

MONOGRAFÍAS  
DE LA  
REAL ACADEMIA  
DE CIENCIAS

Exactas

Físicas

Químicas y

Naturales

DE

ZARAGOZA

Nº 41

**Premios de Investigación  
Centenario de la Academia**



2017

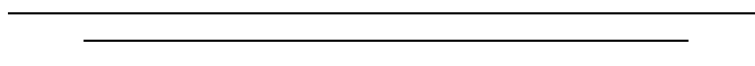
© Real Academia de Ciencias de Zaragoza

Depósito legal: Z989-2017

ISSN: 1132-6360

## ÍNDICE DE MATERIAS

Prólogo	
A. ELIPE .....	7
The mathematical and numerical life of the single layer potential, from Coulomb to Huygens	
FRANCISCO-JAVIER SAYAS .....	11
Conceptos básicos en Nanoplasmónica	
LUIS MARTÍN-MORENO .....	37
Tres décadas de investigación en química experimental y teórica: del enlace químico al diseño de fármacos epigenéticos	
FRANCISCO P. COSSÍO .....	55
El yacimiento Cámbrico de Murero (prov. de Zaragoza) ejemplo de convergencia entre ciencia y patrimonio	
RODOLFO GOZALO GUTIÉRREZ .....	83



# El yacimiento Cámbrico de Murero (prov. de Zaragoza) ejemplo de convergencia entre ciencia y patrimonio

Rodolfo Gozalo Gutiérrez

Departamento de Botánica y Geología

Facultad de Ciencias Biológicas

Universitat de València

*Premio de Investigación Centenario de la Academia. Sección de Naturales*

## Abstract

The classical, lower and middle Cambrian Lagerstätte of Murero was discovered in 1862, and now it achieves more than 150 years of geological and palaeontological works. In this paper we show briefly the history of the site research and the state of the knowledge on its stratigraphy and palaeontology together with the Biota of Murero. It has been recorded in Murero and several localities of the Iberian Chains where the Mesones Group crops out. The Biota of Murero is exceptional because the coexistence of both skeletal and soft-bodied fossils along a continuous record of circa 10 million years between the Bilbilian to lower Languedocian stages, that are equivalent to Stage 4 of Cambrian to Drumian in the international chronostratigraphic subdivision of the Cambrian System. The inherited, educational and social interest of the site is also highlighted. In consonance with its scientific and social importance, Murero was the first palaeontological site in Spain to obtain the highest protection figure of Bien de Interés Cultural (BIC) in 1997.

## Resumen

El yacimiento clásico de Murero, Cámbrico inferior y medio, fue descubierto en 1862; en los últimos 150 años se han realizado numerosos estudios geológicos y paleontológicos, siendo considerado como un yacimiento tipo Lagerstätte. Este trabajo quiere mostrar, de manera sucinta, la historia de los estudios sobre esta localidad y el estado actual del conocimiento de su Estratigrafía y Paleontología, así como de la denominada Biota de Murero. Ésta se registra en Murero y diversas localidades de las Cadenas Ibéricas donde aflora el Grupo Mesones. La Biota de Murero es

excepcional por que en ella coexisten tanto fósiles de organismos de exoesqueleto mineralizado como de cuerpo blando y presenta un registro continuo de unos 10 millones de años, entre los pisos Bilbiliense y Languedociense inferior o, en la subdivisión cronoestratigráfica internacional del Sistema Cámbrico, desde el piso 4 del Cámbrico hasta el Drumiense. También se destaca el interés educativo, patrimonial y social de la localidad de Murero, que viene avalado por haber sido el primer yacimiento paleontológico español protegido y declarado como Bien de Interés Cultural (BIC) en 1997.

## 1. Introducción

Desde el descubrimiento de los primeros trilobites en Murero por Edouard de Verneuil en 1862 hasta la actualidad, se ha producido, no sólo un incremento exponencial del conocimiento geológico y paleontológico del yacimiento y de los materiales en él representados y en otras localidades de las Cadenas Ibéricas, si no que en los últimos años se ha realizado una puesta en valor del yacimiento tanto desde un punto de vista patrimonial como de sus usos como dinamizador en áreas rurales.

Este trabajo pretende ser una breve síntesis del conocimiento actual del yacimiento –contextualizado en los avances del conocimiento del Cámbrico– a partir de trabajos, proyectos y tesis doctorales realizados por el equipo dirigido por el Prof. Eladio Liñán y sus colaboradores, entre los que me encuentro, y las actuaciones sobre la adecuación del yacimiento para poder recibir visitas y, en un futuro, el establecimiento de un aula de interpretación en la Comarca del Campo de Daroca.

## 2. Historia de un yacimiento emblemático

Desde un punto de vista histórico los trabajos de Liñán & Gozalo (1986, 1999) ofrecen un pormenorizado estudio de las aportaciones al conocimiento del yacimiento que a continuación sintetizamos, para luego hacer un periplo sobre las principales aportaciones realizadas en el presente siglo.

Como ya se ha comentado, la primera referencia a los fósiles de Murero se publicó en el año 1862, en la *Revista Minera*. Dentro de su sección de “Variedades” se inserta una nota en la que se informa del descubrimiento de la “Fauna Primordial” por parte de Verneuil. Concretamente cita “un *Paradoxides* particular y el *Conocephalites coronatus*”; el propio Verneuil vuelve a referirse a este descubrimiento en la sesión de 22 de Junio de 1863 de la Sociedad Geológica de Francia (Verneuil & Lartet, 1863).

Casi simultáneamente el ingeniero de minas español Felipe Martín Donayre, que estaba realizando el mapa geológico de la provincia de Zaragoza, encontró diversos fósiles en las inmediaciones de Murero; aunque por distintos motivos este trabajo no se publicó hasta

1873 en el primer volumen de las *Memorias de la Comisión del Mapa Geológico de España*. Aquí, el listado de fósiles del yacimiento de Murero es más amplio y detallado; así cita *Conocephalites Sulzeri*, *Conocephalites coronatus*, *Conocephalites Ribeiro*, *Paradoxides rotundatus* y *Paradoxides spinosus* (Donayre, 1873).

La primer figuración de un trilobites de Murero se debe al oscense Lucas Mallada, quien en 1875, en el primer tomo de su “*Sinopsis de las especies fósiles que se han encontrado en España*”, figura un ejemplar completo de *Conocephalites Sulzeri*, que se encuentra deformado tectónicamente, y que según la nomenclatura actual corresponde a la especie *Conocoryphe heberti*.

En los trabajos citados, al hablar de la fauna de Murero se data como la Fauna Primordial del Siluriano. El primer autor que comienza a hablar de Cambriano es Palacios (1893) quien además amplió la lista de fósiles, citando no sólo trilobites si no también el género *Leperditia*, que probablemente corresponde a valvas de braquiópodos.

El primer trabajo estratigráfico detallado de los materiales cámbricos del yacimiento de Murero y áreas cercanas se debe a Dereims (1898) quien, en su tesis doctoral, realiza un corte detallado de la Rambla de Valdemiedes en su figura 3 y de los afloramientos de Villafeliche en su figura 4; además, ofrece un listado más completo de la fauna del yacimiento. Aunque este autor no era consciente de la compleja tectónica que afecta al yacimiento y áreas aledañas, establece una serie de tramos que se pueden identificar sin excesivas dificultades dentro del esquema estratigráfico utilizado en la actualidad.

Como indican Liñán & Gozalo (1999), estos son los trabajos pioneros en el descubrimiento y conocimiento del yacimiento, que siempre se encuadran dentro de estudios de carácter regional, y en los que los fósiles constituyen el elemento básico para poder datar los materiales y establecer la secuencia estratigráfica correcta. Es curioso notar que ningún autor plantea la posibilidad de la existencia de especies nuevas y que la principal afinidad biogeográfica sea con la bien conocida fauna de Bohemia, aunque Dereims en su trabajo también incluye especies que previamente se había definido en la Cordillera Cantábrica (Verneuil & Barrande *in* Prado *et al.*, 1860) o en la Montaña Negra francesa (Bergeron, 1889).

