, London, 31-49. <https://doi.org/10.1144/GOSP>
- Gutiérrez-Marco, J.C., Rábano, I., Lorenzo, S., 2012. El patrimonio paleontológico del Paleozoico marino de la región de Almadén (Ciudad Real). *De Re Metallica*, 19: 27-42.
- Gutiérrez-Marco, J.C., Lorenzo, S., Piçarra, J.M., 2014. Graptolitos con conservación tridimensional en el Silúrico centroibérico. En: *Yacimientos excepcionales de fósiles ibéricos. Libro Homenaje al Dr. Antonio Perejón Rincón*, (J.A. Gámez Vintaned, Ed.). Memorias de la Real Sociedad Española de Historia Natural, 2ª ép., 12: 63-72.
- Gutiérrez-Marco, J.C., Piçarra, J.M., Meireles, C.A., Cózar, P., García-Bellido, D.C., Pereira, Z., Vaz, N., Pereira, S., Lopes, G., Oliveira, J.T., Quesada, C., Zamora, S., Esteve, J., Colmenar, J., Bernárdez, E., Coronado, I., Lorenzo, S., Sá, A.A., Dias da Silva, Í., González Clavijo, E., Díez Montes, A., Gómez Barreiro, J., 2019. Early Ordovician-Devonian passive margin stage in the Gondwanan units of the Iberian Massif. Chapter 3 En: *The Geology of Iberia: a Geodynamic Approach*. Vol. 2, The Variscan Cycle, (C. Quesada y J.T. Oliveira, Eds. y J.F. Simancas, Coord.). *Regional Geology Reviews*, 75. Springer Nature Switzerland AG, Basel, 75-98. https://doi.org/10.1007/978-3-030-10519-8_3
- Gutiérrez-Marco, J.C., Loydell, D.K., Štorch, P., 2021. The Silurian section of the Valle syncline (Sierra Norte de Sevilla UNESCO Global Geopark, Spain) as an international standard for graptolite biostratigraphy. En: *Paleontological Heritage and Geoconservation in the European UNESCO Geoparks*, (D.A. Grigorescu, Ed.). *Geoconservation Research*, 4 (1): 131-135. <https://doi.org/10.30486/gcr.2020.1908691.1032>
- Gutiérrez-Marco, J.C., Loydell, D.K., Štorch, P., Frýda, J., 2024a. El Pintado (Geoparque Mundial de la UNESCO Sierra Morena de Sevilla), séptimo Estratotipo Global de Límite ubicado en España y primero de Andalucía (GSSP Telychiense, Llandovery: Sistema Silúrico). *Geogaceta*, 76: 3-6. <https://doi.org/10.55407/geogaceta104708>
- Gutiérrez-Marco, J.C., Romero, S., Pereira, S., Štorch, P., 2024b. The Ordovician-Silurian boundary beds in the El Pintado section (Sierra Morena de Sevilla Global UNESCO Geopark, SW Spain). *Geologica Balcanica*, 53 (3): 37-43. <https://doi.org/10.52321/GeolBalc.53.3.37>
- Haberfelner, E., 1931. Eine Revision der Graptoliten der Sierra Morena (Spanien). *Abhandlungen der Senckenbergischen Naturforschenden Gesellschaft*, 43: 19-66. [Traducido al español por B. Meléndez y M.R. Fernández en 1952: Revisión de los graptolitos de Sierra Morena. *Publicaciones Extranjeras sobre Geología de España*, 6: 41-105].
- Hafenrichter, M., 1979. Paläontologisch-ökologische und lithofazielle Untersuchungen des "Ashgill-Kalkes" (Jungordovizium) in Spanien. *Arbeiten der Paläontologisches Institut Würzburg*, 3, 139 p.
- Hafenrichter, M., 1980. The lower and upper boundary of the Ordovician system of some selected regions (Celtiberia, Eastern Ossa-Morena) in Spain. Part II: "The Ordovician-Silurian boundary in Spain". *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Abhandlungen*, 160 (1): 138-148. <https://doi.org/10.1127/njgpa/160/1980/138>
- Henke, W., 1926. Beitrag zur Geologie der Sierra Morena nördlich von La Carolina (Jaén). Mit einer Palaeontologisch-stratigraphischer Beitrag von A. Born. *Abhandlungen der senckenbergischen naturforschenden Gesellschaft*, 39 (2): 199-204. [Traducido al español por B. Meléndez y M.R. Fernández en 1953: Aportación a la geología de Sierra Morena en la parte norte de "La Carolina" (Jaén). Con un informe paleontológico-estratigráfico por A. Born. *Publicaciones Extranjeras sobre Geología de España*, 7 (2): 71-99].
- Henke, W., Hundt, R., 1926. Bericht über einige Graptolithenfunde in der Sierra Morena. *Abhandlungen der senckenbergischen naturforschenden Gesellschaft*, 39 (2): 205-213. [Traducido al español por B. Meléndez y M.R. Fernández en 1952: Informe sobre algunos hallazgos de graptolitos en Sierra Morena. *Publicaciones Extranjeras sobre Geología de España*, 6: 27-39].
- Hernández-Sampelayo, P., 1926. Yacimientos de graptolitos en la zona de Almadén. *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural*, 26 (8): 435-438.
- Hernández-Sampelayo, P., 1942. Explicación del Nuevo Mapa Geológico de España, Tomo II. El Sistema Siluriano. *Memorias del Instituto Geológico y Minero de España*, 45: 1-592 (fascículo 1), 595-848 (fascículo 2).
- Hernández-Sampelayo, P., 1960. Graptolitos españoles (Recopilado por Rafael Fernández Rubio). *Notas y Comunicaciones del Instituto Geológico y Minero de España*, 57: 3-78.
