

Cronoestratigrafía del Ordovícico ibérico

Iberian Ordovician chronostratigraphy

J.C. Gutiérrez-Marco¹, A.A. Sá², E. Villas³, E. Bernárdez⁴, J. Colmenar⁵, S. Zamora⁶, I. Rábano⁷, S. Lorenzo⁸, G.N. Sarmiento⁹, D.C. García-Bellido¹⁰, J.M. Piçarra¹¹, S. Pereira¹² y A. Jiménez-Sánchez^{3,13}

- 1 Instituto de Geociencias (CSIC, UCM), José Antonio Novais 12, 28040 Madrid. jcgrapto@ucm.es
 2 Departamento de Geología, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, 5000-801 Vila Real, Portugal; y Centro de Geociências, Universidad de Coimbra, 3030-790 Coimbra, Portugal. asa@utad.pt
 3 Departamento de Ciencias de la Tierra, Universidad de Zaragoza, Pedro Cerbuna 10, 50009 Zaragoza. villas@unizar.es
 4 Departamento de Geología, Universidad de Atacama, Av. Copayapu 485, Copiapó (Atacama), República de Chile. enrique.bernardez@uda.cl
 5 Geological Museum, Natural History Museum of Denmark, University of Copenhagen, Øster Voldgade 5-7, DK-1350 Copenhagen K, Denmark. jorgecolmenarlallena@gmail.com
 6 Instituto Geológico y Minero de España, Manuel Lasala 44 -9ºB, 50006 Zaragoza. s.zamora@igme.es
 7 Museo Geominero, Instituto Geológico y Minero de España, Ríos Rosas 23, 28003 Madrid. i.rabano@igme.es
 8 Departamento de Ingeniería Geológica y Minera, Universidad de Castilla-La Mancha, Plaza Manuel Meca 1, 13400 Almadén (Ciudad Real). saturnino.lorenzo@uclm.es
 9 Departamento de Paleontología, Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense de Madrid, 28040 Madrid. gsarmien@ucm.es
 10 The Environment Institute, Department of Biological Sciences, University of Adelaide, SA 5005, Australia. Diego.Garcia-Bellido@adelaide.edu.au
 11 Laboratório Nacional de Energia e Geologia, Rua Frei Amador Arrais, Ap. 104, 7801-902 Beja, Portugal. jose.picarra@lneg.pt
 12 Departamento de Geología y Instituto D. Luiz, Universidade de Lisboa, 1749-016 Lisboa, Portugal. ardi_eu@hotmail.com
 13 Center of Biology, Geosciences and Environmental Education, University of West Bohemia, Klatovska 51, 306-19 Plzeň, República Checa. andrea@unizar.es

Resumen: Las nuevas divisiones de la escala global del Sistema Ordovícico, con excepción de los pisos Tremadociense e Hirnantense, son difíciles de aplicar en la Península Ibérica, pues sus estratotipos de límite radican en facies y faunas de aguas profundas, desconocidas en las plataformas someras y de paleolatitud elevada del ámbito peri-gondwánico. Antes de ello, la escala regional británico-avalónica fue utilizada en Iberia durante todo el siglo XX, pero presenta serios inconvenientes de correlación vinculados con la propia evolución, conceptual y de criterio, registrada en las áreas tipo británicas durante los últimos 40 años. Sin embargo, la escala regional bohemo-ibérica es la que actualmente aporta una mayor precisión a las correlaciones, pues se basa en elementos bioestratigráficos y biocronológicos de distribución común a todo el margen peri-gondwánico europeo y norteafricano, y la que mantiene vínculos episódicos con otras escalas regionales, que permitirán resolver progresivamente las equivalencias con la escala global.

Palabras clave: Ordovícico, Cronoestratigrafía, Escala bohemo-ibérica, España, Portugal.