El siguiente impulso al conocimiento tanto del yacimiento como del Paleozoico del Sistema Ibérico viene de la mano de la escuela alemana; Franz Lotze realizó su tesis doctoral en 1928 (publicada en 1929) en la que se pusieron los cimientos del conocimiento estratigráfico y tectónico de la región. Los trilobites que encontró fueron estudiados por Rudolph y Emma Richter, que plantearon la existencia de varias especies nuevas e indicaron la existencia de varios niveles con trilobites distintos pero consistentes con los datos estratigráficos. Estos datos fueron publicados en el trabajo de Lotze (1929) pero no se publicó ningún estudio paleontológico del material. Este trabajo tuvo continuidad tres décadas después en 1958 con dos publicaciones: una del propio Lotze y otra de Klaus

Sdzuy, dedicadas a definir diversas especies, varias de ellas del yacimiento de Murero. Estos dos trabajos son el prelude de la magna obra “*Das Kambirum Spanien*” publicada en tres tomos; el primero firmado por Lotze está dedicado a la estratigrafía y tectónica del Cámbrico español y los dos siguientes firmados por Sdzuy están dedicados a los trilobites. En estas publicaciones encontramos el primer estudio pormenorizado del yacimiento de Murero, donde los autores señalan distintos niveles con distintas asociaciones de trilobites, lo que les permite establecer una primera bioestratigrafía informal del yacimiento y referir 36 taxones de trilobites, varios de ellos definidos en el yacimiento como el famoso *Paradoxides mureroensis*. Un aspecto relevante, además de demostrar el potencial bioestratigráfico del yacimiento, fue que por primera vez la mayoría de las especies descritas estaban definidas en España, o bien en Europa occidental pero con muy poca afinidad específica con las faunas bohémicas, lo que posteriormente conduciría al reconocimiento de la Subprovincia Mediterránea por Sdzuy (1967) (ver Sdzuy *et al.*, 1999) dentro de la Provincia Acadobáltica (ver Sdzuy, 1972). Estos trabajos suponen la base de todos los estudios posteriores y siguen siendo de cita ineludible.

La siguiente fecha importante para el estudio del yacimiento es 1986, en el que se publicaron tres trabajos relevantes. Conway-Morris & Robison (1986) publicaron por primera vez la presencia de fósiles de cuerpo blando en Murero, concretamente *Palaeoscolex* cf. *P. ratcliffei*, un anélido tipo paleoescolécido. Por otro lado, Mergl & Liñán (1986) ofrecen el primer listado exhaustivo de los braquiópodos, de los que previamente sólo se había definido en Murero la especie *Trematobolus simplex*, considerado primero como un bivalvo (Vogel, 1962) y posteriormente transferido al género *Trematobolus*, un braquiópodo inarticulado (Havlicek & Kriz, 1978). Por último, Liñán & Gozalo (1986) publican una monografía sobre la geología, estratigrafía y sistemática de trilobites del yacimiento, ofreciendo una cartografía a escala 1:10.000 y cuatro secciones detalladas con la distribución de los 58 taxones de trilobites que describen en el trabajo, a la vez que proponen la primera división bioestratigráfica detallada del yacimiento. Desde el punto de vista paleobiológico el hecho más destacable fue la demostración fehaciente de la existencia de dimorfismo en tres especies de paradoxídidos (ver Gozalo *et al.*, 2003c).

Se puede decir que con este trabajo se inicia una nueva etapa de estudio del Cámbrico de las Cadenas Ibéricas, incluido el yacimiento de Murero, que ha sido realizada fundamentalmente desde las universidades de Zaragoza y Valencia, bajo la dirección de Eladio Liñán en una primera etapa y posteriormente con la codirección del firmante, y que incluye la realización de 6 tesis doctorales, cuatro de ellas sobre trilobites, una de icnofósiles y otra de equinodermos, que incluyen el yacimiento de Murero como parte de su área de trabajo.

### 3. Situación geológica y estratigráfica

Desde el punto de vista geológico, los afloramientos cámbricos de las Cadenas Ibéricas del Grupo Mesones (Liñán *et al.*, 1992) se ubican en las unidades tectonoestratigráficas de Badules y Mesones, que se consideran como la prolongación de las zonas Asturoccidental Leonesa y Cantábrica del Macizo Ibérico (ver Gozalo & Liñán, 1988; Fig. 1).

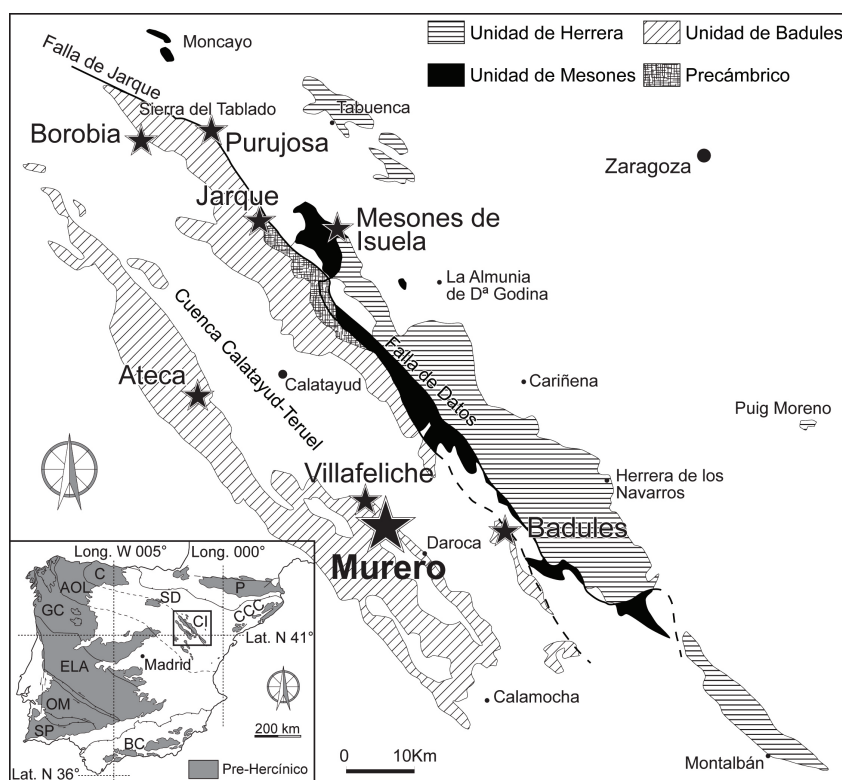


Figura 1: Afloramientos prehercínicos y unidades tectonoestratigráficas de las Cadenas Ibéricas, mostrando las principales localidades donde se registra la Biota de Murero (modificado de Gozalo & Liñán, 1988).

El Cámbrico de las Cadenas Ibéricas, en su conjunto, presenta un espesor total de más de 3000 metros, dividido en seis formaciones para el Cámbrico inferior y dos grupos para el Cámbrico medio y superior (Gozalo, 1995; Liñán *et al.*, 2002, 2004; Gozalo *et al.*, 2004a, 2008).



