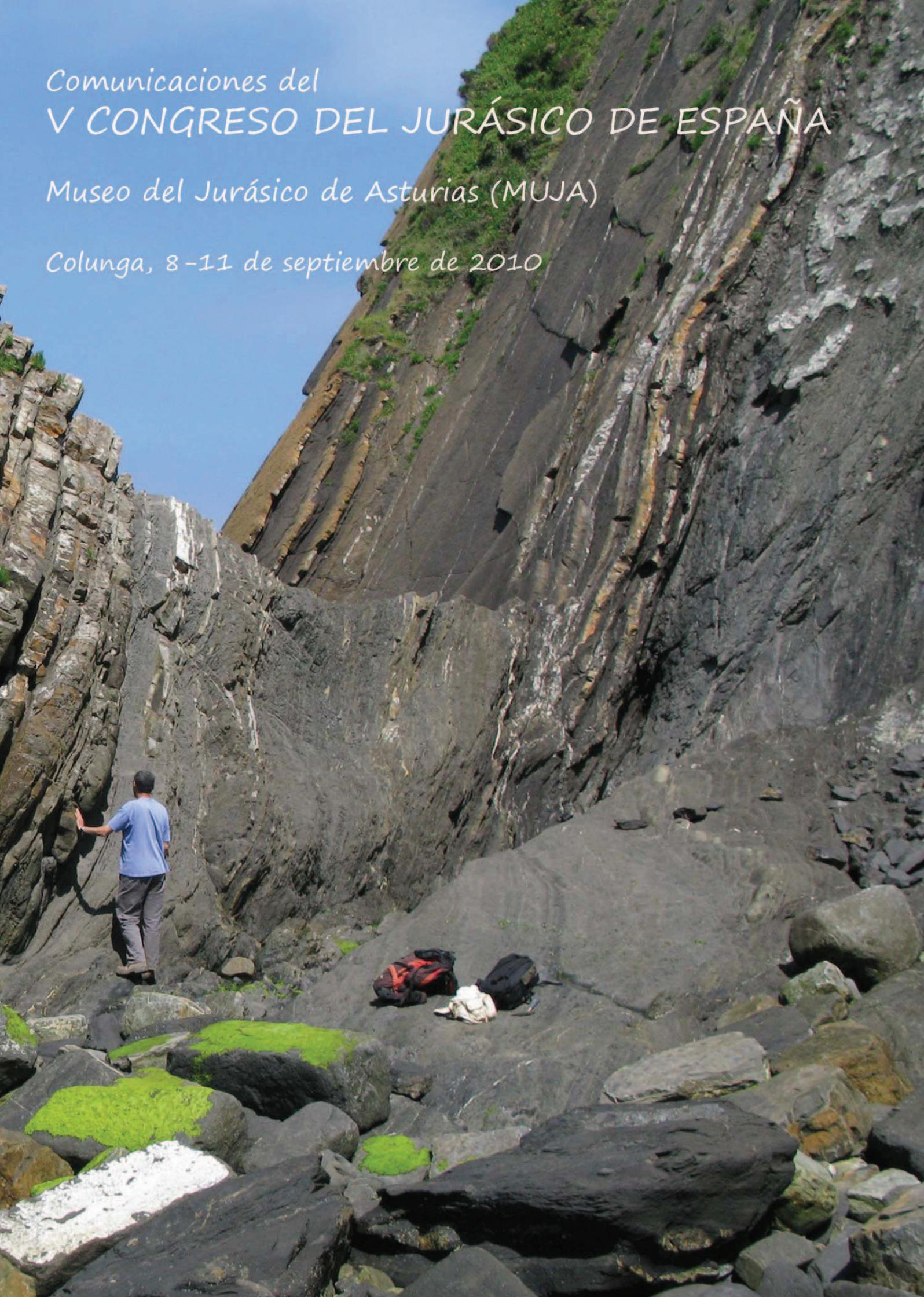


*Comunicaciones del
V CONGRESO DEL JURÁSICO DE ESPAÑA*

Museo del Jurásico de Asturias (MUJA)

Colunga, 8-11 de septiembre de 2010



El Sinemuriense-Toarciense en la Cuenca Lusitánica (Portugal): Algunas singularidades e impactos educativos

The Sinemurian-Toarcian in the Lusitanian Basin (Portugal): some singularities and educational impacts

Duarte, L.V.

IMAR-CMA y Departamento de Ciências da Terra. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra. 3000-272 Coimbra. Portugal. lduarte@dct.uc.pt

Abstract: *The Lower Jurassic is well represented in west-central Portugal (Lusitanian Basin), and it is mainly composed by carbonate deposits. In this paper are presented several aspects of the sedimentary and stratigraphic record of the Sinemurian-Toarcian hemipelagic marly limestones, emphasizing the following particularities and events recognized in the basin: Organic-rich facies of the Sinemurian-Pliensbachian, the Pliensbachian/Toarcian boundary in the reference section of Peniche, geochemical and biological events in the Lower Toarcian, turbiditic-tempestitic sedimentation in the Lower Toarcian and the siliceous sponge bioherms of the middle and upper Toarcian. Besides the scientific relevance of these occurrences/themes, associated to the exceptional exposures in some localities, it is demonstrated the socio-cultural interest of the sedimentary record of the Portuguese Lower Jurassic throughout a large number of educational and scientific divulgation activities.*

Key words: *Sedimentary record, events, scientific relevance, Lower Jurassic, Iberia.*

Introducción

El Jurásico Inferior está muy bien representado en la Cuenca Lusitánica (Centro-Oeste de Portugal) por una potente sucesión carbonática marina, con características de perimareales a hemipelágicas (Fig. 1). Por encima de las facies evaporíticas y dolomíticas del Hettangiense-Sinemuriense se puede reconocer la apertura de la cuenca por medio de una sedimentación margo-calcárea marina, bien controlada por abundantes fósiles de ammonites y la presencia generalizada de macrofósiles bentónicos. En el contexto evolutivo, y en las reconstrucciones paleogeográficas y paleobiogeográficas del Atlántico Norte, es muy conocida la importancia de esta cuenca debido a localización preferente y a la calidad de sus afloramientos (Wilson *et al.*, 1989; entre otros).

En este trabajo se pondrá énfasis en las investigaciones más recientes realizadas en las sucesiones margo-calcáreas del Jurásico Inferior en la Cuenca Lusitánica, mostrando la relevancia científica de los nuevos datos sedimentarios y estratigráficos, y su impacto educativo y formativo a través de un importante número de actividades.