Abstract: The new divisions from the global scale for the Ordovician System, except for the Tremadocian and Hirnantian stages, are difficult to correlate in the Iberian Ordovician, because their GSSPs involve deep-water facies and faunas not recorded in the shallow, high-paleolatitudinal settings of the peri-Gondwanan area. Previously to the Global scale, the British-Avalonian regional scale had been widely adopted in the Iberian Ordovician during all the 20th Century, but there are serious correlation problems due to the former's conceptual evolution and variable criteria used for the British type areas during the last 40 years. However, the use of the Bohemo-Iberian scale instead, provides better precision to Iberian correlations, because it is based in some local biostratigraphical and biochronological markers, widely recorded over an extensive area of the European and North African peri-Gondwanan margin. The Bohemo-Iberian scale shows episodic links with other regional scales, which will provide indirect correlations also with the global Ordovician scale.

Key words: Ordovician, chronostratigraphy, Bohemo-Iberian scale, Spain, Portugal.

INTRODUCCIÓN

La subdivisión y nomenclatura cronoestratigráfica del Sistema Ordovícico en la Península Ibérica arranca en los albores del siglo XIX con su adscripción al “Terreno de Transición” o “de la Grauwaka”, precisado luego como “terreno Siluriano”. Esta última traducción nace en la versión española de la primera edición de los *Elementos de Geología* de Lyell (Ezquerria del Bayo,

1847), y de trabajos ingleses en Portugal. A partir de 1849-1855 se extiende a nivel peninsular la distinción entre el “Siluriano inferior” (= formaciones Llandeilo y Caradoc) y “superior” (= formaciones Wenlock y Ludlow), acorde también con la extensión regional de las faunas *segunda* y *tercera*, postuladas en 1852 por Barrande en Bohemia. Pero no es hasta 1879, cuando se produce en Gran Bretaña la segregación del “Ordovician” de Lapworth como un nuevo sistema independiente, cuando el “Siluriano inferior” empieza a

ser nombrado como “Ordoviciano” u “Ordoviciense”, en tanto que el “Siluriano superior” se conocerá poco después como “Gothlandés” o “Gothlandiense”.

En España, el empleo del “Siluriano” (*sensu lato*) siguió vigente hasta la segunda mitad del siglo XX entre el Real Cuerpo de Minas (y también entre algunos autores alemanes de la vieja escuela, que lo citaban como “Ordogot”, una contracción de “Ordoviciense+Gothlandiense”). El término Ordovícico se separa con bastante posterioridad del Silúrico (*sensu lato*), una grafía impulsada por Vilanova (1872) desde el ámbito universitario de las Ciencias Naturales, que se vio refrendada más tarde por las resoluciones del Congreso Geológico Internacional de París (año 1900). Estas pretendían uniformizar el sufijo -ic (en lugar de -an, ambos en inglés) para todos los sistemas geológicos. En España, la terminación en -ico (frente a -ano) fue campo de batalla común entre ingenieros y geólogos durante muchos años (Gozalo Gutiérrez, 1998, y referencias citadas), mientras el sufijo -ano fue el adoptado tempranamente por la lengua portuguesa.

A nivel de la subdivisión interna del Sistema Ordovícico, las complicaciones conceptuales y nomenclaturales no fueron menores, y de sus particularidades ibéricas trata la presente nota.