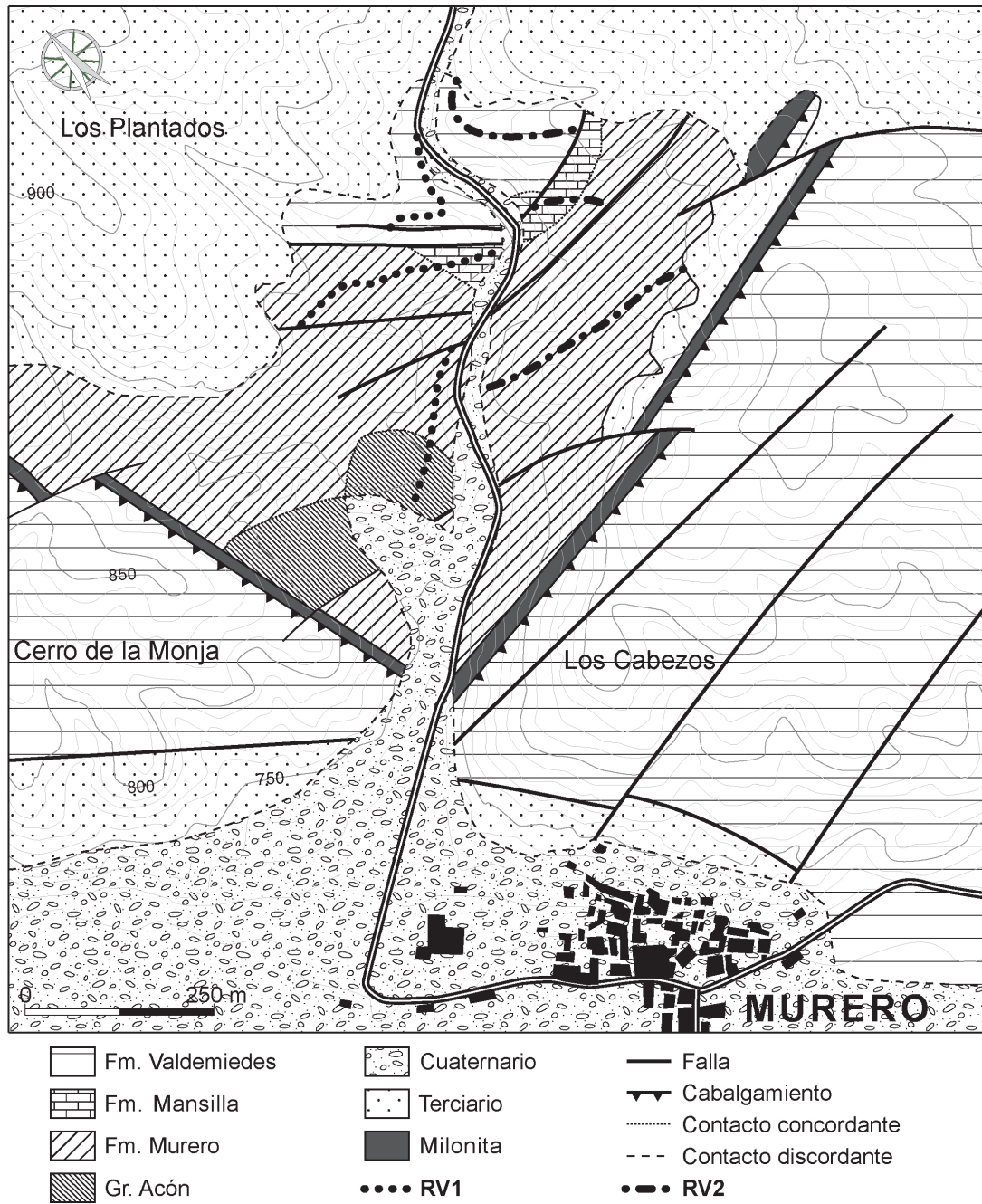


Figura 2: Mapa geológico de los alrededores de Murero (modificado de Liñán & Gozalo, 1986).

La primera estratigrafía detallada del yacimiento de Murero se debe a Liñán & Gozalo (1986) que reconocieron y cartografiaron (Fig. 2) cuatro unidades informales, que posteriormente fueron identificadas como las formaciones Valdemiedes, Mansilla y Murero, más la base del Grupo Acón (Liñán *et al.*, 1991). Las tres primeras se agruparon posteriormente dentro del Grupo Mesones (Liñán *et al.*, 1992), mientras que la parte más alta de la secuencia correspondería a la base de la Formación Borobia del Grupo Acón. En el conjunto del yacimiento de Murero encontramos una sucesión de estratos de 210 metros de espesor (Figs. 3 y 4).

Las formaciones del Grupo Mesones fueron sucesivamente identificadas desde el norte de la provincia de Teruel hasta la provincia de Soria en las Cadenas Ibéricas; así como en la Sierra de la Demanda (Liñán *et al.*, 2002, 2004). En muchas de estas localidades se han encontrado numerosos fósiles cuyo conjunto se ha denominado Biota de Murero por sus peculiares características paleobiológicas y tafonómicas (Liñán, 2003).

#### **4. Bioestratigrafía del yacimiento de Murero y su importancia internacional**

Uno de los principales valores científicos del yacimiento de Murero, cuyos estratos suponen un lapso temporal de unos 10 millones de años, aproximadamente entre los 515 y 505 millones de años de antigüedad, es que el registro de trilobites contenido en el mismo ha permitido construir una escala bioestratigráfica muy detallada desde la parte más alta del Cámbrico inferior hasta gran parte del Cámbrico medio, en el sentido clásico, y que se considera estándar para la región Mediterránea (ver Sdzuy *et al.*, 1999; Gozalo *et al.*, 2003a).

La primera subdivisión bioestratigráfica del Cámbrico español fue realizada por Lotze y Sdzuy, en sus trabajos de 1961, en los que hablaron de una serie de unidades que denominaron *Band*, posteriormente fue revisada por Sdzuy (1968) con datos de la Cordillera Cantábrica. Finalmente, Sdzuy (1971a, 1971b, 1972) estableció una primera división en pisos para el Cámbrico inferior y medio de la Península Ibérica, esta escala se fue completando con los trabajos de Liñán (1984), Liñán *et al.* (1993b) y Álvaro & Vizcaíno (1998); para una revisión actualizada véase Liñán *et al.* (2002, 2004, 2008; Gozalo *et al.*, 2003a). Los pisos representados en el yacimiento de Murero son el Bilbiliense, Leoniense, Caesaraugustiense y la base del Languedociense. En referencia a la escala internacional para el Cámbrico, actualmente en elaboración por la *International Subcommission on Cambrian Stratigraphy* (ISCS, ver Peng *et al.*, 2012), equivaldrían a parte del Piso 4 y Piso 5 del Cámbrico y a casi todo el Drumense (ver Gozalo *et al.*, 2011a, 2011b, 2013).

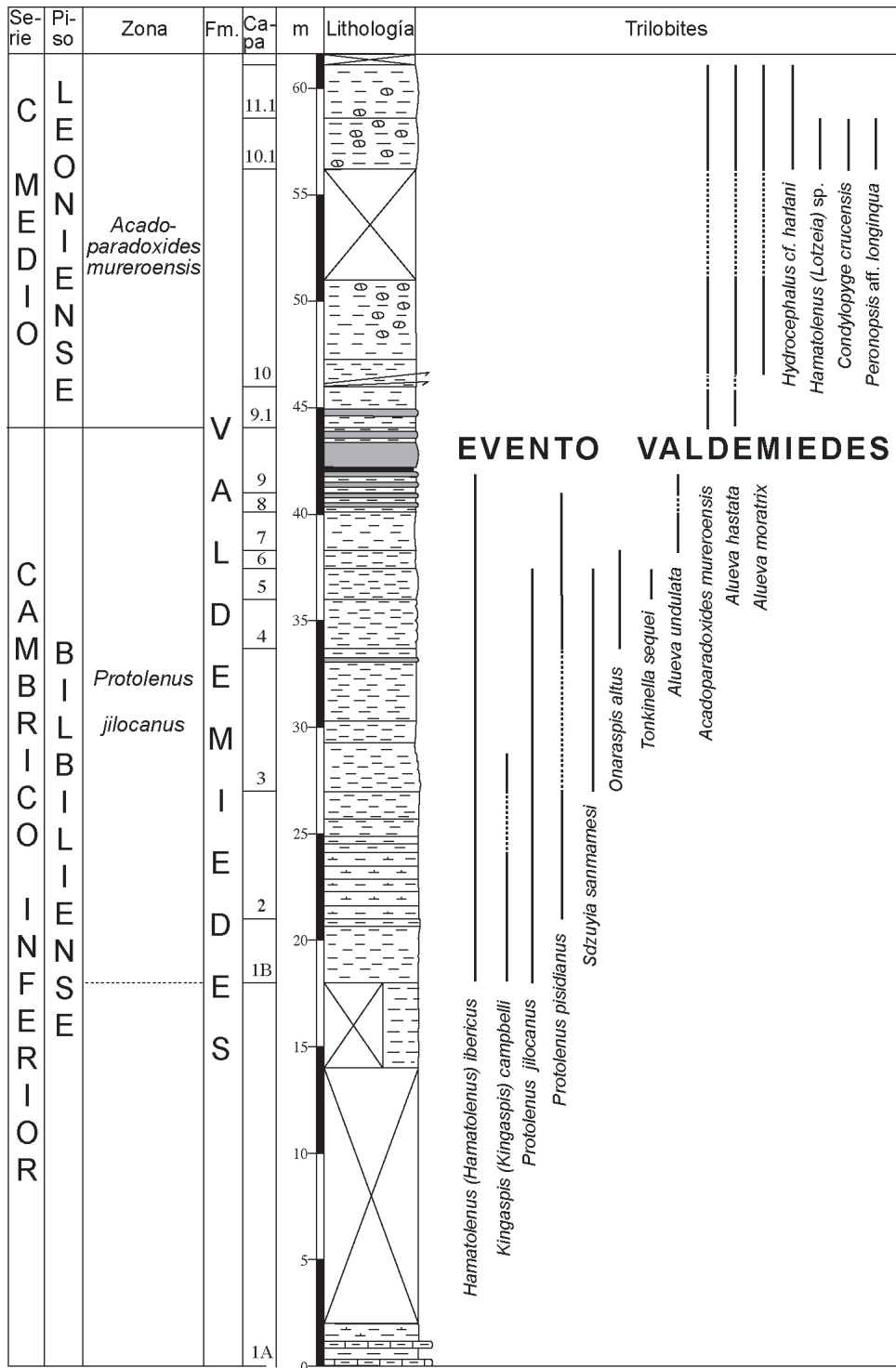


Figura 3: Sección Rambla de Valdemiedes 1 (RV1), bioestratigrafía y distribución de los trilobites de la Formación Valdemiedes (modificado de Liñán *et al.*, 1993a, 2008a).