La sedimentación hemipelágica del Sinemuriense-Toarciense

La parte inferior del Jurásico (Hettangiense) está representada por depósitos lutíticos con intercalaciones dolomíticas y evaporíticas, típicos de ambientes lagunares y de clima árido, a los que suceden en el Sinemuriense, una sedimentación carbonática constituida por dolomías, biolítitas microbianas y calizas oolíticas, bioclásticas y micríticas (Soares *et al.*, 1993; Azerêdo *et al.*, 2003; 2010). En la parte terminal del Sinemuriense se puede observar en el sector occidental de la cuenca, una importante sucesión hemipelágica margo-calcárea que se extiende a gran parte de la Cuenca Lusitánica durante el Pliensbachiense inferior y hasta el final del Toarciense (Duarte *et al.*, 2004b; Duarte, 2007). Esta sucesión margo-calcárea se ha subdividido formalmente en las formaciones Água de Madeiros, Vale das Fontes, Lemede, S.

Gião y Póvoa da Lomba (y en sus equivalentes laterales formaciones del Prado y Cabo Carvoeiro) (Fig. 2; Duarte & Soares, 2002). Estas unidades, depositadas en un ambiente de rampa carbonatada homoclinal (Duarte, 1997, 2007), son ricas en distintos grupos de microfósiles (cefalópodos, bivalvos, braquiópodos, etc.), microfósiles (foraminíferos, ostrácodos, nannoplancton calcáreo, palinomorfos, escamas de peces, etc.) y macrorestos vegetales. La presencia de ammonites, prácticamente continua en toda las unidades, ha permitido un buen control bioestratigráfico (Mouterde *et al.*, 1967, 2007; Elmi *et al.*, 1989; entre otros), que en algunas secciones se ha complementado con otras escalas establecidas utilizando las sucesión de asociaciones de nanofósiles calcáreos (Perilli & Duarte 2006; Oliveira *et al.*, 2007).



Figura 1. Representación de los afloramientos del Jurásico Inferior en la Cuenca Lusitánica (A). Vista panorámica de las secciones de referencia de Peniche (B) y Rabaçal (C).

Los sedimentos hemipelágicos están organizados en tres secuencias de 2º orden (SS a ST *in* Duarte *et al.*, 2004b, 2010; Duarte, 2007a) limitadas por discontinuidades, que coinciden con la base del Pliensbachiense (parte inferior de la Zona Jamesoni), extrema base del Toarciense (parte inferior de la Zona Polymorphum) y la base del Aalenense (intra Zona Opalinum). Las variaciones laterales de esta sedimentación margo-calcárea son muy tenues, lo que dificulta el estudio de la geometría de los cuerpos sedimentarios. Hasta el momento, sólo se han reconocido secuencias de 3º orden para los materiales del Toarciense (ST) (Duarte *et al.*, 2001, 2004a).

Hay algunos ejemplos singulares de carácter sedimentario, estratigráfico y paleontológico, que se pueden observar en varias secciones de la Cuenca Lusitánica, como Peniche, S. Pedro

de Moel, Figueira da Foz, Montemor-o-Velho, Coimbra, Rabaçal, Alvaiázere, Porto de Mós y Tomar (Fig. 1). Entre ellos se pueden citar el endemismo de los ammonites del Sinemuriense y Pliensbachiense (Dommergues & Mouterde, 1987), las facies con grumos de las zonas Jamesoni-Ibex (Elmi *et al.*, 1988; Fernández-López *et al.*, 2000) y la sedimentación siliciclástica y oolítica del Toarciense Superior de Peniche (Wright & Wilson, 1984). Además, teniendo en cuenta las investigaciones más recientes y su impacto científico, se han seleccionado otros aspectos relevantes en la cuenca como son:

- a) las facies ricas en materia orgánica del Sinemuriense-Pliensbachiense,
- b) el límite Pliensbachiense-Toarciense en Peniche,
- c) los eventos geoquímicos y biológicos del Toarciense Inferior,
- d) la sedimentación siliciclástica del Toarciense Inferior, y
- e) las facies con biohermos de espongiarios del Toarciense Medio y Superior.

Cronoestratigrafía y Bioestratigrafía			Litoestratigrafía					
			Tomar	Generalidad de la Cuenca		Peniche/S. Pedro de Moel		
Jurásico Inferior	AALENIENSE	Opalinum	Fm Prado	<u>Fm Póvoa da Lomba</u>		Fm Cabo Carvoeiro	C. Carvoeiro 5	
		Superior					Aalensis Meneghini Speciosum Bonarellii	Margas y margo-calizas con braquiópodos
		Medio		Gradata Bifrons	Margas y calizas margosas con biohermos de espongiarios		C. Carvoeiro 3	
		Inferior		Levisoni	Margas y calizas Margosas con <i>Hildaites</i> y <i>Hildoceras</i>		C. Carvoeiro 2	
				Polymorphum	Cal. nodul en plaquetas		C. Carvoeiro 1	
		PLIENSBACHIENSE		Superior (Domeriense)	Spinatum Margaritatus		Fm Lemedo	
	Inferior (Carixiense)		Davoei	Fm Vale das Fontes	Fm Vale das Fontes	Fm Vale das Fontes	Margo-calizas con niveles bituminosos	Margo-calizas con niveles bituminosos
			Ibex	<u>Fm Coimbra</u>	<u>Fm Coimbra</u>		Margas y calizas con grumos	Margas y calizas con grumos
	SINEMURIENSE	Raricostatum Oxynotum					Fm Água de Madeiros	Margas y calizas con <i>Uptonia</i> y <i>Pentacrinus</i> Mb Praia da Pedra Lisa
					Capas de S. Miguel			

Figura 2. Cuadro litoestratigráfico de la sucesión hemipelágica del Jurásico Inferior en la Cuenca Lusitánica (modificado de Duarte & Soares, 2002). Los unidades que aparecen subrayadas no han sido definidas formalmente.

Las facies ricas en materia orgánica del Sinemuriense-Pliensbachiense

Uno de los aspectos más relevantes de los materiales del Sinemuriense superior y del Pliensbachiense de la Cuenca Lusitánica es el registro de abundante materia orgánica, presente en el Miembro Polvoeira de la Formación Água de Madeiros y, prácticamente en toda la Formación Vale das Fontes (Duarte & Soares, 2002). Estas dos unidades, en las que dominan los sedimentos margo-calcáreos, contienen frecuentes niveles laminados de tipo *black shales* y son muy ricas en macroinvertebrados nectónicos (ammonites y belemnites).