- Jaeger, H., 1991. Neue Standard-Graptolithenzonefolge nach der 'Grossen Krise' an der Wenlock/Ludlow-Grenze (Silur). *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Abhandlungen*, 182: 303-354. <https://doi.org/10.1127/njgpa/182/1991/303>
- Jones, H., Zalasiewicz, J., Rickards, B., 2002. Clingfilm preservation of spiraliform graptolites: Evidence of organically sealed Silurian seafloors. *Geology*, 30: 343-346. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(2002\)030<3C0343:CPOSGE>3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(2002)030<3C0343:CPOSGE>3E2.0.CO;2)
- Julivert, M., Truyols, J., 1974. Nuevos datos sobre el Ordovícico del sinclinal de Guadarranque (Cáceres). *Breviora Geologica Asturica*, 18 (4): 57-61.
- Julivert, M., Fontboté, J.M., Ribeiro, A., Conde, L., 1980. Mapa Tectónico de la Península Ibérica y Baleares (Memoria). Instituto Geológico y Minero de España, Madrid. 113 p.
- Kappes, A., 1991. Erläuterungen zur Geologischen Kartierung des Gebietes N' Corral de Calatrava in der östlichen Sierra Morena (Zentral-Spanien). *Diplomarbeit, Universität Würzburg*, 144 p. (Inéd.).
- Kelch, H.J., 1957. Stratigraphie und Tektonik der zentralen Extremadura im Bereich der westlichen Sierra de San Pedro, Spanien. *Dissertation der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster*, 116 p. (Inéd.). [Resúmenes publicados en: *Münstersche Forschungen zur Geologie und Paläontologie*, (Walter, Ed., 1977). 42: 6-9, Anlage 2 y en: *Franz Lotze (1903-1971). The doctoral theses of his students in Spain and Portugal. Abridged versions*, (J.F. von Raumer, Ed., 2008). Instituto Universitario de Geología "Isidro Parga Pondal". O Castro, serie Nova Terra, 36: 67-72].
- Kettel, D., 1968. Zur Geologie der östlichen Sierra Morena im

- Grenzbereich der Provinzen Jaén, Ciudad Real und Albacete (Spanien). Münstersche Forschungen zur Geologie und Paläontologie, 8: 1-159.
- Kindelán, J.A., 1955. Nota sobre la diferenciación del Ordoviciense de los Montes de Toledo. Notas y Comunicaciones del Instituto Geológico y Minero de España, 37: 93-109.
- Kindelán, J., Cantos, J., Hernández-Pacheco, F., 1949. Mapa y Explicación de la Hoja N° 704 (Cáceres) del Mapa Geológico de España a escala 1:50.000 (Primera Serie). Instituto Geológico y Minero de España, Madrid, 68 p.
- Koren, T.N., Lenz, A.C., Loydell, D.K., Melchin, M.J., Štorch, P., Teller, L., 1996. Generalized graptolite zonal sequence defining Silurian time intervals for global palaeogeographic studies. *Lethaia*, 29: 59-60. <https://doi.org/10.1111/j.1502-3931.1996.tb01837.x>
- Kříž, J., 2005. Telychian (Llandovery, Silurian) Bivalves from Spain. *Palaeontology*, 48 (3): 455-477. <https://doi.org/10.1111/j.1475-4983.2005.00474.x>
- Kříž, J., Degardin, J.M., Ferretti, A., Hansch, W., Gutiérrez-Marco, J.C., Paris, F., Piçarra d'Almeida, J.M., Robardet, M., Schönlaub, H.P., Serpagli, E., 2003. Silurian stratigraphy and paleogeography of Gondwanan and Peruvian Europe. En: *Silurian lands and seas. Paleogeography outside of Laurentia*, (E. Landing y M.E. Johnson, Eds.). New York State Museum Bulletin, 493: 105-178.
- Kuss, H., 1878. Mémoire sur les Mines et Usines d'Almaden. *Annales des Mines* (7ª serie), 13: 39-151.
- Lauret, J., 1974. Recherches géologiques et minières dans la région d'Almaden-Almadenejos (Espagne). Inédit. Thèse 3ème cycle, Univ. Paris-Sud, Orsay, 149 p.
- Lenz, A.C., Bates, D.E.B., Kozłowska, A., Maletz, J., 2023. Family Retiolitidae. En: *Treatise on Invertebrate Paleontology, Part V, Hemichordata, Second Revision, including Enteropneusta, Pterobranchia (Graptolithina)*, (P.A. Selden y W.I. Ausich, Eds. y J. Maletz, Coord.). The University of Kansas, Paleontological Institute, Lawrence, Kansas, 387-417.
- Le Play, M.F., 1834. Observations sur l'Estramadure et le nord d'Andalousie, et essai d'une carte géologique de cette contrée. *Annales des Mines*, 3ª serie 5: 175-236.
- López Díaz, F., 1991. Características de la primera fase (distensiva) hercínica en la Sierra de San Pedro (Cáceres-Badajoz). *Cuadernos do Laboratorio Xeolóxico de Laxe*, 16: 53-63.
- Lorenzo, S., 2015. Bioestratigrafía del Silúrico de la Zona Centroibérica meridional (España). Tesis Doctoral, Univ. Complutense de Madrid, 605 p. (inédito)
- Lorenzo, S., Gutiérrez-Marco, J.C., 2009. Occurrence and 3D-preservation of Llandovery graptolites in the Criadero Quartzite of the Almadén mining district (Spain). En: *Time and life in the Silurian: a multidisciplinary approach*, (M.G. Corrigan y S. Piras, Eds.). *Rendiconti della Società Paleontologica Italiana*, 3 (3): 311-312.