El límite clásico entre el Cámbrico inferior y medio se sitúa en el límite Bilbiliense-Leoniense, en el que se registra el evento Valdemiedes (Liñán *et al.*, 1993b; Álvaro *et al.*, 1993; Gozalo *et al.*, 1993a, b, 2007, 2013; Sdzuy *et al.*, 1999). El equivalente actual en la nueva subdivisión de la ISCS sería el límite entre las Series 2 y 3 del Cámbrico, que coincide con el límite entre los Pisos 4 y 5 actualmente en estudios (ver Gozalo *et al.*, 2013; Sundberg *et al.*, 2016).

También fue Sdzuy (1968, 1972) quien propuso una primera subdivisión en niveles informales para parte del Cámbrico medio de la Cordillera Cantábrica. Liñán & Gozalo (1986) utilizando como base esta propuesta establecieron la primera biozonación detallada para el yacimiento de Murero. Estos autores proponen varias biozonaciones con diferentes grupos de trilobites, por ej. paradoxíidos, solenopleurópsidos, agnóstidos y conocorífidos, y finalmente hacen un propuesta conjunta para el yacimiento utilizando distintos conceptos de zona. En trabajos posteriores esta zonación se ha ido perfilando y mejorando, actualmente se han establecido una serie de filozonas para cada piso utilizando distintos linajes evolutivos; así se utilizan protolénidos para las biozonas del Bilbiliense (Dies *et al.*, 2004; Gozalo *et al.*, 2007), paradoxíidos para las biozonas del Leoniense (Gozalo & Liñán, 1995; Sdzuy *et al.*, 1999; Gozalo *et al.*, 2007) y solenopleurópsidos para el Caesaraugustiense y Languedociense inferior (Liñán & Gozalo, 1986; Chirivella *et al.*, 2003; Gozalo *et al.*, 2011b, Chirivella *et al.*, *submit.*). Ello ha permitido subdividir los aproximadamente diez millones de años que abarca el registro del yacimiento en doce rodajas temporales (Cuadro 1) correlacionables en toda la región Mediterránea y la correlación internacional del yacimiento, que para con muchas regiones puede hacerse estrato a estrato.

#### 4.1. El límite Cámbrico inferior/medio: El Evento Valdemiedes

En el apartado tanto bioestratigráfico como cronoestratigráfico, uno de los hitos más importantes es la definición del límite Cámbrico inferior/medio clásicos, equivalente al límite entre las Series 2 y 3 del Cámbrico, actualmente en estudio por la ISCS. Se realizaron varias propuestas internacionales con especies de trilobites, una de ellas fue utilizar como marcador cronológico la especie *Acadoparadoxides mureroensis* y la sección Rambla de Valdemiedes 2 (en el yacimiento de Murero) como posible sección de referencia (Fig. 5; ver Gozalo *et al.*, 2013).

Sdzuy (1958, 1961) identificó en Murero fauna del Cámbrico inferior; en estos trabajos y en el posterior de Liñán & Gozalo (1986), se propuso situar el límite en la aparición de *Paradoxides mureroensis*, pero existía el problema de que su registro más antiguo parecía coexistir con varias especies típicas del Cámbrico inferior. Pero Liñán *et al.* (1993a) realizaron un muestreo detallado de las dos secciones donde se registra este límite en Murero (Figs. 3 y 5), a la vez que se realizaron diversos estudios en otras localidades (Gozalo *et al.*, 1993a, 1993b; Álvaro *et al.*, 1993) y descubrieron que la coexistencia era

Serie	Piso	Zonas	Piso ICS	Serie ICS
Cámbrico Medio (Part)	Languedociense (Part)	<i>Solenopleuropsis thorali</i>	Drumiense (part)	Serie 3 del Cámbrico (part)
	Caesaraugustiense	<i>Solenopleuropsis simula</i>		
		<i>Solenopleuropsis verdiagana</i>		
		<i>Solenopleuropsis ribeiroi</i>		
		<i>Pardailhanian multispinosa</i>		
		<i>Pardailhanian hispida</i>		
		<i>Badulesia granieri</i>		
	<i>Badulesia tenera</i>	Piso 5 del Cámbrico (Part)		
	Leoniense		<i>Eccaparadoxides asturianus</i>	
			<i>Eccaparadoxides szuyi</i>	
<i>Acadoparadoxides mureroensis</i>				
Cámbrico inferior (Part)	Bilbiliense (Part)	<i>Protolenus jillocanus</i>	Piso 4 del Cámbrico (Part)	Serie 2 del Cámbrico (part)

Cuadro 1: Zonación de trilobites propuesta para el yacimiento de Murero, con indicación de las escalas cronoestratigráficas establecidas para la región Mediterránea y por la ICS.

un problema de muestreo, ya que en la sección utilizada por Lotze y Sdzuy como referencia en 1961, estaba fallada justo en los niveles estudiados, lo que repetía parte de la secuencia.

El estudio detallado de las secciones, junto con los análisis petrológicos y mineralógicos, y el muestreo paleontológico de gran precisión realizado por Liñán y colaboradores, llevó a descubrir dos hechos importantes, el primero es que la especie *Paradoxides mureroensis* no se registraba en el mismo nivel que las especies típicas del Cámbrico inferior y el segundo que los niveles que estaban justo por debajo de esta primera aparición, presentaban una serie de cambios tanto en la mineralogía, en la composición de las paleocomunidades de trilobites, una variación en la icnocenosis, una miniaturización de la fauna, una caída en la diversidad de los icnofósiles y la desaparición de todos los trilobites registrados en los niveles precedentes. De este modo caracterizaron un evento que denominaron Valdemiedes, por su localización en la Rambla homónima. Estos hallazgos fueron presentados y discutidos en la excursión realizada por la ICS al Cámbrico de España (Liñán *et al.*, 1996a; Gozalo *et al.*, 1996). Dada la importancia del límite y que durante más de dos

décadas ha sido uno de los elementos constantes de discusión y confrontación científica dentro de la citada Subcomisión, nuestro grupo siguió profundizando y analizando no sólo los aspectos paleontológicos y bioestratigráficos (Sdzuy *et al.*, 1999; Dies *et al.*, 2004, 2013; Dies & Gozalo, 2004, 2006; Liñán *et al.*, 2006; Gozalo *et al.*, 2007), si no también realizando estudios sedimentológicos (Gámez Vintaned *et al.*, 2009) y análisis de isótopos (Subías *et al.*, 2010). Toda esta información fue presentada a la subcomisión (Liñán *et al.*, 2008b) y puesta a disposición de la comunidad internacional en una de las excursiones realizadas con motivos del TRILO'08 (Liñán *et al.*, 2008a). Finalmente, Gozalo *et al.* (2013) publicaron un artículo con toda la información y las correlaciones más factibles y detalladas con los otros candidatos para caracterizar este límite, como lo demuestra que en la reciente síntesis de Sundberg *et al.* (2016) y en las propuestas posteriores realizadas en octubre de 2016, tanto por los equipos de China como de Estados Unidos para situar este límite, se hayan seguido las pautas de este último trabajo.

## 5. La biota de Murero

En el último cuarto del siglo XX y principios de éste, el estudio intensivo del yacimiento de Murero y otros donde afloraban los materiales del Grupo Mesones como Jarque, Villafeliche, Badules, Borobia, Ateca, Mesones de Isuela y Purujosa, principalmente, llevaron al descubrimiento y posterior descripción de diversos fósiles, representantes no sólo de organismos con exoesqueleto mineralizado, como trilobites, braquiópodos o equinodermos, si no también de organismos de cuerpo blando como esponjas, gusanos, algas, etc. Todos estos hallazgos llevaron a proponer el concepto de biota de Murero (Liñán, 2003), compuesta por una asociación diversificada con fósiles tanto esqueléticos como de tipo *Burgess shale*. Los fósiles esqueléticos están representados por artrópodos (trilobites y bradoriidos), braquiópodos, equinodermos y *Small Shelly Fossils*; mientras que los fósiles de cuerpos blando incluyen algas, esponjas, lobópodos, palaeoescolécidos e *incertae sedis*; también se ha encontrado un registro importante de icnofósiles.