CRONOESTRATIGRAFÍA IBÉRICA

La escala tradicional británica del Sistema Ordovícico fue depurada primero por la Sociedad Geológica de Londres (*A correlation of Ordovician rocks in the British Isles*, 1972) y completada poco después con la transferencia al Ordovícico de la serie Tremadoc, clasificada inicialmente en el Cámbrico. Desde entonces y con las sucesivas actualizaciones de 1982 y 1989 publicadas por la Universidad de Cambridge, la escala británica fue adoptada en Iberia y otros países de nuestro entorno como el patrón cronoestratigráfico *de facto* para el Ordovícico, pero con ciertas peculiaridades. En primer lugar, tanto en la normativa del plan MAGNA español, como en mapas portugueses y en textos de toda índole (por ejemplo, el libro *Estratigrafía* de la Ed. Rueda de 1977, de Inmaculada Corrales y cuatro significados coautores), comenzaron a usarse las series británicas como pisos (con nombres terminados en -iense), en un sentido distinto al concebido para sus áreas tipo. En segundo lugar, se incorporó un piso extraño, el llamado “Skiddawiense”/“Skidaviano” (derivado del Grupo Skiddaw Slates inglés), que jamás llegó a ser utilizado o mencionado en Gran Bretaña. Finalmente, se generalizaron como series (¿o subsistemas?) los términos Ordovícico “inferior”, “medio” y “superior” (a veces omitiendo el Ordovícico “medio”), con un criterio variable según las épocas y autores. En general, Tremadociense y Arenigiense pasaron a integrar el Ordovícico “inferior”, Llanvirniense-Llandeiliense el “medio”, y Caradociense-Ashgillense el “superior”.

La utilización en Iberia de esta primera versión depurada de la escala del Ordovícico británico se mantuvo firme, y con ello claramente desconectada de la evolución conceptual que entre tanto fue produciéndose en los estratotipos británicos. La consecuencia es que muchos autores españoles y portugueses siguen defendiendo hoy en día el uso de la terminología británica “tradicional” (forzosamente la de mediados del decenio de 1970 y, además ¡en su particular adaptación ibérica!), en lugar de esforzarse por adoptar la escala global o la, más conveniente, escala regional. En este sentido, Gutiérrez-Marco et al. (2015, Figura 1) aportan un cuadro demostrativo de los cambios sustanciales introducidos en la cronoestratigrafía británica a partir de 1987, hasta llegar a la escala regional actual, de ámbito británico-avalónico.

SERIES Y PISOS GRAN BRETAÑA (1972 / 1982)		SERIES Y PISOS IBERIA (1973 - ?)	SERIES, PISOS Y SUBPISOS GRAN BRETAÑA (1995 / 2010)		
ASHGILL	Hirnantense	Ashgillense/ano	ASHGILL		
	Rawtheyense		Hirnantense		
	Cautleyense		Rawtheyense		
	Pusgillense		Cautleyense		
CARADOC	Onniense	Caradociense/ano	CARADOC	Onniense	
	Actoniense			Streffordiense	Actoniense
	Marshbrookense			Cheneyense	Marshbrookense
	Longvillense				Woolstoniense
	Soudleyense			Burrelliense	Longvillense
	Harnagiense				Soudleyense
	Costoniense				Harnagiense
LLANDEILO	Superior	Llandeiliense/ano ó Llandeiloense	LLANVIRN	Llandeiliense	
	Medio				
LLANVIRN	Inferior	Llanvirniense/ano	LLANVIRN	Abereidiense	
	Superior				
ARENIG	Inferior	Arenigiense/ano	ARENIG	Fenniense	
	Superior			Whitlandiense	
TREMADOC		Tremadociense/ano	TREMADOC	Moriduniense	
				Migneintiense	
				Cressagiense	

FIGURA 1. Correlación entre la escala regional británica del Sistema Ordovícico, de acuerdo con su primera estandarización (izquierda) y en el estado presente (derecha). En el medio se aprecian las adaptaciones ibéricas de la escala “tradicional”. Éstas incorporan tres “series” (¿o subsistemas?) desconocidos en el Ordovícico británico, más seis divisiones que corresponden a las series británicas transformadas arbitrariamente en pisos. La terminación -ense/-iense se refiere a la lengua castellana, y el sufijo -ano a la portuguesa.