Los datos de carbono orgánico total (COT) obtenidos a escala de la cuenca y a partir de varios centenares de muestras, han permitido reconocer dos grandes intervalos muy ricos en materia orgánica, que corresponden a la Zona Raricostatum y al intervalo comprendido entre las zonas Davoei y Margaritatus (Fig. 3; Duarte *et al.*, 2010a, 2010b; Oliveira *et al.*, 2006). En estos intervalos se llegan a alcanzar valores que sobrepasan el 20% (Duarte *et al.*, 2010b; Silva *et al.*, 2010), y coinciden con dos máximos de inundación de 2º orden de dos ciclos transgresivo-regresivo.

El reconocimiento de estos niveles ricos en COT y su preciso control estratigráfico han potenciado en los últimos años su interés dentro de la prospección petrolífera y permitido la realización de una primera publicación sobre el potencial generador de hidrocarburos del Pliensbachiense de la sección de Peniche, utilizando la pirólisis *Rock-Eval* (Oliveira *et al.*, 2006). Posteriormente, se han iniciado otros estudios de geoquímica orgánica basados en las palinofacies, los biomarcadores, la reflectancia de vitrinita y el índice de coloración de esporas (Duarte *et al.*, 2010a; Silva *et al.*, 2010).

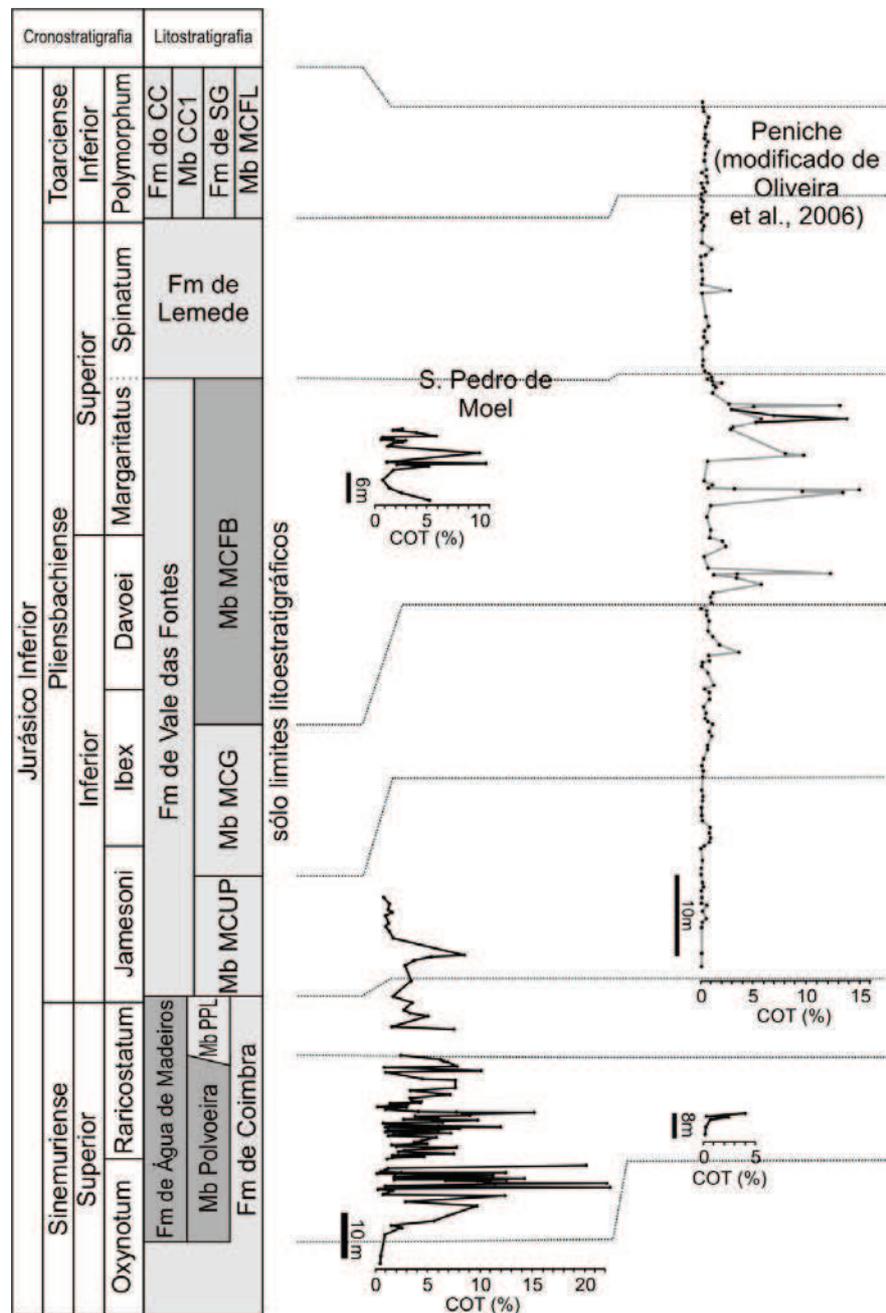


Figura 3. Variación vertical del COT a lo largo de la sucesión margo-caliza del Sinemuriense-Pliensbachiense en el sector occidental de la Cuenca Lusitánica (modificado de Duarte *et al.*, 2010b).

El límite Pliensbachiense-Toarciense de Peniche

Entre todos los sectores de la cuenca, la sección de Peniche constituye la mejor referencia internacional en lo que concierne al estudio del Jurásico Inferior, debido a las óptimas condiciones de afloramiento de gran parte de la sucesión estratigráfica.

En ella, se observan sedimentos de más de 450 m de espesor, correspondientes al intervalo comprendido entre el Sinemuriense y la parte inferior del Jurásico Medio (Mouterde, 1955; Duarte & Soares, 2002; Duarte *et al.*, 2004b). Comprenden un conjunto de unidades litológicas constituidas por margas, margas ricas en materia orgánica, calizas margosas, micríticas, bioclásticas, oolíticas y areniscosas, que han permitido definir las formaciones Coimbra, Água de Madeiros, Vale das Fontes, Lemedo y Cabo Carvoeiro (Fig. 2).