Liñán *et al.* (1996b, 2008a) realizaron una síntesis de los principales hallazgos paleontológicos y su distribución estratigráfica para el Cámbrico de las Cadenas Ibéricas, lo que permite una aproximación a la riqueza paleontológica de la biota de Murero; baste con destacar que hay más de 100 taxones registrados en las formaciones del Grupo Mesones y la base de la Formación Borobia y hay todavía grupos fósiles que no se han estudiado en detalle.

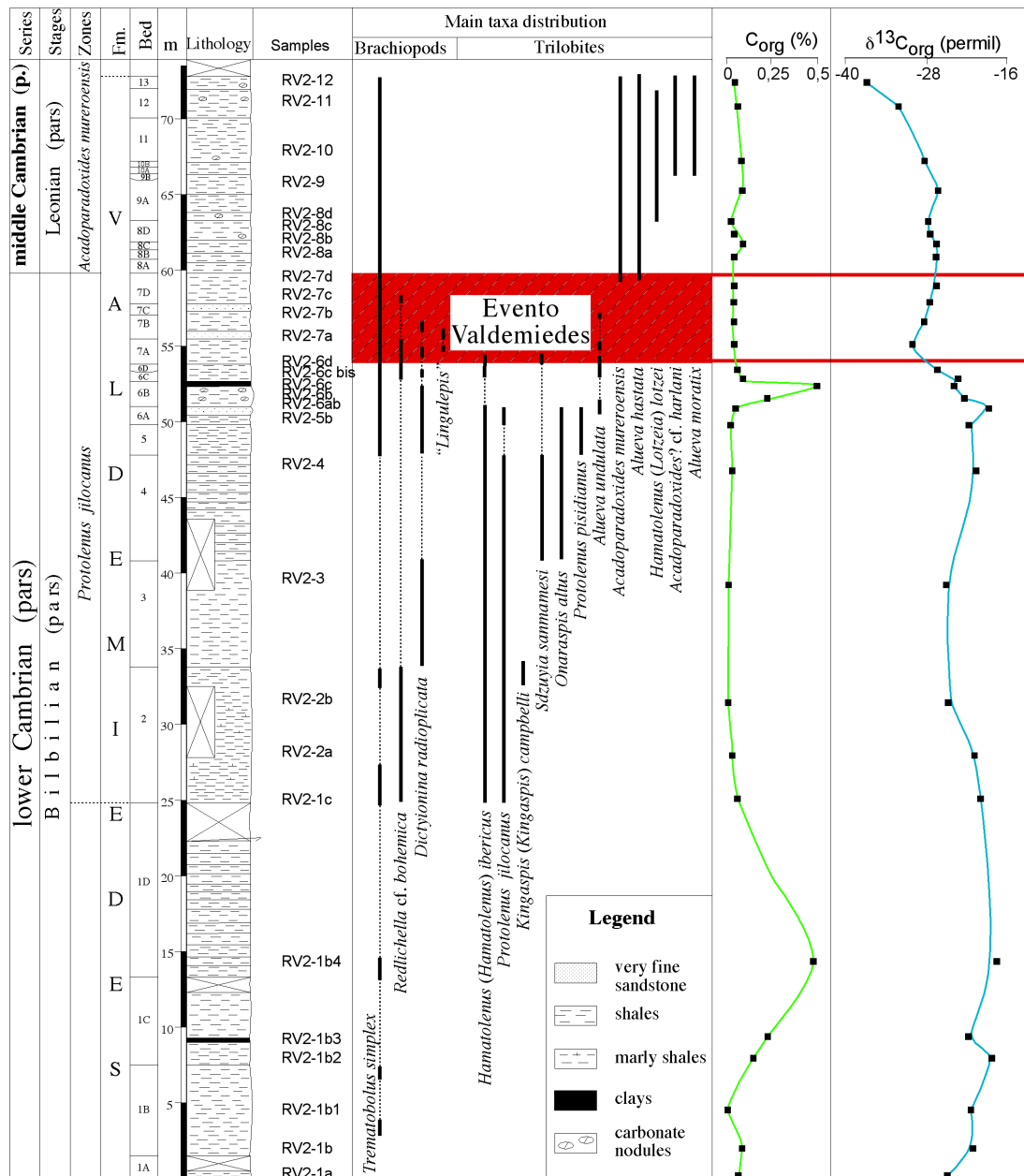


Figura 5: Sección Rambla de Valdemedias 2 (RV2), bioestratigrafía y estratigrafía de isótopos de carbón orgánico de la Formación Valdemedias (tomado de Gozalo *et al.*, 2013).



Los trilobites son el grupo fósil más abundante y diversificado de la biota de Murero, está representado por unas 80 especies de más de 30 géneros distintos, la mayoría de los cuales se encuentran en el yacimiento de Murero. La continuidad del registro de trilobites ha permitido establecer una bioestratigrafía muy detallada (ver capítulo previo), formular hipótesis sobre linajes evolutivos de distintos grupos, analizar diversos aspectos paleobiológicos y establecer relaciones paleobiogeográficas.

Uno de los linajes evolutivos de trilobites mejor representados y estudiados es el de los paradoxídeos. Estos estudios, no sólo permitieron corroborar la taxonomía clásica, si no establecer de manera fehaciente la existencia de dimorfismo en una serie evolutiva de distintas especies del género *Eccaparadoxides* (Gozalo *et al.*, 2003c), hipótesis que posteriormente se ha visto refrendada por el reconocimiento de dimorfismo en otros grupos de trilobites (ver por ej. Cederström *et al.*, 2011). Por otro lado, la revisión del linaje evolutivo de los representantes de la Familia Solenopleuridae en las Cadenas Ibéricas está permitiendo la revisión de la biozonación establecida para el piso Caesaraugustiense (Gozalo *et al.*, 2011b; Chirivella *et al.*, *submit.*).

Otro aspecto que se ha estudiado en detalle ha sido el enrollamiento en algunos de los grupos de trilobites presentes y las estructuras coaptativas utilizadas para este comportamiento (Esteve *et al.*, 2010). Por último, un tema que ha resultado de gran interés han sido las relaciones paleobiogeográficas; por un lado con la caracterización de la subprovincia Mediterránea para el Cámbrico medio (Sdzuy *et al.*, 1999; Gozalo *et al.*, 2007, 2013), por otro con el hallazgo de especies afines al norte de Europa, dentro de la provincia Acadobáltica (Chirivella *et al.*, 2017); o también con el reconocimiento de taxones muy escasos en el área de estudio, pero que indicaban relaciones de gran interés con otras provincias paleobiogeográficas, como ha sido el hallazgo de representantes de los géneros de *Tonkinella*, *Onaraspis* o *Dinesus* (Gozalo *et al.*, 2003b, 2011a; Dies *et al.*, 2007).

Otro grupo que es abundante, aunque no presentan la diversidad de los trilobites, es el de los braquiópodos, de los que se han identificado ocho taxones (Mergl & Liñán, 1986; Liñán & Mergl, 2001).

También hay que destacar el importante avance en el conocimiento de los equinodermos cámbricos, logrado a partir de la tesis doctoral de Samuel Zamora y sus estudios posteriores sobre la sistemática, morfología y evolución de este grupo, que ha aumentado considerablemente el conocimiento del mismo en la biota de Murero (Zamora *et al.*, 2007, 2009; Zamora, 2010, 2013).

Por último, se han registrado algunos bradoriidos (artrópodos bivalvos; Gozalo *et al.*, 2004b) y distintos fósiles de los denominados *Small Shelly Fossils*. Aunque la mayoría de ellos están todavía en fase de estudio, se han reconocido hyolítidos, marocélidos y chancelóridos.

Por otro lado, el conocimiento de los fósiles de cuerpo blando tipo *Burgess shale*, ha

aumentado en los últimos años, aunque todavía queda mucho trabajo por realizar. Merece la pena destacar que se han encontrado numerosas algas, aunque sólo se han descrito algunas de ellas como el género *Dalyia* (Rhodophyta), *Margaretia?* (Chlorophyta) y el género *Aragonia*, relacionado con las algas feofitas (Ferrer *et al.*, 1995). Se han reconocido varios géneros de poríferos como *Crumillospongia*, *Leptomitus*, *Halichondrites* o *Capsospongia*, pero hasta el momento sólo se han estudiado con un cierto detalle los dos primeros, de los que se han definido sendas especies en el yacimiento de Murero y se han analizado tanto su paleobiogeografía como su tafonomía (García-Bellido *et al.*, 2007, 2011).