- Lorenzo, S., Gutiérrez-Marco, J.C., 2016. Las Reales Minas de Almadén (Ciudad Real) en la historia de la Geología y Paleontología españolas. *Geotemas*, 16 (2): 255-258. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.19444.55680>
- Lorenzo, S., Gutiérrez-Marco, J.C., 2024. El registro de filocáridos (Arthropoda, Malacostraca) en el Silúrico del centro-sur-oeste de la península Ibérica. En: *Libro de Resúmenes 39 Jornadas de la Sociedad Española de Paleontología*, (B. Moncunill-Solé, A. Blanco, A. Grandal d'Anglade, G. González-Fortes, L. Santos Fidalgo, R. Bao, Eds.). A Coruña. *Palaeontological Publications*, 5: 60.
- Lorenzo, S., Gutiérrez-Marco, J.C., Rábano, I., 2009. Silurian geoheritage of the Almadén Mining Park (central Spain). En: *Time and life in the Silurian: a multidisciplinary approach*, (M.G. Corrigan y S. Piras, Eds.). *Rendiconti della Società Paleontologica Italiana*, 3 (3): 313-314.
- Lorenzo, S., Gutiérrez-Marco, J.C., Perrier, V., Serventi, P., 2020. Yacimientos paleontológicos del Silúrico superior de Hinojosa del Duque (provincia de Córdoba, Dominio de Obispo-Valsequillo, suroeste de España). *Geogaceta*, 67: 75-78.
- Loydell, D. K., 1994. Early Telychian changes in graptolite diversity and sea level. *Geological Journal*, 29: 355-368. <https://doi.org/10.1002/gj.3350290404>
- Loydell, D.K., 2012. Graptolite biozone correlation charts. *Geological Magazine*, 149 (1): 124-132. <https://doi.org/10.1017/S0016756811000513>
- Loydell, D.K., Manning, P., Nestor, V., 2003. Integrated biostratigraphy of the lower Silurian of the Aizpute-41 core, Latvia. *Geological Magazine*, 140: 205-229. <https://doi.org/10.1017/S0016756802007264>
- Loydell, D.K., Sarmiento, G.N., Štorch, P., Gutiérrez-Marco, J.C., 2009. Graptolite and conodont biostratigraphy of the upper Telychian-lower Sheinwoodian (Llandovery-Wenlock) strata, Jabalón river section, Corral de Calatrava, central Spain. *Geological Magazine*, 146: 187-198. <https://doi.org/10.1017/S0016756808005840>
- Loydell, D.K., Frýda, J., Gutiérrez-Marco, J.C., 2015. The Aeronian/Telychian (Llandovery, Silurian) boundary, with particular reference to sections around the El Pintado reservoir, Seville Province, Spain. *Bulletin of Geosciences*, 90 (4): 743-794. <https://doi.org/10.3140/bull.geosci.1564>
- Loydell, D.K., Gutiérrez-Marco, J.C., Štorch, P., 2023. The Sommerodde (Telychian, Silurian) positive carbon isotope excursion: why is its magnitude so variable?. *Journal of the Geological Society*, 180 (5), 11 p. <https://doi.org/10.1144/jgs2023-037>
- Loydell, D.K., Gutiérrez-Marco, J.C., Štorch, P., Frýda, J., 2025. The replacement Global Stratotype Section and Point (GSSP) of the Telychian Stage of the Llandovery Series, Silurian System, at El Pintado, Spain. *Episodes*, 48 (2): 199-211. <https://doi.org/10.18814/epiiugs/2025/025009>
- Lozac'h, Y., Vidal, M., 1976. Etude géologique de la terminaison occidentale de la vallée de l'Alcudia, province de Badajoz. Espagne. Thèse 3ème cycle, Univ. Paris-Sud, Orsay, 160 p. (Inédito).
- Machens, E., 1954. Stratigraphie und Tektonik der südöstlichen Iberischen Meseta im Bereich des oberen Guadiana. Dissertation der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster, 173 p. (Inédito). [Resúmenes publicados en: *Münstersche Forschungen zur Geologie und Paläontologie*, (Walter, Ed., 1977). 42: 37-39, Anlage 12 y en: Franz Lotze (1903-1971). The doctoral theses of his students in Spain and Portugal. Abridged versions, (J.F. von Raumer, Ed., 2008). Instituto Universitario de Geología "Isidro Parga Pondal". O Castro, serie Nova Terra, 36: 81-84].
- Malaise, C., 1897. Découverte de graptolithes à Almaden, province de Ciudad-Real, Espagne. *Bulletin de la Société Géologique de Belgique*, 24: 26.
- Maletz, J., 2023a. Biostratigraphy. En: *Treatise on Invertebrate Paleontology, Part V, Hemichordata, Second Revision, including Enteropneusta, Pterobranchia (Graptolithina)*, (P.A. Selden y W.I. Ausich, Eds. y J. Maletz, Coord.). The University of Kansas, Paleontological Institute, Lawrence, Kansas, 103-117.
- Maletz, J., 2023b. Infraorder Neograptina. En: *Treatise on Invertebrate Paleontology, Part V, Hemichordata, Second Revision, including Enteropneusta, Pterobranchia (Graptolithina)*, (P.A. Selden y W.I. Ausich, Eds. y J. Maletz, Coord.). The

- University of Kansas, Paleontological Institute, Lawrence, Kansas, 367-379.
- Maletz, J., 2023c. Graptolites – survival in the palaeozoic seas. *Historical Biology*, 36 (9): 1804-1814. <https://doi.org/10.1080/08912963.2023.2231975>
- Maletz, J., Loydell, D.K., 2023. Family Monograptidae. En: *Treatise on Invertebrate Paleontology, Part V, Hemichordata, Second Revision, including Enteropneusta, Pterobranchia (Graptolithina)*, (P.A. Selden y W.I Ausich, Eds. y J. Maletz, Coord.). The University of Kansas, Paleontological Institute, Lawrence, Kansas, 427-459.
- Mallada, L., 1875a. Sinopsis de las especies fósiles que se han encontrado en España. Introducción. *Terreno Paleozoico. Boletín de la Comisión del Mapa Geológico de España*, 2: 1-160.