Por ejemplo, en el transcurso de la citada evolución, el Llandeilo pasó, de ser una serie independiente, a incluir al Llanvirniense como piso inferior de la misma, para terminar siendo un piso (Llandeiliense) incorporado a la serie Llanvirni. Curiosamente, el “Llandeiliense” ibérico nunca tomó como referencia a la Formación Llandeilo (de antigüedad mayoritariamente Caradoc), sino que se equiparó a las pizarras de *Hustedograptus teretiusculus* del área tipo del Llanvirni. La revisión más moderna de la cronoestratigrafía británica de 2010 (ver Figura 1), admite incluso la conveniencia de cambiar el rango de las actuales series regionales, para pasar a considerarlas como pisos. Ello evitaría paradojas tales como que el Hirnantense británico sea un piso (¿o futuro subpiso?) regional de la serie (¿o piso?) Ashgill; y todo ello en contraposición al Hirnantense (*sensu stricto*) como piso formal de la nueva escala cronoestratigráfica global (Figuras 1 y 2). Lo mismo sucede con el piso Tremadociense mundial, que también equivale a la serie (¿o futuro piso?) Tremadoc de la escala regional británica.

LA ESCALA REGIONAL BOHEMO-IBÉRICA

La ausencia generalizada de argumentos biocronológicos y de precisiones bioestratigráficas para fundamentar una correlación directa con el Ordovícico británico, llevó a diversos autores a proponer nuevas divisiones cronoestratigráficas regionales para el ámbito mediterráneo, al que corresponderían los ambientes peripolares de la plataforma gondwánica y peri-gondwánica más meridionales. Así surgió en 1960

una división tripartita (Zagoriense, Morgatiense, Tafilaltiense) que no fructificó, además de la escala mediterránea definida en Bohemia (Havlíček y Marek, 1973), que a su vez recuperó algunos de los antiguos “étages” de Barrande y otros autores locales posteriores. Las primitivas series bohémicas se transformaron pronto en pisos, y la escala fue completada con el piso Oretaniense del Ordovícico Medio, definido en Iberia (Gutiérrez-Marco et al., 2015, y referencias citadas).

Las ventajas de emplear la escala bohemio-ibérica como referencia de primera mano para la caracterización cronoestratigráfica de unidades, son las mismas que las de cualquier otra escala regional, y se basan en la existencia de escalas biocronológicas y bioestratigráficas en común, e incluso facies sedimentarias y biofacies similares, en territorios que mantuvieron una estrecha vinculación paleogeográfica. Como el Ordovícico fue un periodo con acusado provincialismo faunístico, no es de extrañar que existan diferentes escalas regionales definidas para Escandinavia, Norteamérica-Laurentia, Australia, Siberia, Avalonia y el área peri-gondwánica sudpolar. Todas ellas se hallan en uso y dan estabilidad y precisión a las correlaciones intrarregionales (por ejemplo en los paleocontinentes Laurentia, Báltica o Siberia), conteniendo a menudo elementos que sirven de correlación con otras escalas regionales así como, directa o indirectamente, con la escala global.