Dentro de los informalmente denominados “gusanos”, se han encontrado distintos Ecdysozoa, como los priápulidos representados por el género *Palaeoscolex* (Conway Morris & Robison, 1986; Gámez, 1995; Zhuravlev *et al.*, 2011), o relacionados con los lobópodos como el género *Mureropodia* (Gámez Vintaned *et al.*, 2011). Estos hallazgos y su comparación con descubrimientos en otras regiones, han llevado a proponer hipótesis evolutivas sobre los Ecdysozoa (Zhuravlev *et al.*, 2011; Gámez Vintaned *et al.*, 2011). Los palaeoscolécidos son el grupo más abundante dentro de los cuerpos blandos, además de las fósiles citados se han encontrado valvas aisladas de artrópodos relacionados con el género *Tuzoia*, así como otros *incertae sedis* con formas tipo fronde y un eje central parecido a *Penmatulacea* pero sin ramas laterales.

Por último, no se puede olvidar la presencia de abundantes icnofósiles, aunque con una moderada diversidad y una icnoasociación similar en toda la sucesión del Grupo Mesones (Gámez Vintaned & Mayoral, 1992, 1995), con la excepción de la registrada en los estratos donde se reconoció el Evento Valdemiedes (Liñán *et al.*, 1993a).

## 6. La biota de Murero como patrimonio

Un hecho relevante de este yacimiento es su importancia patrimonial. Así, fue el primer yacimiento paleontológico español en ser declarado Bien de Interés Cultural (B.I.C.) en 1997, este hecho vino acompañado en 1998 de la adopción del actual escudo y bandera de Murero, que incluye un trilobites. Posteriormente se declaró Punto de Interés Geológico en 1999 y, finalmente, Punto de Interés Geológico de Valor Internacional (Gutiérrez Marco *et al.*, 2008). Todas estas figuras muestran el valor patrimonial del yacimiento y la necesidad de su puesta en valor, lo que se ha llevado a cabo tanto en congresos nacionales como internacionales (ver Dies *et al.*, 2008). En el año 2012, al cumplirse el 150 aniversario de su descubrimiento se realizaron diversas actividades como excursiones abiertas al gran público, con la comisión de patrimonio de la Sociedad Geológica de España y puestas al día en diversas reuniones internacionales (Liñán *et al.*, 2012a, 2012b, 2012c, 2013).

Un aspecto muy importante es que todo el material fósil (el patrimonio mueble) estudiado y publicado durante las últimas décadas se encuentra depositado en la Universidad

de Zaragoza. Concretamente en el “Museo Paleontológico de la Universidad de Zaragoza” dirigido por el Prof. Liñán desde su creación en 1984, que recientemente se ha transformado en el “Museo de Ciencias Naturales de la Universidad de Zaragoza” en el año 2014, actualmente dirigido por el Prof. José Ignacio Canudo. Uno de los elementos más importantes en sus colecciones tanto expositivas como en la de la Tipoteca –que contiene los ejemplares tipo de publicaciones científicas– ha sido el material procedente del Cámbrico de la biota de Murero, lo que junto con otros materiales procedentes de otras regiones españolas, nos permite decir, sin ninguna duda, que en estos momentos una de las mejores colecciones de fósiles del Cámbrico de Europa se encuentra depositada en la Universidad de Zaragoza y constituye un elemento patrimonial de valor científico incuestionable y que debe permanecer para generaciones futuras. Tampoco hay que olvidar la labor divulgativa; así, desde la década de los 80 del siglo pasado han ido apareciendo en distintas revistas de divulgación científica y en los periódicos numerosas noticias sobre el yacimiento y la biota de Murero, plasmada los últimos años en numerosos artículos aparecidos en la revista *Naturaleza Aragonesa* editada por la Sociedad de Amigos del Museo Paleontológico de Zaragoza, que ha permitido y permite que muchos de los hallazgos sean conocidos de manera mucho más amplia.



**El alcalde de Murero  
Santiago Mingote García**

**se complace en invitarle a los actos conmemorativos del  
150.º aniversario del descubrimiento del yacimiento paleontológico del Cámbrico de Murero,  
que se celebrarán en esta localidad zaragozana el sábado, 3 de noviembre de 2012,  
a partir de las 17 horas, según el programa que se adjunta.**



Figura 6: Tarjeta de invitación del Ayuntamiento de Murero en el 150 aniversario del descubrimiento del yacimiento de Murero. Véase el escudo de la localidad con un trilobites como emblema.

Un elemento importante ha sido que los propios habitantes de Murero tomaron conciencia de la importancia de su yacimiento; de este modo el propio Ayuntamiento de Murero ha colaborado en las distintas actividades que desde la Universidad de Zaragoza, el Gobierno de Aragón y otras instituciones se han realizado en esta localidad, como excursiones dentro de las Jornadas Aragonesas de Paleontología o la excursión realizada

dentro del Congreso Internacional TRILO'08, que llevaron a más de 50 especialistas de 20 países al yacimiento de la Rambla de Valdemiedes. En los últimos años, con su alcalde a la cabeza, D. Santiago Mingote García, se organizaron una serie de actos conmemorativos del 150 aniversario del yacimiento (Fig. 6), que incluyeron una visita guiada, una exposición temporal de fósiles, conferencias y el descubrimiento de una placa; poco después en el año 2014, el Comité de las Asociaciones Culturales de la Comarca de Daroca organizó unas jornadas para dar a conocer la comarca, dentro de ella la Asociación Cultural San Mamés de Murero organizó una conferencia y una pequeña exposición de fósiles con la colaboración de la Universidad de Zaragoza y la de Valencia. Esta colaboración se sigue manteniendo, así en 2015 se organizó un curso de guías turísticos por parte de la Comarca del Campo de Daroca, el Ayuntamiento de Murero y las citadas universidades.

Otro elemento destacable, dentro de esta colaboración, fue la realización del plan director del yacimiento dentro de un proyecto financiado por el Departamento de Cultura del Gobierno de Aragón y el Ministerio de Educación y Ciencia; en el que además participaron las universidades de Zaragoza, Valencia y la empresa Paleoymás S. L. En este proyecto, además de realizar el plan director del yacimiento, se diseñaron e implementaron varias rutas en el yacimiento de Murero, con paneles y pósteres explicativos en varios puntos del yacimiento y se construyeron varios senderos señalizados que permite visitar varios de los puntos de mayor interés situados en las laderas de la Rambla de Valdemiedes. Por último, se preparó el documental bilingüe titulado “*Tras las huellas de la vida primitiva (El Periodo Cámbrico)*” que se presentó en Canadá en la sesión de apertura del Congreso internacional conmemorativo del centenario del descubrimiento de la Biota de *Burgess Shale*; el documental recibió varios premios en certámenes de cine científico.

Por último, no queremos olvidarnos del valor educativo del yacimiento; el desarrollo de las rutas, la edición del video y, previamente, la realización de guías didácticas (Sequeiros *et al.*, 1995) han permitido que el yacimiento sea una visita habitual para numerosos alumnos de Secundaria de Aragón y estudios superiores, ya que todos los años se realizan excursiones desde diversas universidades españolas para enseñar y utilizar el yacimiento de Murero como elemento didáctico en el aprendizaje de la Geología y Paleontología.

## **7. La excepcionalidad de la biota de Murero**

A modo de conclusión, se puede considerar a Murero como un yacimiento con significado internacional para el estudio de la historia de la vida en el Cámbrico por su excepcional continuidad de facies y ambiente sedimentario marino, con más de 200 m de espesor y un registro casi continuo de 10 millones de años, que abarca aproximadamente entre 515 y 505 millones de años de antigüedad, entre la parte alta del Piso Bilbiliense y la base del Piso Languedociense, en la escala regional de pisos cámbricos; y entre el Piso

4 del Cámbrico hasta el Piso Drumiense, en la escala internacional (clásicamente techo del Cámbrico inferior y gran parte del Cámbrico medio).