- Mallada, L., 1875b. Notas sobre la composición geológica de la provincia de Cáceres. *Anales de la Sociedad Española de Historia Natural*, 2 (Actas): 91-98.
- Mallada, L., 1884. Reconocimiento geológico de la provincia de Jaén. *Boletín de la Comisión del Mapa Geológico de España*, 11: 1-55.
- Manda, S., Slavík, L., Štorch, P., Tasáryová, Z., Čáp, P., 2023. Division of the Přidolí Series in Central Bohemia: graptolite and conodont biostratigraphy, faunal changes, and geochemical record. *Newsletters on Stratigraphy*, 56 (1): 89-123. <https://dx.doi.org/10.1127/nos/2022/0695>
- Márquez Triguero, E., 1961. Estratigrafía del Paleozoico en la región del río Guadalmez: aportación a la geología de Sierra Morena en la parte norte del Valle de los Pedroches. *Estudios Geológicos*, 17: 187-201.
- Martín Parra, L.M., González Lodeiro, F., Martínez Poyatos, D., Matas, J., 2006. The Puente Génave-Castelo de Vide Shear Zone (southern Central Iberian Zone, Iberian Massif): geometry, kinematics and regional implications. *Bulletin de la Société Géologique de France*, 177 (4): 191-202. <https://doi.org/10.2113/gssgfbull.177.4.191>
- Martínez Catalán, J.R., Martínez Poyatos, D., Bea, F., 2004. Zona Centroibérica. Introducción. En: *Geología de España*, (J.A. Vera, Ed.). Sociedad Geológica de España e Instituto Geológico y Minero de España, Madrid, 68-69.
- Martínez Poyatos, D.J., 2002. Estructura del borde meridional de la Zona Centroibérica y su relación con el contacto entre las zonas Centroibérica y de Ossa-Morena. *Ediciós do Castro, A Coruña, serie Nova Terra*, 18, 295 p. <https://hdl.handle.net/10481/28660>
- Martínez Poyatos, D., Díez Balda, M.A., Mavaya, J., González Lodeiro, F., Martínez Catalán, J.R., Vegas, R., 2004a. El acortamiento varisco inicial (Dominio del Complejo Esquisto-grauváquico, Estructura). En: *Geología de España*, (J.A. Vera, Ed.). Sociedad Geológica de España-Instituto Geológico y Minero de España, Madrid, 84-87.
- Martínez Poyatos, D., Gutiérrez-Marco, J.C., Pardo Alonso, M.V., Rábano, I., Sarmiento G., 2004b. La secuencia paleozoica postcámbrica (Dominio del Complejo Esquisto-grauváquico, Estratigrafía). En: *Geología de España*, (J.A. Vera, Ed.). Sociedad Geológica de España e Instituto Geológico y Minero de España, Madrid, 81-83.
- Melchin, M.J., Sadler, P.M., Cramer, B.D., 2020. The Silurian Period. En: *Geologic Time Scale 2020*, vol. 2, (F.M. Gradstein, J.G. Ogg y A.G. Smith, Eds.). Elsevier, Amsterdam, 695-732. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824360-2.00021-8>
- Menéndez, S., Rábano, I., 2010. Fósiles de Extremadura en la colección paleontológica histórica del Museo Geominero (Instituto Geológico y Minero de España, Madrid): catálogo y puesta en valor. *Boletín Geológico y Minero*, 121 (2): 169-178.
- Palacios Medrano, T., Jensen, S., Eguiluz, L., Apalategui, O., Martí Mus, M., Martínez-Torres, L.M., Carracedo, M., Gil Ibarra, J.I., Sarrioniandia, F., Lobo, P.J., Junguutu, I., 2010. Mapa y memoria del Mapa Geológico de Extremadura a escala 1:250.000. *Consejería de Industria, Energía y Medio Ambiente, Junta de Extremadura. Mérida*, 218 p.
- Palero Fernández, F., 1991. Evolución geotectónica y yacimientos minerales de la región del valle de Alcuña (Sector Meridional de la Zona Centroibérica). Tesis Doctoral, Univ. Salamanca, 827 p.
- Palero Fernández, F., 1992. La sucesión paleozoica y estructura del sinclinal de Solana del Pino. *Estudios Geológicos*, 48 (5-6): 341-352. <https://doi.org/10.3989/egool.92485-6401>
- Pardo Alonso, M.V., 1997. Geología del Devónico meridional de la Zona Centroibérica. Tesis Doctoral, Univ. Oviedo, 472 p. (inédita).
- Pardo Alonso, M.V., 1998. Update on the Silurian-Devonian transition in the Almadén area, Central-Iberian Zone, Spain. En: *Proceedings Sixth International Graptolite Conference & 1998 Field Meeting of the IUGS Subcommittee on Silurian Stratigraphy*, (J.C. Gutiérrez-Marco y I. Rábano, Eds.). *Temas Geológico-Mineros ITGE*, 23: 110-114.
- Pardo Alonso, M.V., García-Alcalde, J.L., 1996. El Devónico de la Zona Centroibérica. *Revista Española de Paleontología*. N° extraordinario en homenaje a J. Truyols, 72-81. <https://doi.org/10.7203/sjp.23927>
- Péran, M., 1971. Contribution à l'étude de la géologie de la région de Venta de los Santos (Jaén), Espagne. Thèse 3ème cycle, Univ. Paris-Sud, Orsay, 73 p.
- Perrier, V., Perrichon, G., Nesme, F., Groos-Uffenorde, H., Lorenzo, S., Gutiérrez-Marco, J.C., 2023. Ecologically distinct myodocope ostracod faunas from a single horizon in the late Silurian of Spain. *Revue de Micropaléontologie*, 80, 16 p. <https://doi.org/10.1016/j.revmic.2023.100729>
- Philippot, A., 1950. Les Graptolites du Massif Armoricaín, Étude Stratigraphique et Paléontologique. *Mémoires de la Société Géologique et Minéralogique de Bretagne*, 8: 1-295.