En este contexto hay que destacar la importancia de la Ponta do Trovão que en 1996 fue propuesta como posible candidato al GSSP (*Global Stratigraphic Stratotype Section and Point*) de la base del Toarciense (Elmi *et al.*, 1996). Esta candidatura fue presentada formalmente en el VII Congreso Internacional del Jurásico celebrado en Cracovia (Elmi, 2006), después de una reunión previa del *Toarcian Working Group* de la *International Subcommission on Jurassic System* (TWG-ISJS), que tuvo lugar en Peniche en 2005 (Rocha, 2007). La base del Toarciense se ha marcado en la capa 15E del trabajo pionero de Mouterde (1955), por la presencia de *Dactyloceras* (*Eodactylites*) SCHMIDT-EFFING 1972, asociado a *Paltarpites* BUCKMAN 1922, *Tiltoniceras* BUCKMAN 1913 y *Lioceratoides* SPATH 1919 y que corresponde al Horizonte Mirabile de la base de la Zona Polymorphum (Elmi, 2006). En esta propuesta se incluyeron, además, otros análisis complementarios sobre estratigrafía secuencial, geoquímica y otros estudios macro y micropaleontológicos (nanofósiles calcáreos y ostrácodos) (Rocha, 2007).

Los eventos geoquímicos y biológicos del Toarciense Inferior

El Toarciense Inferior (183-181 Ma) es conocido como un intervalo donde tuvieron lugar importantes eventos a una escala global, que incluyeron una extinción en masa, un período de gran actividad volcánica y cambios drásticos en el ciclo del carbono (Jenkyns, 1988; Little & Benton, 1995; Hesselbo *et al.*, 2000; Pálffy & Smith, 2000; Suan *et al.*, 2008b; entre otros).

Las evidencias geoquímicas definidas en varias secciones de la Cuenca Lusitánica, mediante el reconocimiento de un evento isotópico negativo del carbono ($\delta^{13}\text{C}$) en la base de la Zona Levisoni (Duarte, 1998; Duarte *et al.*, 2004a), han potenciado un conjunto de trabajos de elevado impacto científico internacional (Hesselbo *et al.*, 2007; Suan *et al.*, 2008a, 2008b, 2010; Mattioli *et al.*, 2009; entre otros), que han confirmado las grandes perturbaciones en el ciclo del carbono.

Hesselbo *et al.* (2007), teniendo en cuenta los datos isotópicos de carbono realizados sobre roca y sobre fragmentos de vegetales fósiles del Toarciense Inferior de Peniche, demostraron que este episodio no se limitó a los ambientes marinos (evento anóxico oceánico del Toarciense Inferior; Jenkyns, 1988) sino que afectó, también, a la atmósfera.

Por otro lado, los datos isotópicos de oxígeno obtenidos sobre conchas de braquiópodos y belemnites de la misma sección, vinieron a mostrar que el período comprendido entre el final del Pliensbachiense y el inicio del Toarciense estuvo sujeto, igualmente, a grandes cambios climáticos (Suan *et al.*, 2008a; Oliveira *et al.*, 2009), como se ha confirmado en otras cuencas (Gómez *et al.*, 2008).

Este amplio periodo de alteraciones paleoambientales estuvo relacionado con un evento de extinción en masa ocurrida en el planeta alrededor de los 183 Ma. Evidencias de esta alteración en la biosfera se han registrado en varios sectores de la cuenca, en las variaciones

en las asociaciones de braquiópodos, ostrácodos (Mouterde & Ruget, 1984; Pinto *et al.*, 2007) y nanofósiles calcáreos (Perilli & Duarte, 2006; Mattioli *et al.*, 2009).

La sedimentación siliciclástica del Toarciense Inferior

En el límite entre las zonas Polymorphum-Levisoni se marca, posiblemente, uno de los cambios sedimentarios más drásticos observados en el Jurásico Inferior en la Cuenca Lusitánica (Duarte, 1997). Esta variación sedimentaria corresponde al paso entre los miembros Margo-calizas con fauna de *Leptaena* y Calizas nodulosas en plaquetas de la Formación S. Gião, o entre los miembros Cabo Carvoeiro 1 (CC1) y Cabo Carvoeiro 2 (CC2) de la Formación Cabo Carvoeiro (Duarte & Soares, 2002) (Figs. 2 y 4).

En Peniche, el Miembro CC2 corresponde a una sucesión margo-calcárea, que se distingue del Miembro CC1 por la presencia de niveles siliciclásticos, generalmente lutíticos y arenosos, de naturaleza subarcósica. Estas facies, pobres en macrofósiles bentónicos, muestran espesores muy variables (inferiores a 75 cm), secuencias granodecrescentes lenticulares, *groove-casts*, *tool marks*, estructuras de carga y paleocorrientes de dirección N80 y N130. Estas características sugieren una sedimentación típicamente turbidítica (Wright & Wilson, 1984), asociada al levantamiento del macizo ígneo-metamórfico de Berlenga.