La continuidad en el registro fósil, la buena preservación de los ejemplares, junto a la abundancia y diversidad de fósiles esqueléticos y la presencia de fósiles tipo *Burgess shale*, permite considerar al yacimiento dentro de la tipología *Conservat-Lagerstätten*, de máxima excelencia para estudio de comunidades fósiles. Por otro lado, el que la paleoecología del grupo de Mesones nos indique un depósito continuado durante millones de años dentro del bioma sublitoral, junto con el preciso control bioestratigráfico de los niveles y diversos eventos registrados en la secuencia, permite una muy buena inferencia sobre los linajes evolutivos y una correlación internacional fiable, lo que hace que se haya convertido en un yacimiento de referencia internacional.

Desde un punto de vista tafonómico, la biota de Murero, como ya se ha dicho, presenta bastantes niveles que pueden ser considerados como *Conservat-Lagerstätten*, con asociación de elementos esqueléticos y cuerpos blandos, por ej. niveles con *Mureropodia* y otros que lo serían por la conservación de un grupo determinado como es el caso de los equinodermos o las esponjas. En comparación con otros yacimientos tipo Burgess, como los famosos de *Burgess shale* en Canadá o Chenjiang en China, el yacimiento de Murero no presenta ni la abundancia ni la preservación tan buena de aquéllos, pero su increíble extensión temporal y su secuencia básicamente monofacial lo hacen único, pues nos brinda la oportunidad, ya comentada, de poder observar la evolución de diversos grupos biológicos y de las comunidades marinas sublitorales que florecieron entre el Cámbrico inferior y medio; aspectos que en otros *Lagerstätten* no es posible abordar dada la corta duración temporal del registro en los mismos.

Como conclusión, la importancia no sólo científica, si no también educativa y patrimonial que ha atesorado en más de 150 años, permite comprender en su justa medida el por qué de las figuras de protección y la justa fama internacional que ha alcanzado el yacimiento de Murero.

## **Agradecimientos**

En primer lugar quiero agradecer a la Real Academia de Ciencias de Zaragoza por el reconocimiento que hace en mi persona a una labor de más de 30 años en aras del conocimiento y la divulgación internacional de un yacimiento básico en la Geología y Paleontología aragonesas. También mi agradecimiento a Eladio Liñán (Universidad de Zaragoza), primero profesor, luego director, maestro y finalmente amigo, quien me inició en este tema y que con el que continúo colaborando. También deseo recordar a todos los que han formado parte tanto de los equipos de investigación como de las personas que han colaborado en las prospecciones y excavaciones, sin cuya valiosa ayuda hubiera

sido imposible realizar toda esta labor, en este caso permítaseme obviar los nombres para evitar olvidos. Gracias a todos.

## Referencias

- Álvaro, J.J. & Vizcaino, D. 1998. Révision biostratigraphique du Cambrien moyen du versant méridional de la Montagne Noire (Languedoc, France). *Bulletin de la Société Géologique de France*, **169**, 233-242.
- Álvaro, J.J., Gozalo, R., Liñán, E. & Sdzuy, K. 1993. The palaeogeography of the northern Iberia at the Lower-Middle Cambrian transition. *Bulletin de la Société Géologique de France*, **164**, 843-850.
- Bergeron, J. 1889. Étude géologique du Massif ancien situé au Sud du Plateau Central. *Annales des Sciences Géologiques*, **22**, IV+361 pp.
- Cederström, P., Ahlberg, P., Nilsson, C.H., Ahlgrens, J. & Eriksson, M.E. 2011. Moulting, ontogeny and sexual dimorphism in the Cambrian ptychopariid Trilobite *Strenuaeva inflata* from the northern Swedish Caledonides. *Palaeontology*, **54**, 685-703. Doi:10.1111/j.1475-4983.2010.01021.x
- Chirivella Martorell, J.B., Gozalo, R. & Liñán, E. 2003. Estudio taxonómico y biométrico de *Badulesia tenera* (Hartt in Dawson, 1868), TRILOBITA. Caesaraugustiense (Cámbrico Medio) de las Cadenas Ibéricas (NE de España). *Revista Española de Paleontología*, **18**, 83-101.
- Chirivella Martorell, J.B., Liñán, E., Ahlberg, P. & Gozalo, R. 2015. A blind trilobite with Baltic affinities from Cambrian Series 3 of the Iberian Chains, Spain, and its stratigraphical and palaeobiogeographical significance. *GFF*, **137**, 175-180. Doi:10.1080/11035897.2015.1061593
- Chirivella Martorell, J.B., Liñán, E., Dies, M. E. & Gozalo, R. 2017. *Bailiaspis* (Trilobita) with English affinities from the Mansilla Formation (Cambrian Series 3 of the Iberian Chains; NE Spain). *Spanish Journal of Palaeontology*, **32**, 15-24.
- Chirivella Martorell, J.B., Liñán, E., Dies Álvarez, M.E. & Gozalo, R. submit. Biostratigraphy of genera *Parasolenopleura*, *Badulesia*, and *Pardailhania* in the Iberian Chains: a useful zonation for the Cambrian series 3 in the Mediterranean region. *Bulletin of Geoscience*
- Conway Morris, S. & Robison, R.A. 1986. Middle Cambrian priapulids and other soft-bodied fossils from Utah and Spain. *The University of Kansas Paleontological Contributions, Paper*, **117**, 1-22.
- Dereims, A.1898. Note sur les terrains paléozoïques d'Espagne. Recherches géologiques dans le Sud de l'Aragon. *Annales Hébert*, **2**, 1-199.

- Dies, M.E. & Gozalo, R. 2004. Agnostida (Trilobita) de la Formación Valdemiedes (Leoniense: Cámbrico Medio basal) de las Cadenas Ibéricas (NE de España). *Boletín Geológico y Minero*, **115**, 683-698.
- Dies Álvarez, M.E. & Gozalo, R. 2006. El género *Hamatolenus* Hupé, 1953 (Cámbrico Inferior-Medio) en Murero y áreas adyacentes de las Cadenas Ibéricas (NE de España). *Revista Española de Paleontología*, **21**, 61-78.
- Dies, M.E., Gozalo, R. & Liñán, E. 2004. Zonación del Límite Bilbiliense-Leoniense (Formación Valdemiedes, Cámbrico Inferior-Medio) en las Cadenas Ibéricas. *Geo Temas*, **6** (2), 283-286.
- Dies Álvarez, M.E., Liñán, E. & Gozalo, R. 2007. The Cambrian genus *Onaraspis* Öpik, 1968 (Trilobita), in Spain. *Memoirs of the Association of Australasian Palaeontologists*, **34**, 419-429.
- Dies Álvarez, M.E., Gursky, H.-J., Liñán, E., Andres, J. A., Esteve, J., Gámez Vintaned, J.A., Gozalo, R., Mayoral, E., Rubio, J. & Zamora Iranzo, S. 2008. The Rambla de Valdemiedes Geosite near Murero (Iberian Chains, NE Spain): Sedimentary Rocks and Biodiversity across the Lower-Middle Cambrian Boundary. *Schriftenreihe der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften SDGG*, **56**, 90-96.
- Dies Álvarez, M.E., Gozalo, R. & Liñán, E. 2013. Revisión sistemática y bioestratigrafía del género *Alueva* Sdzuy, 1961 (Ellipsocephalidae, Trilobita, Cámbrico). *Boletín Geológico y Minero*, **124**, 753-588.
- Donayre, F.M. 1873. Bosquejo de una descripción física y geológica de la provincia de Zaragoza. *Memorias Comisión Mapa Geológico España*, **1**, 1-128.
- Esteve, J., Zamora, S., Gozalo, R., & Liñán, E. 2010. Sphaeroidal enrolment in middle Cambrian solenopleuropsinae trilobites. *Lethaia* **43**, 478-493 Doi:10.1111/j.1502-3931.2009.00205.x
- Ferrer, J., Liñán, E. & Díez, J.B. 1995. *Aragonia sdzuyi* nov. gen., nov. sp., posible alga del Cámbrico Medio de las Cadenas Ibéricas. In: *La expansión de la vida en el Cámbrico* (Eds. J.A. Gámez-Vintanez y E. Liñán). Institución "Fernando el Católico", Zaragoza, 195-203.
- Gámez Vintaned, J.A. 1995. Nuevo hallazgo de un anélido (?) Paleoscolécido en el Cámbrico Medio de Murero (Cadena Ibérica Occidental, NE de España). In: *La expansión de la vida en el Cámbrico* (Eds. J.A. Gámez-Vintanez y E. Liñán). Institución "Fernando el Católico", Zaragoza, 205-218.
- Gámez Vintaned, J.A. & Mayoral Alfaro, E. 1992. Primeras aportaciones a la Paleoicnología del Grupo Murero (Cámbrico Inferior-Medio) en Murero (Provincia de Zaragoza. Cadena Ibérica Occidental). *Geogaceta*, **12**, 100-102.
- Gámez Vintaned, J.A. & Mayoral, E. 1995. Paleoicnología del Grupo Mesones (Cámbrico Inferior-Medio) en Murero (Cadena Ibérica Occidental, NE de España). In: *La expansión de la vida*