- Philippot, A. y Riba, O., 1952. Sur la faune graptolitique de la Sierra d'Albarracín (Chaîne Ibérique). *Comptes Rendus Sommaires des Séances de la Société Géologique de France*, 1952(5): 74-75.
- Pieren Pidal, A., 1985. Estudio estratigráfico de los materiales anteordovícicos del anticlinorio de Agudo-Valdemanco y de los materiales paleozoicos del sinclinal de Herrera del Duque. Tesis de Licenciatura, Univ. Complutense de Madrid, 225 p. (inédito).
- Pieren Pidal, A., 1986. Mobilité du bassin sédimentaire au Silurien inférieur dans le synclinal de Herrera del Duque (Badajoz, España). *Comptes Rendus 11ème Réunion Annuel des Sciences de la Terre, Clermont-Ferrand*, 1: 148.
- Pieren Pidal, A., Gutiérrez-Marco, J.C., 1990. Datos biostratigráficos de los materiales silúricos del sinclinal de Herrera del Duque (Badajoz). *Geogaceta*, 8: 58-61.
- Portero García, J.M., Dabrio González, C., 1988. Evolución tectosedimentaria del Ordovícico y el Silúrico de los Montes de Toledo meridionales y Campo de Calatrava. *Comunicaciones del II Congreso Geológico de España, Granada*, 1: 161-164.
- Poupon, G., 1971. Contribution à l'étude géologique de la région d'Aldequemada (Jaén) Espagne. Thèse 3ème cycle, Univ. Paris-Sud, Orsay, 60 p. (Inédito).
- Prado, C. de, 1855. Mémoire sur la Géologie d'Almadén, d'une partie de la Sierra Morena et des Montagnes de Tolède. *Bulletin de la Société Géologique de France (2ª série)*, 12: 182-204.

- Prost-Dame, V., 1980. Géologie et géologie de la région de Castuera, Province de Badajoz (Espagne). Thèse 3ème cycle, Univ. Paris-Sud, Orsay, 288 p. (Inédito).
- Puschmann, H., 1967. Das Paläozoikum im gebiet zwischen San Benito und Torrecampo (Sierra Morena/Espanien). *Geologie en Mijnbouw*, 46 (11): 383-391.
- Puschmann, H., 1970. Das Paläozoikum der nördlichen Sierra Morena am Beispiel der Mulde von Herrera del Duque (Spanien). *Geologie*, 19 (3): 309-329.
- Quesada, C., Oliveira, J.T. (Eds.), 2019. The Geology of Iberia: A Geodynamic Approach, Volume 2 – The Variscan Cycle (J.F. Simancas, Coord.). *Regional Geology Reviews*, Springer, 544 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-10519-8>
- Rábano, I., Paris, F., Gutiérrez-Marco, J.C., Robardet, M., Rodríguez Núñez, V.M., 1989. Restos de grandes euryptéridos (Arthropoda, Chelicerata) en las facies ampelíticas del Silúrico ibero-armoricano (SO de Europa). *Resúmenes V Jornadas de Paleontología*. Universitat de València, 121-123.
- Ransweiler, M., 1968. Stratigraphie und Tektonik der Extremadura im Bereich der Orte Herrera del Duque, Helechosa und Villarta de los Montes (Mittelspanien). Dissertation der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster, 100 p. (Inédito). [Resúmenes publicados en: Münstersche Forschungen zur Geologie und Paläontologie, (Walter, Ed., 1977), 42: 26-28, Anlage 9 y en: Franz Lotze (1903-1971). The doctoral theses of his students in Spain and Portugal. Abridged versions, (J.F. von Raumer, Ed., 2008). Instituto Universitario de Geología "Isidro Parga Pondal". O Castro, serie Nova Terra, 36: 107-110].
- Ramírez y Ramírez, E., 1955. El sinclinal de Guadarranque (Cáceres). *Contribución al estudio de la estratigrafía del Silúrico hispano*. *Estudios Geológicos*, 11: 409-436.
- Raumer, J.F. von (Ed.), 2008. Franz Lotze (1903-1971). The doctoral theses of his students in Spain and Portugal. Abridged versions. Instituto Universitario de Geología "Isidro Parga Pondal". O Castro, serie Nova Terra, 36: 1-307.
- Redlin, K., 1955. Stratigraphie und Tektonik in der mittleren Sierra Morena im Bereich des Valle de Alcudia (Spanien). Dissertation der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster, 192 p. (Inédito). [Resúmenes publicados en: Münstersche Forschungen zur Geologie und Paläontologie, (Walter, Ed., 1977), 42: 40-42, Anlage 13 y en: Franz Lotze (1903-1971). The doctoral theses of his students in Spain and Portugal. Abridged versions, (J.F. von Raumer, Ed., 2008). Instituto Universitario de Geología "Isidro Parga Pondal". O Castro, serie Nova Terra, 36: 117-122].
- Reguant, S., Ortiz, R., 2001. Guía Estratigráfica Internacional. Versión abreviada. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 13 (3-4): 271-293.
- Rey, J., Hidalgo, M.C., Martínez-López, J., 2005. Upper Ordovician–Lower Silurian transgressive–regressive cycles of the Central Iberian Zone (NE Jaén, Spain). *Geological Journal*, 40: 477-495. <https://doi.org/10.1002/gj.1022>
- Richter, P., 1967. Stratigraphie und Tektonik in der Sierra de San Andrés (östliche Sierra Morena/Espanien). *Münstersche Forschungen zur Geologie und Paläontologie*, 3: 1-144.