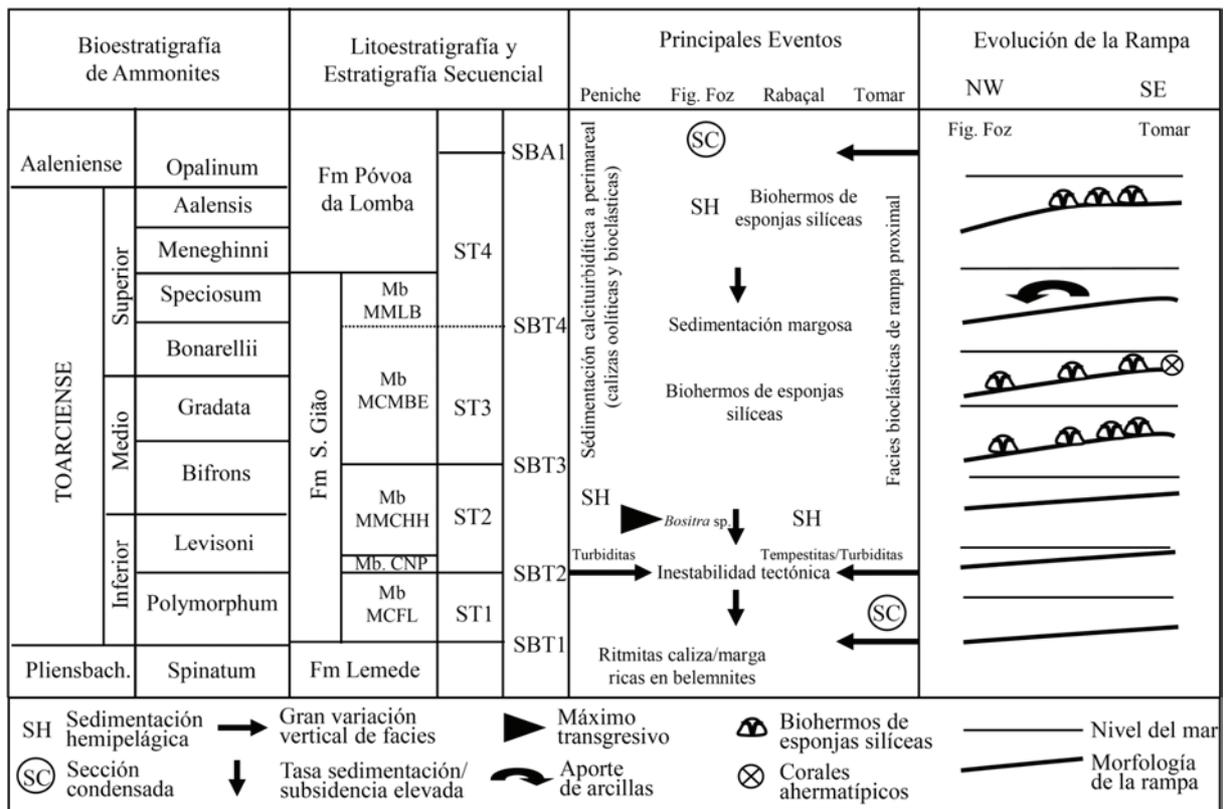


Figura 4. Estratigrafía secuencial y evolución de los sedimentos del Toarciense en la Cuenca Lusitánica (modificado de Duarte *et al.*, 2007).

Lateralmente, en casi todos los sectores de la cuenca, se reconoce el Miembro Calizas nodulosas en plaquetas, que corresponde a una unidad compuesta por una alternancia regular de capas centimétricas y con superficies de estratificación muy irregulares de calizas micríticas, microcristalinas y calcilutitas (con finas películas de cuarzo y micas) y de margas marrones-grisáceas muy pobres en carbonato. Los niveles calcáreos más gruesos incluyen

facies con lechos bioclásticos (fragmentos de equinodermos), amalgamaciones erosivas, laminaciones paralelas y cruzadas de bajo ángulo y *ripples* de oleaje y de corriente. Estas facies muestran una bioturbación intensa, reconociéndose *Thalassinoides* EHRENBERG 1944 y *Chondrites* STERNBERG 1833.

El conjunto de características de este miembro de la Formación S. Gião ha permitido interpretar estas facies como resultantes de mecanismos tempestítico-turbidíticos (Duarte, 1997; Duarte *et al.*, 2007), como consecuencia de la actividad tectónica asociada al Macizo de Berlenga.

Los biohermos de espongiarios del Toarciense Medio y Superior

Otro evento característico que se puede reconocer dentro de la sedimentación margo-caliza del Toarciense de la Cuenca Lusitánica, es la presencia de biohermos de esponjas silíceas en el techo de la Formación S. Gião y en la base de la Formación Póvoa da Lomba (Duarte & Soares, 2002). Tal como se mostró en el trabajo de Duarte *et al.* (2001), son cuerpos lenticulares de espesor decimétrico a métrico y dimensiones y, que a veces, llegan a alcanzar los 2 ó 3 m de diámetro. Los biohermos están formados por cuatro componentes principales: matriz micrítica oscura, matriz arcillosa-micrítica clara, esponjas silíceas y otros restos de fósiles de invertebrados, estando la parte central constituida por carbonato de origen microbiano. La mayor parte de las esponjas identificadas pertenecen a las Hexactinélidas, y muestran morfologías cónicas y tubulares, apareciendo junto a raras Litístidas. Los restantes componentes del macrobentos, en algunos casos, son extraordinariamente abundantes pero presentan una baja diversidad. Los más frecuentes son los crinoideos, los rinconélidos, los ostreidos y los pectínidos. En estos cuerpos se encuentran, también, micro-incrustantes tales como serpúlidos, foraminíferos y briozoos.

El registro de estos espongiarios en el Toarciense portugués constituye un dato de mucha importancia paleoambiental y taxonómica, ya que son muy pocas las referencias conocidas para este intervalo de tiempo (Leinfelder *et al.*, 2002). Uno de los aspectos esenciales de la aparición de estos biohermos, que tienen una distribución estratigráfica, secuencial y paleogeográfica bien definida en la Cuenca Lusitánica, está relacionada con la dinámica deposicional. De hecho, el significado de estos biohermos de esponjas silíceas parece presuponer una interacción entre un conjunto de parámetros sedimentarios, tales como la batimetría, la topografía del fondo de la rampa (Fig. 4) y una baja tasa de sedimentación (Duarte *et al.*, 2001).

Impacto educativo del registro sedimentario

Como se ha mencionado, el Jurásico Inferior en la Cuenca Lusitánica tiene un gran potencial científico que ha permitido realizar un importante conjunto de publicaciones de impacto internacional. En consecuencia, estos afloramientos y, en especial la sección de Peniche, han sido muy visitados en los últimos años dentro de las actividades de campo relacionadas con congresos internacionales, contando con el patrocinio de organismos como la *International Association of Sedimentologists* (IAS; Duarte *et al.*, 2004b), ProGEO (Duarte, 2005), TWG-ISJS (Rocha, 2007), Asociación española de Jóvenes Investigadores en Paleontología (Duarte, 2009) y *Grupo de Geoquímica* de la *Sociedade Geológica de Portugal* (GG-SGP; Duarte *et al.*, 2010b) (Tabla 1). Paralelamente, se han llevado a cabo varias actividades de formación e intercambio universitario en el campo de la Geología Sedimentaria, así como programas de formación de profesores de Geología, Biología y Geografía de Enseñanza Secundaria (Duarte, 2005; Duarte *et al.*, 2006). Además, como los materiales del Jurásico Inferior son uno de los potenciales generadores de hidrocarburos de la

Cuenca Lusitánica, también se han realizado múltiples actividades formales e informales con técnicos de la Geología del petróleo (Duarte, 2007b).