SISTEMA	SERIE	PISOS GLOBALES	SS 2009	BASE DE LOS “SUBPISOS”	TS 2004	TU 2004	ESCALA REGIONAL BOHEMO-IBÉRICA	ESCALA REGIONAL BRITÁNICO-AVALÓNICA			
ORDOVÍCICO	SUPERIOR	HIRNANTIENSE	Hi2	final del HICE (excursión isotópica)	6c	21	HIRNANTIENSE	ASHGILL	HIRNANTIENSE		
			Hi1	Zona <i>Metabologr. extraordinarius</i> (g)	6b	20					
		KATIENSE	Ka4	<i>Zona <i>Dicellograptus complanatus</i> (g)</i>	6a	19	KRALODVORIENSE		18	s	RAWTHEYENSE
			Ka3	<i>Zona <i>Amorphognathus ordovicicus</i> (c)</i>	5d	17					
			Ka2	<i>Zona <i>Pleurograptus linearis</i> (g)</i>							
			Ka1	Zona <i>Diplacanthogr. caudatus</i> (g)	5c	16					
	SANDBIENSE	Sa2	<i>Zona <i>Climacograptus bicornis</i> (g)</i>	5b	15	DOBROTIENSE	s	CHENEYENSE			
	Sa1	Zona <i>Nemagraptus gracilis</i> (g)	5a	14							
	MEDIO	DARRIWILIENSE	Dw3	<i>Zona <i>Pygodus serra</i> (c)</i>	4c	13	ORETANIENSE	s	ABEREIDDIENSE		
			Dw2	<i>Zona <i>Didymograptus artus</i> (g)</i>	4b	12					
			Dw1	Zona <i>Levisogr. austrodentatus</i> (g)	4a	10					
		DAPINGIENSE	Dp3	<i>Zona <i>Oncograptus</i> (g)</i>	3b	9	ARENIGIENSE	s	FENNIENSE		
			Dp2	<i>Zona <i>Isograptus victoriae maximus</i> (g)</i>							
			Dp1	Zona <i>Baltoniodus triangularis</i> (c)							
	INFERIOR	FLOIENSE	Fi3	<i>Zona <i>Didymograptellus protobifidus</i> (g)</i>	2c	7	ARENIGIENSE	m	WHITLANDIENSE		
			Fi2	<i>Zona <i>Oepikodus evae</i> (c)</i>	2b	6					
			Fi1	Zona <i>Tetragraptus approximatus</i> (g)	2a	5					
		TREMADOCIENSE	Tr3	<i>Zona <i>Paroistodus proteus</i> (c)</i>	1d	4	TREMADOCIENSE	s	MIGNEINTIENSE		
Tr2			<i>Zona <i>Paltodus deltifer</i> (c)</i>	1c	3						
Tr1			Zona <i>lapetognathus fluctivagus</i> (c)	1b	2						
			1a	1		i	CRESSAGIENSE				

FIGURA 2. Correlación entre las series y pisos globales del Sistema Ordovícico, las “rodajas de pisos” (SS= Stage Slices), los Time Slices (TS), Time Units (TU) y las escalas regionales bohemio-ibérica y británico-avalónica. Los taxones citados en negrita son los que definen los estratotipos globales de límite (GSSP) correspondiente a la base de los siete pisos y series (en su caso). Abreviaturas: c, conodonto, g, graptolito, i, inferior, Levisogr., Levisograptus; m, medio; Metabologr., Metabolograptus; s, superior. Adaptado de Gutiérrez-Marco et al. (2015).

La escala regional bohemo-ibérica es sólo parcial, ya que los pisos globales que enmarcan el Sistema Ordovícico (Tremadociense e Hirnantense), corresponden a edades de bajo provincialismo o con acontecimientos climáticos importantes (la glaciación fini-ordovícica) que admiten una correlación directa con la escala global. Por su parte, la escala regional británica comparte con la escala bohemo-ibérica los pisos Tremadociense y Arenigiense, previos a la separación y deriva final de Avalonia desde Gondwana. Esta última acaba con las conexiones faunísticas que hasta entonces favorecían la correlación: así, mientras que en Gondwana las faunas continúan siendo las propias de aguas frías peripolares, al otro lado del Océano Rheico las aguas tornan a ser más templadas y con faunas cada vez más semejantes a las del paleocontinente báltico.

Un esquema bioestratigráfico general de las biozonas ibéricas que sirven de fundamento a los pisos de la escala bohemo-ibérica del Ordovícico Medio y Superior, puede verse en Gutiérrez-Marco et al. (2002). En la Figura 2 se indica la correlación aproximada entre esta escala regional con respecto a la escala global y a la regional británico-avalónica.