- Ríos Aragüés, S., 1978. Evolución tectónica y guías de prospección en el distrito filoniano plumbífero de la Carolina-Santa Elena (Sierra Morena oriental, Jaén, España). *Boletín Geológico y Minero*, 89 (6): 550-561.
- Robardet, M., 2002. Alternative approach to the Variscan Belt in southwestern Europe: Preorogenic paleobiogeographical constraints. En: *Variscan-Appalachian dynamics: The building of the late Paleozoic basement*, (J.R. Martínez Catalán, R.D. Hatcher, F. Arenas, F. Díaz García, Eds.). *Geological Society of America Special Paper* 364: 1-15. <https://doi.org/10.1130/0-8137-2364-7.1>
- Robardet, M., 2003. The Armorica "microplate": fact or fiction? Critical review of the concept and contradictory palaeobiogeographical data. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Paleocology*, 195: 125-148. [https://doi.org/10.1016/S0031-0182\(03\)00305-5](https://doi.org/10.1016/S0031-0182(03)00305-5)
- Robardet, M., Gutiérrez-Marco, J.C., 2002. Silurian. En: *The Geology of Spain*, (W. Gibbons y T. Moreno, Eds.). *The Geological Society*, London, 51-66. <https://doi.org/10.1144/GOSPP>
- Robardet, M., Vegas R., Paris, F., 1980. El techo del Ordovícico en el centro de la Península Ibérica. *Studia Geologica Salmanticensis*, 16: 103-121.
- Rodríguez Núñez, V.M., 1989. Los materiales silúricos del sinclinal de Guadarranque (provincias de Cáceres, Badajoz y Ciudad Real). Tesis de Licenciatura. Univ. Complutense, Madrid, 198 p. (inédito).
- Rodríguez Núñez, V.M., Gutiérrez-Marco, J.C., Sarmiento, G.N., 1989. Rasgos biostratigráficos de la sucesión silúrica del sinclinal de Guadarranque (provincias de Cáceres, Badajoz y Ciudad Real). *Coloquios Paleontología*, 42: 83-106.
- Romariz, C., Arche, A., Barba, A., Gutiérrez Elorza, M., Vegas, R., 1971. The mediterranean graptolitic fauna of the Wenlockian in the Iberian Peninsula. *Boletim da Sociedade Geológica de Portugal*, 18: 57-61.
- Sáenz García, C., 1947. Notas y datos de estratigrafía española. 35. Importantes yacimientos fosilíferos del Silúrico de Cáceres. *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural*, 45: 383-386.
- Salvador, A. (Ed.), 1994. *International stratigraphic guide. A guide to stratigraphic classification, terminology, and procedure*. Second Edition. International Subcommission on Stratigraphic Classification of IUGS International Commission on Stratigraphy. The Geological Society of America, Boulder, xvi + 214 p.
- Sarmiento, G.N., Rodríguez Núñez, V.M., 1991. Conodontos telychienses (Silúrico inferior) del Sinclinal de Guadarranque (Zona Centroibérica, Macizo Hespérico). *Revista Española de Paleontología*, N° Extraordinario, 151-156. <https://doi.org/10.7203/sjp.25112>
- Saupé, F., 1971a. Stratigraphie et pétrographie du "Quartzite du Criadero" (Valentien) à Almadén (Province de Ciudad Real, Espagne). *Mémoires du Bureau de Recherches Géologiques et Minières*, 73: 139-147.
- Saupé, F., 1971b. La série ordovicienne et silurienne d'Almadén (Province de Ciudad Real, Espagne). *Point des connaissances actuelles*. *Mémoires du Bureau de Recherches Géologiques et Minières*, 73: 355-365.
- Saupé, F., 1973. La géologie du gisement de mercure d'Almadén (Province de Ciudad Real, Espagne). Thèse Docteur ès-Sciences, Univ. Nancy I. *Sciences de la Terre*, Mémoire 29, 342 p.
- Schmidt, H.J., 1957. Stratigraphie und Tektonik der nördlichen Extremadura im Bereich der Flüsse Tajo und Alagón, Spanien. Dissertation der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster, 116 p. (Inédito). [Resúmenes publicados en: Münstersche Forschungen zur Geologie und Paläontologie, (Walter, Ed., 1977), 42: 3-5, Anlage 1 y en: Franz Lotze (1903-1971). The doctoral theses of his students in Spain and Portugal. Abridged versions, (J.F. von Raumer Ed., 2008). Instituto Universitario de Geología "Isidro Parga Pondal". O Castro, serie Nova Terra, 36: 141-144].

- Soldevila, J., 1983. Estudio geológico-estructural de la terminación occidental del sinclinal de Almadén. *Boletín Geológico y Minero de España*, 94 (2): 93-105.
- Soldevila, J., 1992. La sucesión paleozoica en el sinforme de la Sierra de San Pedro (provincias de Cáceres y Badajoz, SO de España). *Estudios Geológicos*, 48 (5-6): 363-379. <https://doi.org/10.3989/egeol.92485-6403>
- Sos Baynat, V., 1955. Geología y morfología de las sierras de las Villuercas (Cáceres). *Estudios Geográficos*, 16 (61): 689-746.
- Štorch, P., 1994. Graptolite biostratigraphy of the Lower Silurian (Llandovery and Wenlock) of Bohemia. *Geological Journal*, 29: 137-165. <https://doi.org/10.1002/gj.3350290204>
- Štorch, P., 1995a. Upper Silurian (upper Ludlow) graptolites of the *N. inexpectatus* and *N. kozlowskii* biozones from Kosov Quarry near Beroun (Barrandian area, Bohemia). *Bulletin of the Czech Geological Survey*, 70 (4): 65-90. <https://hdl.handle.net/11104/0041742>
- Štorch, P., 1995b. Biotic crises and post-crisis recoveries recorded by Silurian planktonic graptolite faunas of the Barrandian area (Czech Republic). *Geolines*, 3: 59-70. <https://hdl.handle.net/11104/0041769>
- Štorch, P., 1998a. Biostratigraphy palaeobiogeographical links and environmental interpretation of the Llandovery and Wenlock graptolite faunas of peri-Gondwanan Europe. En: *Proceedings Sixth International Graptolite Conference & 1998 Field Meeting of the IUGS Subcommission on Silurian Stratigraphy*, (J.C. Gutiérrez-Marco y I. Rábano, Eds.). *Temas Geológico-Mineros ITGE*, 23: 126-129.