Si unimos los argumentos científicos con el valor escénico de algunos afloramientos, como en el caso de Peniche (Fig. 1B), S. Pedro de Moel y Rabaçal (Fig. 1C), se confirma la gran relevancia patrimonial de estas localidades (Duarte, 2004). El reconocimiento de los valores científicos y paisajísticos hace resaltar la importancia de estas tres localidades en temas relacionados con la sedimentología de carbonatos, estratigrafía, paleontología y geomorfología (Duarte, 2005; Duarte *et al.*, 2006) (Tabla 1). Esta asociación de “buena ciencia con buena paisaje”, ha permitido efectuar muchas actividades de divulgación científica dedicadas al público en general, como son las llevadas a cabo en el ámbito del proyecto de *Geologia no Verão*, que es una iniciativa del Programa “Ciência Viva” del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Enseñanza Superior del Gobierno portugués. Estas acciones han consistido en observaciones de campo apoyadas en un buen control temporal de las sucesiones estratigráficas, proporcionado por el importante registro de ammonites. Entre las posibles discusiones paleoambientales que se pueden plantear con este tipo de público, muchas de ellas intuitivas, se encuentran temas de gran actualidad como son el origen de la vida, el petróleo y los cambios climáticos a escala global. En estos aspectos, las evidencias sedimentarias y geoquímicas registradas en el Toarciense Inferior de la Cuenca Lusitánica y sus consecuentes relaciones con la anoxia de los fondos marinos, el vulcanismo y las drásticas alteraciones en la biosfera, constituyen uno de los mejores atractivos para los intervinientes. Se trata de un verdadero cambio a escala del Planeta contada a través del registro sedimentario del Jurásico Inferior en la Cuenca Lusitánica.

Actividad	Localidades	Organización/Tipo de Público
Sesiones científicas de campo en el ámbito de Congresos Internacionales	Peniche, Rabaçal, S. Pedro de Moel	IAS, ProGEO, TWG-ISJS, GG-SGP
Sesiones de campo en el ámbito de Congresos Nacionales	Peniche, Tomar	<i>Associação Portuguesa de Professores de Biologia e Geologia; Associação Portuguesa de Geógrafos</i>
Formación científico-pedagógica de asociaciones socio-profesionales	Peniche, Rabaçal, S. Pedro de Moel, Tomar	<i>Associação Portuguesa de Professores de Biologia e Geologia</i>
Formación en el campo técnico-científico	Peniche, Rabaçal, S. Pedro de Moel	Varias compañías petrolíferas
Sesiones de Formación Científica e Intercambio Universitario	Peniche, Rabaçal, S. Pedro de Moel	Estudiantes universitarios de Portugal, España, Francia y Brasil
Sesiones de campo con estudiantes de Enseñanza Secundaria	Peniche, Rabaçal, S. Pedro de Moel	Estudiantes de Institutos
Acciones de Divulgación Científica	Peniche, Rabaçal, S. Pedro de Moel	Público en General

Tabla 1. Resumen de algunas de las actividades de campo realizadas en el Jurásico Inferior de la Cuenca Lusitánica según los diferentes tipos de públicos.

Consideraciones finales

A pesar de la pequeña dimensión de la Cuenca Lusitánica, es notoria la importancia y calidad de su registro estratigráfico y sedimentario, a lo que se puede añadir la posición paleogeográfica que ocupó entre los dominios tetísicos y preatlántico. Estos calificativos son particularmente válidos para el Jurásico Inferior debido a la relevancia científica de algunos temas recientemente desarrollados. La naturaleza excepcional del registro sedimentario, de localidades de referencia internacional, como Peniche y Rabaçal, han atraído el interés de

numerosos equipos multidisciplinares de investigadores. Por otro lado, su elevado valor científico, asociado al excepcional encuadre paisajístico de algunas localidades configura un escenario ideal para la realización de actividades educativas, de formación técnica y de divulgación científica dentro de la Geología. Esto es una buena prueba del impacto social del Jurásico Inferior en la Cuenca Lusitánica.

Agradecimientos

El autor agradece a María José Comas-Rengifo el análisis crítico del manuscrito, así como su ayuda en la traducción al castellano. Este trabajo se ha realizado en el ámbito del Proyecto PTDC/CTE-GIX/098968/2008, financiado por la *Fundação para a Ciência e Tecnologia* (Portugal).

Referencias

- Azerêdo, A.C., Duarte, L.V., Henriques, M.H. & Manuppella, G. (2003): *Da dinâmica continental no Triásico aos mares do Jurássico Inferior e Médio*. Instituto Geológico e Mineiro (Cadernos de Geologia de Portugal), Lisboa, 43 pp.
- Azerêdo, A.C., Silva, R.L., Duarte, L.V. & Cabral, M.C. (2010): Subtidal stromatolites from the Sinemurian of the Lusitanian Basin (Portugal). *Facies*, 56, 211-230.
- Dommergues, J.L. & Mouterde, R. (1987): The endemic trends of liassic ammonite faunas of Portugal as the result of the opening of a narrow epicontinental basin. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 58: 129-137.
- Duarte, L.V. (1997): Facies analysis and sequential evolution of the Toarcian-Lower Aalenian series in the Lusitanian Basin (Portugal). *Comunicações do Instituto Geológico e Mineiro*, 83: 65-94.
- Duarte, L.V. (1998): Clay minerals and geochemical evolution in the Toarcian Lower Aalenian of the Lusitanian Basin. *Cuadernos de Geología Ibérica*, 24: 69-98.
- Duarte, L.V. (2004): The geological heritage of the Lower Jurassic of Central Portugal: selected sites, inventory and main scientific arguments. *Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia*, 110: 381-388.
- Duarte, L.V. (2005): The Jurassic of the Peniche Peninsula (Central Portugal): An international reference point of great scientific value and educational interest. En: *Jurassic heritage and geoconservation in Portugal: Selected sites. Field Trip Guide Book. IV International Symposium ProGEO on the Conservation of the Geological Heritage, 16-18 September 2005* (M.H. Henriques, A.C. Azerêdo, L.V. Duarte & M. Ramalho, Eds.). Universidade do Minho, Departamento de Ciências da Terra, Braga, 23-31.
- Duarte, L.V. (2007a): Lithostratigraphy, sequence stratigraphy and depositional setting of the Pliensbachian and Toarcian series in the Lusitanian Basin (Portugal). En: *The Peniche section (Portugal). Contributions to the definition of the Toarcian Global Stratotype Section and Point* (R.B. Rocha, Ed.). International Subcommission on Jurassic Stratigraphy, Lisboa, 17-23.
- Duarte, L.V. (2007b): Paragem 5ª. As séries do Jurássico inferior carbonatado na Bacia Lusitânica. O perfil de Peniche. En: *Curso de Campo na Bacia Lusitânica (Portugal). Roteiro* (R. Pena dos Reis, N. Pimentel, A. Garcia, & G. Bueno, Eds.). Instituto Pedro Nunes, Petrobras y Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Coimbra, 99-104.
- Duarte, L.V. (2009): O Jurássico inferior de Peniche. Singularidades e eventos à escala global. En: *Actas do VII Encontro de Jovens Investigadores em Paleontologia. Torres Vedras, 7 a 10 de Maio de 2009* (A. Pérez García, B.C. Silva, E. Malafaia & F. Escaso, Eds.). *Paleolusitana*, 1: 451-457.
- Duarte, L.V. & Soares, A.F. (2002): Litostratigrafia das séries margo-calcárias do Jurássico Inferior da Bacia Lusitânica (Portugal). *Comunicações do Instituto Geológico e Mineiro*, 89: 135-154.
- Duarte, L.V., Perilli, N., Dino, R., Rodrigues, R. & Paredes, R. (2004a): Lower to Middle Toarcian from the Coimbra region (Lusitanian Basin, Portugal): sequence stratigraphy, calcareous nannofossils and stable-isotope evolution. *Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia*, 110: 115-127.
- Duarte, L.V., Wright, V.P., López, S.F., Elmi, S., Krautter, M., Azerêdo, A.C., Henriques, M.H., Rodrigues, R. & Perilli, N. (2004b): Early Jurassic carbonate evolution in the Lusitanian Basin (Portugal): facies, sequence stratigraphy and cyclicity. En: *23rd IAS Meeting of Sedimentology, Coimbra, Portugal, 15-17 September 2004: Sedimentology and Society. Vol. 1. Field trip guidebook: Carboniferous and Jurassic carbonate platforms of Iberia* (L.V. Duarte & M.H. Henriques, Eds.). International Association of Sedimentologists, Coimbra, 45-71.