CRONOESTRATIGRAFÍA GLOBAL

La clasificación cronoestratigráfica global para el Sistema Ordovícico se completó en 2007, y abarca 3 series y 7 pisos internacionales (Figura 2), cada uno de ellos definido por sus correspondientes estratotipos globales de límite (GSSP). Para facilitar una mejor correlación con otros biohorizontes (más una anomalía isotópica) ubicuos, apreciados en los distintos paleocontinentes, Bergström et al. (2009) definieron posteriormente unas “rodajas de pisos” (*stage slices*), que reemplazaron otras divisiones previas similares, pero más problemáticas, como eran las “rodajas de tiempo” y las “unidades de tiempo”, ambas de 2004. La veintena de “stage slices” ha sido bien aceptadas por la comunidad internacional y pueden servir de base para la definición de los futuros subpisos del Ordovícico.

De los 19 fósiles cuya primera aparición define la base tanto de los pisos formales, como de los subpisos informales (Figura 2), tan sólo dos han sido encontrados en Iberia y dentro de sucesiones de registro fósil discontinuo, por lo que no podemos saber si estamos verdaderamente ante el registro evolutivo (biocronológicamente significativo) que marca la primera aparición a escala global de ambas especies índice. Lo mismo sucede en otras áreas donde la escala bohemo-ibérica es de aplicación, como el norte de África, Oriente Medio, o la Europa central (en parte) y mediterránea.

CONCLUSIONES

El empleo en el Ordovícico ibérico de las series y pisos tradicionales del Ordovícico británico, durante todo el siglo XX e inicios del XXI, obstaculiza seriamente el desarrollo actual del nuevo marco cronoestratigráfico global y regional. En ausencia de elementos clave que nos permitan una correlación directa con la nueva escala global del Sistema Ordovícico, la solución más sensata pasa por la utilización y perfeccionamiento continuo de la escala regional bohemo-ibérica. Esta última aporta precisión a las correlaciones dentro de Iberia y también con otras áreas del ámbito perigondwánico para poder conseguir, a través de correlaciones parciales con las escalas regionales báltica y británico-avalónica (Gutiérrez-Marco et al., 2015) una mejora progresiva en la correlación de todas ellas con la escala ordovícica global.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo es una contribución al proyecto IBEROR (CGL2012-39471) del MINECO.

REFERENCIAS

- Bergström, S.M., Chen, X., Gutiérrez-Marco, J.C. y Dronov, A.V. (2009): The new chronostratigraphic classification of the Ordovician System and its relations to major regional series and stages and $\delta^{13}\text{C}$ chemostratigraphy. *Lethaia*, 42: 97-107.
- Ezquerro del Bayo, J. (1847): *Traducción del libro “Elementos de Geología”, de Charles Lyell (1838), con adiciones sobre los terrenos de España*. Imprenta de Don Antonio Yenes, Madrid, 652 pp.
- Gozalo Gutiérrez, R. (1998): El inicio de la polémica sobre los sufijos utilizados para denominar los “terrenos”: -ano versus -ico o Casiano de Prado versus Juan Vilanova. *Geogaceta*, 23: 71-74.
- Gutiérrez-Marco, J.C., Robardet, M., Rábano, I., Sarmiento, G.N., San José Lancha, M.A., Herranz Araújo, P. y Pieren Pidal, A.P. (2002): Ordovician. En: *The Geology of Spain* (W. Gibbons y T. Moreno, eds.). The Geological Society, London, 31-49.
- Gutiérrez-Marco, J.C., Sá, A.A., Rábano, I., Sarmiento, G.N., García-Bellido, D.C., Bernárdez, E., Lorenzo, S., Villas, E., Jiménez-Sánchez, A., Colmenar, J. y Zamora, S. (2015): Iberian Ordovician and its international correlation. *Stratigraphy*, 12 (3-4): 257-263.
- Havlíček, V. y Marek, L. (1973): Bohemian Ordovician and its international correlation. *Časopis pro Mineralogii a Geologii*, 18: 225-232.
- Vilanova, J. (1872): *Compendio de Geología*. Imprenta de Alejandro Gómez Fuentenebro, Madrid, 588 pp.