- Štorch, P., 1998b. New data on Telychian (Upper Llandovery, Silurian) graptolites from Spain. *Journal of the Czech Geological Society*, 43 (3): 113-141.
- Štorch, P., 1998c. Graptolites of the *Pribylograptus leptotheca* and *Lituigraptus convolutus* biozones of Tmaň (Silurian, Czech Republic). *Journal of the Czech Geological Society*, 43 (4): 209-272.
- Štorch, P., 2023. Graptolite biostratigraphy and biodiversity dynamics in the Silurian System of the Prague Synform (Barrandian area, Czech Republic). *Bulletin of Geosciences*, 98 (1): 1-78. <https://doi.org/10.3140/bull.geosci.1862>
- Štorch, P., Gutiérrez-Marco, J.C., Sarmiento, G.N., Rábano, I., 1998. Upper Ordovician and Lower Silurian of Corral de Calatrava, southern part of the Central Iberian Zone. En: *Proceedings Sixth International Graptolite Conference & 1998 Field Meeting of the IUGS Subcommission on Silurian Stratigraphy*, (J.C. Gutiérrez-Marco y I. Rábano, Eds.). *Temas Geológico-Mineros ITGE*, 23: 319-325.
- Štorch, P., Manda, Š., Loydell, D.K., 2014. The Early Ludfordian *leintwardinensis* graptolite Event and the Gorstian-Ludfordian boundary in Bohemia (Silurian, Czech Republic). *Palaeontology*, 57 (5): 1003-1043. <https://doi.org/10.1111/pala.12099>
- Štorch, P., Loydell, D.K., Melchin, M.J., Goldman, D., 2025. Graptolites in biostratigraphy: the primary tool for subdivisions and correlations of Ordovician, Silurian, and Lower Devonian offshore marine successions. *Newsletters on Stratigraphy*, 58. <https://doi.org/10.1127/nos/2024/0810>
- Strossová, Z., 2024. Lower Telychian (Silurian) species of *Parapetalolithus* from the *linnaei*, *turriculatus* and *crispus* biozones in the Prague Synform: taxonomy in the lights of astogeny and intraspecific variability. *Bulletin of Geosciences*, 99 (1): 43-71. <https://doi.org/10.3140/bull.geosci.1889>
- Strossová, Z., Kovář, V., Štorch, P., 2024. Qualitative and quantitative analysis of the graptolite assemblage in the *linnaei* Biozone (Silurian, lowermost Telychian) at Želkovice, Prague Synform (Czech Republic). *Palaeontologia Electronica*, 27 (3): a58. <https://doi.org/10.26879/1425>
- Tamain, G., 1964. Mise en évidence de mouvements tectoniques dans le Sud-Est de la Sierra Morena (Espagne). *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris, Série D*, 258: 977-979.
- Tamain, G., 1971. L'Ordovicien est-marianique (Espagne). Sa place dans la province méditerranéenne. *Mémoires du Bureau de Recherches Géologiques et Minières*, 73: 403-416.
- Torsvik, H.T., Cocks, L.R.M., 2017. *Earth history and paleogeography*. Cambridge University Press, Cambridge, 317 p. <https://doi.org/10.1017/9781316225523>
- Truyols, J., Julivert, M., 1983. El Silúrico en el Macizo Ibérico. En: *Libro Jubilar José María Ríos, Geología de España*, (J.A. Comba, Coord.). IGME, Madrid, 1: 246-265.
- Vera, J.A. (Ed.), 2004. *Geología de España*. Sociedad Geológica de España-Instituto Geológico y Minero de España, Madrid, 884 p.
- Verneuil, E. de, Barrande, J., 1855. Description des fossiles trouvés dans les terrains silurien et dévonien d'Almadén, d'une partie de la Sierra Morena et des Montagnes de Tolède. *Bulletin de la Société Géologique de France* (2), 12: 964-1025.
- Villas, E., Lorenzo, S., Gutiérrez-Marco, J.C., 1999. First record of a Hirnantia Fauna from Spain, and its contribution to the Late Ordovician palaeogeography of northern Gondwana. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh: Earth Sciences*, 89: 187-197. <https://doi.org/10.1017/S0263593300007124>
- Walter, R. (Ed.), 1977. *Zwei geologische Traversen durch die südliche Iberische Meseta, Spanien. Mit Beiträgen von W. Assmann, H.-G. Bochmann, R. Höllinger, H. Kalthoff, H.-J. Kelch, L. Laus, R. Maass, E. Machens, R. Merten, M. Ransweiler, K. Redlin, H.-J. Schmidt, O. Suhr und K. Weggen. Münstersche Forschungen zur Geologie und Paläontologie*, 42, 55 p.
- Zalasiewicz, J.A., Taylor, L., Rushton, A.W.A., Loydell, D.K., Rickards, R.B., Williams, M., 2009. Graptolites in British stratigraphy. *Geological Magazine*, 146: 785-850. <https://doi.org/10.1017/S0016756809990434>

APÉNDICE 1. Situación de las localidades con graptolitos citadas en el texto. Los números corresponden a la representación de cada una de ellas en la Figura 2.