- Duarte, L.V., Bertão, C. & Anacleto, H. (2006): Geologia para o Grande Público. Exemplos do Jurássico inferior de Portugal. En: *Livro de Actas do Simpósio Ibérico do Ensino da Geologia*. Universidade de Aveiro, Aveiro, 227-232.
- Duarte, L.V., Oliveira, L.C.V. & Rodrigues, R. (2007): Carbon isotopes as a sequence stratigraphic tool: examples from the Lower and Middle Toarcian marly limestones of Portugal. *Boletín Geológico y Minero*, 118: 3-18.
- Duarte, L. V., Silva, R.L., Mendonça Filho, J. G. & Oliveira, L. C. (2010a): Evidências geoquímicas do Jurássico Inferior de Peniche (Bacia Lusitânica, Portugal): Estado de arte e perspectivas futuras. En: *Saídas de Campo do X Congresso de Geoquímica dos Países de Língua Portuguesa/XVI Semana de Geoquímica* (D.Flores & M. Marques, Eds.). Universidade do Porto, Faculdade de Ciências, Departamento de Geologia (Memórias, 15), Porto, 3-24.
- Duarte, L.V., Silva, R.L., Oliveira, L.C.V., Comas-Rengifo, M.J. & Silva, F. (2010b): Organic-rich facies in the Sinemurian and Pliensbachian of the Lusitanian Basin, Portugal: Total Organic Carbon distribution and relation to transgressive-regressive facies cycles. *Geologica Acta*, 8: 325-340.
- Elmi, S. (2006): Pliensbachian/Toarcian boundary: the proposed GSSP of Peniche (Portugal). En: *Abstracts of Talks and Posters presented during the 7th International Congress on the Jurassic System. September 6-18, 2006, Kraków, Poland. Volumina Jurassica*, 4: 5-16.
- Elmi, S., Rocha, R.B. & Mouterde R. (1988): Sédimentation pélagique et encroûtements cryptalgaires: les calcaires grumeleux du Carixien portugais. *Ciências da Terra*, 9: 69-90.
- Elmi S., Goy A., Mouterde R., Rivas P. & Rocha R. (1989): Correlaciones bioestratigráficas en el Toarciense de la Península Iberica. *Cuadernos de Geología Ibérica*, 13: 265-277.
- Elmi, S., Mouterde, R., Rocha, R. B. & Duarte, L. V. (1996): La limite Pliensbachien-Toarcien au Portugal: intérêt de la coupe de Peniche. En: *Meeting on Toarcian and Aalenian Stratigraphy, Nuévalos and Freiburg, September 1996* (S. Cresta, Ed.). International Subcommission on Jurassic Stratigraphy (Aalenews, 6), 33-35.
- Fernández-López S., Duarte L.V. & Henriques M.H. (2000): Ammonites from lumpy limestones in the Lower Pliensbachian of Portugal: taphonomic analysis and palaeoenvironmental implications. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 13: 3-15.
- Gómez, J.J., Goy, A. & Canales, M.L. (2008): Seawater temperature and carbon isotope variations in belemnites linked to mass extinction during the Toarcian (Early Jurassic) in Central and Northern Spain. Comparison with other European sections. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 258: 28-58.
- Hesselbo, S.P., Gröcke, D.R., Jenkyns, H.C., Bjerrum, C.J., Farrimond, P., Morgans Bell, H.S. & Green, O.R. (2000): Massive dissociation of gas hydrate during a Jurassic oceanic anoxic event, *Nature*, 406, 392-395.
- Hesselbo, S.P., Jenkyns, H.C., Duarte, L.V. & Oliveira, L.C.V. (2007): Carbon-isotope record of the Early Jurassic (Toarcian) Oceanic Anoxic Event from fossil wood and marine carbonate (Lusitanian Basin, Portugal). *Earth and Planetary Science Letters*, 253: 455-470.
- Jenkyns, H.C. (1988): The early Toarcian (Jurassic) anoxic event: stratigraphic, sedimentary, and geochemical evidence. *American Journal of Science*, 288: 101-151.
- Leinfelder, R.R., Schmid, U., Nose, M. & Werner, W. (2002): Jurassic reef patterns - the expression of a changing globe. En: *Phanerozoic reef patterns* (W. Kiessling, E. Flügel & J. Golonka, Eds.). Society for Sedimentary Geology (SEPM Special Publication, 72), Tulsa, 465-520.
- Little, C.T.S. & Benton, M.J. (1995): Early Jurassic mass extinctions. A global long-term event. *Geology*, 23: 495-498.
- Mattioli, E., Pittet, B., Petitpierre, L. & Mailliot, S. (2009): Dramatic decrease of pelagic carbonate production by nannoplankton across the Early Toarcian anoxic event (T-OAE). *Global and Planetary Change*, 65: 134-145.
- Mouterde, R. (1955): Le Lias de Peniche. *Comunicações dos Serviços Geológicos de Portugal*, 36: 5-33.
- Mouterde, R. (1967): Le Lias du Portugal. Vue d'ensemble et division en Zones. *Comunicações dos Serviços Geológicos de Portugal*, 52: 209-226.
- Mouterde, R. & Ruget, C. (1984): Le passage Domerien-Toarcien dans le Lias portugais. En: *Volume d'hommage au géologue Georges Zbyszewski a l'occasion de son passage à la retraite, 22 Octobre 1979*. Editions Recherche sur les civilisations, Paris, 203-211.