- 1. Sección del sur del puerto de San Vicente (Llandovery), sinclinal de Guadarranque-Gualija. A 9 km al noreste de Alía (Cáceres)
- 2. Sección del arroyo de La Colada (Llandovery-Wenlock), sinclinal de Herrera del Duque. A 3 km al sur de Herrera del Duque (Badajoz)
- 3. Localidad Valdecaballeros (Llandovery), sinclinal de Herrera del Duque. Se sitúa a unos 8 km al suroeste de Valdecaballeros (Badajoz)
- 4. Sección del río Jabalón (Llandovery-Wenlock), sinclinal de Corral de Calatrava. A 4 km al noreste de esta última localidad.
- 5. Sección de la confluencia de los ríos Guadiana-Jabalón (Llandovery), sinclinal de Corral de Calatrava. Está a unos 1.000 m al este de dicha confluencia y a 4,5 km al norte de Corral de Calatrava (Ciudad Real).
- 6. Sección de Puente Morena (Llandovery-Wenlock), sinclinal de Corral de Calatrava. A 5,5 km al noreste de Corral de Calatrava (Ciudad Real).
- 7. Localidades de Almadenejos (Llandovery-Wenlock), sinclinal de Almadén. A 500 m al este-sureste de Almadenejos (Ciudad Real).

- 8. Sección del arroyo Avilero (Wenlock), sinclinal de Almadén. A 4 km al este de Almadén (Ciudad Real).
 - 9. Sección del arroyo del Lápiz (Llandoverly), sinclinal de Almadén. Está a unos 10 km al noreste de Almadén (Ciudad Real).
 - 10. Localidad Casa del Pihero (Wenlock), sinclinal de Almadén. A unos 9,5 km al noreste de Almadén (Ciudad Real)
 - 11. Localidad Loc. 4, sección de la Ribera del arroyo de Gargantiel (Wenlock), sinclinal de Almadén. A unos 350 m al norte de Gargantiel (Ciudad Real).
 - 12. Localidad AI-193 (Llandoverly), sinclinal de Almadén. Está a menos de 500 m al oeste de Almadén (Ciudad Real).
 - 13. Localidades de Valdeazogues (Llandoverly?-Wenlock), sinclinal de Valdeazogues-Puertollano. Se sitúa a 1 km aproximadamente al noroeste del pueblo de Valdeazogues (Ciudad Real).
 - 14. Sección de Retamar (Llandoverly-Wenlock), sinclinal de Valdeazogues-Puertollano. En la circunvalación de Retamar, a unos 8 km al oeste de Puertollano (Ciudad Real).
 - 15. Localidades de Ojailén-Brazatortas (Llandoverly), sinclinal de Valdeazogues-Puertollano. A 500 m al norte de Brazatortas (Ciudad Real).
 - 16. Localidad Cañada de Cantohincado (Llandoverly), sinclinal de Valdeazogues-Puertollano. A unos 2 km al sureste de La Alameda (Ciudad Real).
 - 17. Secciones de la estación de Chillón (Llandoverly-Wenlock), sinclinal de Guadalmez. Están a unos 9 km al sur de Chillón (Ciudad Real) y a 7 km al sur-suroeste de Almadén (Ciudad Real).
 - 18. Sección de Guadalmez norte (Llandoverly), sinclinal de Guadalmez. Está a unos 3 km al nor-noroeste del pueblo de Guadalmez (Ciudad Real).
 - 19. Localidad Estación de Belalcázar (Llandoverly), sinclinal de Guadalmez. A unos 8 km al oeste de Guadalmez (Ciudad Real).
 - 20. Localidad GM-H (Llandoverly), sinclinal de Guadalmez. Próximo al anterior, a casi 1 km al norte.
 - 21. Localidad D3 (Llandoverly), sinclinal de Guadalmez. A 8 km al oeste-noroeste de Guadalmez (Ciudad Real).
 - 22. Localidad GM GRE (Llandoverly), sinclinal de Guadalmez. 5 km al SSE de Guadalmez (Ciudad Real)
 - 23. Localidad Cantera del Molinillo (Llandoverly), sinclinal de Guadalmez. Está a 5 km al sur de Capilla (Badajoz).
 - 24. Sección de Puente Quebrada (Llandoverly-Ludlow), flanco norte del sinclinorio de Los Pedroches. Está a 7 km al sureste de San Benito (Ciudad Real).
 - 25. Localidades GM PO (Llandoverly), flanco norte del sinclinorio de Los Pedroches. A 6,5 km al norte de Santa Eufemia (Córdoba).
 - 26. Localidades GM EU (Llandoverly-Wenlock), flanco norte del sinclinorio de Los Pedroches. Están a menos de un kilómetro al este de Santa Eufemia (Córdoba).
 - 27. Localidades de El Centenillo (Llandoverly), flanco norte del sinclinorio de Los Pedroches. A unos 9 km al oeste-noroeste de El Centenillo (Jaén).
 - 28. Localidades 9803, 9805, 9807 de la hoja nº 862 del MAGNA (Llandoverly), flanco norte del sinclinorio de Los Pedroches. Están a unos 6 km al oeste-noroeste de El Centenillo (Jaén).
 - 29. Mina de Almadén (Llandoverly), sinclinal de Almadén. Interior de la mina subterránea de Almadén (Ciudad Real), en la cota 87 sobre la planta 14 (galería de cabeza del “Macizo de la Rampa”, aprox. -320 m).
 - 30. Localidad 863 Vilches (Llandoverly), flanco norte del sinclinorio de Los Pedroches. A unos 14,5 km al noroeste de Santisteban del Puerto (Jaén) y a 21 km al noreste de Vilches (Jaén).
 - 31. Localidad Los Toriles, flanco norte del sinclinal de Almadén. A unos 11 km al noreste de Almadén (Ciudad Real).
- MANUSCRITO RECIBIDO: 04-06-2025
 REVISIÓN RECIBIDA: 16-07-2025
 ACEPTACIÓN DEL MANUSCRITO REVISADO: 19-11-2025