- Mouterde, R., Dommergues, J.L., Meister, C. & Rocha, R.B. (2007): Atlas des fossiles caractéristiques du Lias portugais. III a, Domérien (Ammonites). *Ciências da Terra*, 16: 67-111.
- Oliveira, L.C.V., Rodrigues, R., Duarte, L.V. & Lemos, V. (2006): Avaliação do potencial gerador de petróleo e interpretação paleoambiental com base em biomarcadores e isótopos estáveis do carbono da seção Pliensbaquiano-Toarciano inferior (Jurássico inferior) da região de Peniche (Bacia Lusitânica, Portugal). *Boletim de Geociências da Petrobras*, 14: 207-234.
- Oliveira, L.C.V., Duarte, L.V., Lemos, V.B., Comas-Rengifo, M.J. & Perilli, N. (2007): Bioestratigrafia de nanofósseis calcários e correlação com as zonas de amonites do Pliensbaquiano-Toarciano basal (Jurássico inferior) de Peniche (Bacia Lusitânica, Portugal). En: *Paleontologia: Cenários de Vida. Volume 2* (I.S. Carvalho, R.C.T. Cassab, C. Schwanke, M.A. Carvalho, A.C.S. Fernandes, M.A.C. Rodrigues, M.S.S. Carvalho, M. Arai & M.E.Q. Oliveira, Eds) [Proceedings of XIX Congresso Brasileiro de Paleontologia, Búzios]. Interciência, Rio de Janeiro, 411-420.
- Oliveira, L.C.V., Duarte L.V., Silva R.L. & Rodrigues R. (2009): Belemnite $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^{13}\text{C}$ record of the Lusitanian Basin Pliensbachian carbonate series (Portugal). En: *Awards Ceremony Speeches and Abstracts of the 19th Annual V.M. Goldschmidt Conference, V.M. Goldschmidt Conference. Davos, Switzerland. Geochimica et Cosmochimica Acta*, 73(13, Supplement 1): A969.
- Pálfy, J. & Smith, P.L. (2000): Synchrony between Early Jurassic extinction, oceanic anoxic event, and the Karoo-Ferrar flood basalt volcanism, *Geology*, 28, 747-750.
- Perilli, N. & Duarte, L.V. (2006): Toarcian nannobiohorizons from the Lusitanian Basin (Portugal) and their calibration against ammonite zones. *Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia*, 112: 417-434.
- Pinto, S., Cabral, M.C. & Duarte, L.V. (2007): The ostracod faunas from the Lower Toarcian of Peniche (Portugal): stratigraphic distribution. En: *XXIII Jornadas de Paleontologia de la Sociedad Española de Paleontología. Caravaca de la Cruz, 3-6 de octubre de 2007. Libro de resúmenes* (J.C Braga, A. Checa & M. Company, Eds.). Instituto Geológico y Minero de España y Universidad de Granada, Granada, 183-184.
- Rocha, R.B. (Ed) (2007): *The Peniche section (Portugal). Contributions to the definition of the Toarcian Global Stratotype Section and Point*. International Subcommission on Jurassic Stratigraphy, Lisboa, 66 pp.
- Silva, R.L., Duarte, L.V., Mendonça Filho, J.G., Silva, T.F. & Azerêdo, A.C. (2010): A geoquímica orgânica como ferramenta na caracterização paleoceanográfica do Pliensbaquiano da Bacia Lusitânica (Portugal): avanços e novas metas. En: *Actas do X Congresso de Geoquímica dos Países de Língua Portuguesa/XVI Semana de Geoquímica* (D. Flores & M. Marques, Eds.). Universidade do Porto, Faculdade de Ciências, Departamento de Geologia (Memórias, 14, CD-ROM), Porto, 381-387.
- Soares A.F., Rocha R.B., Elmi S., Henriques M.H., Mouterde R., Almerás Y., Ruget C., Marques J., Duarte L.V., Carapito C. & Kullberg J.C. (1993): Le sous-bassin nord-lusitanien (Portugal) du Trias au Jurassique moyen: histoire d'un "rift avorté". *Comptes rendus de l'Académie des Sciences. Série IIa-Sciences de la Terre et des planètes*, 317: 1659-1666.
- Suan, G., Mattioli, E., Pittet, B., Mailliot, B. & Lécuyer, C. (2008a): Evidence for major environmental perturbation prior to and during the Toarcian (Early Jurassic) oceanic anoxic event from the Lusitanian Basin, Portugal. *Paleoceanography*, 23: PA1202, 14 pp.
- Suan, G., Pittet, B., Bour, I., Mattioli, E., Duarte, L.V. & Mailliot, S. (2008b): Duration of the Early Toarcian carbon isotope excursion deduced from spectral analysis: consequence for its possible causes. *Earth and Planetary Science Letters*, 267: 666-679.
- Suan, G., Mattioli, E., Pittet, B., Lécuyer, C., Suchéras-Marx, B., Duarte, L.V., Philippe, M., Reggiani, L. & Martineau, F. (2010): Secular environmental precursors to Early Toarcian (Jurassic) extreme climate changes. *Earth and Planetary Science Letters*, 290: 448-458.
- Wilson, R.C.L., Hiscott, R.N., Willis, M.G. & Gradstein, F.M. (1989): The Lusitanian Basin of west-central Portugal: Mesozoic and Tertiary tectonic, stratigraphic and subsidence history. En: *Extensional Tectonics and Stratigraphy of the North Atlantic Margins* (A.J. Tankard & H.R. Balkwill, Eds.). American Association of Petroleum Geologists (AAPG Memoir, 46), Tulsa, 341-361.
- Wright, V.P. & Wilson, R.C.L. (1984): A carbonate submarine-fan sequence from the Jurassic of Portugal. *Journal Sedimentary Petrology*, 54: 394-412.