- en el Cámbrico (Eds. J.A. Gámez-Vintanez y E. Liñán). Institución “Fernando el Católico”, Zaragoza, 219-252.
- Gámez Vintaned, J.A., Schmitz, U. & Liñán, E. 2009. Upper Vendian-lowest Ordovician sequences of the western Gondwana margin, NE Spain. *The Geological Society, London, Special Publications*, **326**, 231-244. Doi:10.1144/SP326.13
- Gámez Vintaned, J.A., Liñán, E. & Zhuravlev, A.Yu. 2011. A New Early Cambrian Lobopod-Bearing Animal (Murero, Spain) and the Problem of the Ecdysozoan Early Diversification. In: *Evolutionary Biology – Concepts, Biodiversity, Macroevolution and Genome Evolution* (Ed. P. Pontarott). Springer-Verlag, Berlin – Heidelberg, 193-219. Doi:10.1007/978-3-642-20763-1\_12
- García-Bellido, D.C., Gozalo, R., Chirivella Martorell, J.B. & Liñán, E. 2007. The Demosponge genus *Leptomitus* and a new species from the Middle Cambrian of Spain. *Palaeontology*, **50**, 467-478. Doi:10.1111/j.1475-4983.2007.00635.x
- García-Bellido, D.C., Dies Álvarez, M.E., Gámez Vintaned, J.A., Liñán, E. & Gozalo, R. 2011. First report of *Crumillospongia* (Demospongiae) from the Cambrian of Europe (Murero biota, Spain). *Bulletin of Geosciences*, **86**, 641-650. Doi:10.3140/bull.geosci.1253
- Gozalo, R. 1995. El Cámbrico de las Cadenas Ibéricas. In: *La expansión de la vida en el Cámbrico* (Eds. J.A. Gámez-Vintanez y E. Liñán). Institución “Fernando el Católico”, Zaragoza, 137-167.
- Gozalo, R. & Liñán, E. 1988. Los materiales hercínicos de la Cordillera Ibérica en el contexto del Macizo Ibérico. *Estudios geológicos*, **44**, 399-404.
- Gozalo, R. & Liñán, E. 1995. Leonian (early Middle Cambrian) *Paradoxides* biostratigraphy. *Beringeria*, Special Issue **2**, 169-171.
- Gozalo, R., Liñán, E. & Álvaro, J. 1993a. Bioestratigrafía del Cámbrico Medio de Villafeliche (Prov. Zaragoza, España). *Revista Española de Paleontología*, n<sup>o</sup> extr., 49-57.
- Gozalo, R., Álvaro, J., Liñán, E., Sdzuy, K. & Truyols, J. 1993b. La distribución de *Paradoxides* (*Acadoparadoxides*) *mureroensis* Sdzuy, 1958 (Cámbrico Medio basal) y sus implicaciones paleobiogeográficas. *Cuadernos do Laboratorio Xeolóxico de Laxe*, **18**, 217-230.
- Gozalo, R., Liñán, E. & Sdzuy, K. 1996. September 20. The Lower and Middle Cambrian of Murero and Villafeliche (West Asturan-Leonese Zone. Western Iberian Chain). In: *II Field Conference of the Cambrian Stage Subdivision Working Groups. International Subcommission on Cambrian Stratigraphy. Spain, 13-21 September 1996* (Eds. E. Liñán, J. A. Gámez Vintaned & R. Gozalo). Field Trip Guide and Abstracts: Universidad de Zaragoza, p. 73-80.
- Gozalo, R., Liñán, E., Palacios, T., Gámez Vintaned, J.A. & Mayoral, E. 2003a. The Cambrian of the Iberian Peninsula: an overview. *Geologica Acta*, **1**, 103-112. Doi:10.1344/105.000001596



- Gozalo, R., Mayoral, E., Gámez Vintaned, J. A., Dies, M. E. & Muñiz, F. 2003b. A new occurrence of the genus *Tonkinella* in northern Spain and the Middle Cambrian intercontinental correlation. *Geologica Acta*, **1**, 121-126. Doi:10.1344/105.000001598
- Gozalo, R., Liñán, E. & Dies, M. E. 2003c. Intraspecific dimorphism in an evolutionary series of paradoxidids from the Middle Cambrian of Murero, Spain. *Special Papers in Palaeontology*, **70**, 141-156.
- Gozalo, R., Liñán, E., Gámez-Vintaned, J. A. & Dies, M. E. 2004a. La transgresión cámbrica y sus fluctuaciones. In: *Geología de España* (ed. principal J. A. Vera). Sociedad Geológica de España - Instituto Geológico y Minero, Madrid, 471-473.
- Gozalo, R., Dies, M. E. & Chirivella, J. B. 2004b. New occurrence of the family Hipponichario-nidae (Bradoriida, Arthropoda), in the lower and middle Cambrian of the Cadenas Ibéricas, Spain. *Geobios*, **37**, 191-197. Doi:10.1016/j.geobios.2003.04.001
- Gozalo, R., Liñán, E., Dies, M.E., Gámez Vintaned, J.A. & Mayoral, E. 2007. The Lower–Middle Cambrian boundary in the Mediterranean subprovince. *Geological Society of America Special Paper*, **423**, 359-373. Doi:10.1130/2007.2423(17)
- Gozalo, R., Liñán, E., Gámez Vintaned, J.A., Dies Álvarez, M.E., Chirivella Martorell, J.B., Zamora, S., Esteve, J. & Mayoral, E., 2008. The Cambrian of the Cadenas Ibéricas (NE Spain) and its trilobites. *Cuadernos del Museo Geominero*, **9**, 137-151.
- Gozalo, R., Liñán, E. & Chirivella, J.B. 2011a. The first record of *Dinesus* (Trilobita, Dinesidæ) in the Cambrian of the Mediterranean region. *Alcheringa*, **35**, 1-9. Doi:10.1080/03115511003793520
- Gozalo, R., Chirivella, J.B., Esteve, J. & Liñán, E. 2011b. Correlation between the base of Drumian Stage and the base of middle Caesaraugustan Stage in the Iberian Chains (NE Spain). *Bulletin of Geosciences*, **86**, 545–554. Doi:10.3140/bull.geosci.1254
- Gozalo, R., Dies Álvarez, M.E., Gámez Vintaned, J.A., Zhuravlev, A.Yu., Bauluz, B., Subías, I., Chirivella Martorell, J.B., Mayoral, E., Gursky, H.-J., Andrés, J.A. & Liñán, E., 2013. Proposal of a reference section and point for the Cambrian Series 2–3 boundary in the Mediterranean subprovince in Murero (NE Spain) and its intercontinental correlation. *Geological Journal*, **48**, 142-155. Doi:10.1002/gj.1330
- Gutiérrez-Marco, J. C., Rábano, I., Liñán, E., Gozalo, R., Fernández Martínez, E., Arbizu, M., Méndez-Bedia, I., Pieren Pidal, A. & Sarmiento, G. N. 2008. Las sucesiones estratigráficas del Paleozoico Inferior y Medio. In: *Contextos Geológicos españoles. Una aproximación al patrimonio geológico español de relevancia internacional* (ed. A. García-Cortes). Instituto Geológico y Minero de España, Madrid, 31-43.
- Havlicek, V. & Kriz, J. 1978. Middle Cambrian *Lamellodonta simplex* Vogel: bivalve turned

- brachiopod *Trematobolus simplex* Vogel. *Journal of Paleontology*, **52**, 972-975.
- Liñán, E. 1984. Los icnofósiles de la Formación Torreárboles (¿Precámbrico?-Cámbrico-inferior en los alrededores de Fuente de Cantos, Badajoz). *Cuadernos do Laboratorio Xeolóxico de Laxe*, **8**, 47-72.
- Liñán, E. 2003. The Lower and Middle Cambrian biota of Murero. *European Palaeontological association, workshop 2003, Teruel, Spain, 24-27 september*, 19-23.
- Liñán, E. & Gozalo, R. 1986. Trilobites del Cámbrico Inferior y Medio de Murero (Cordillera Ibérica). *Memorias del Museo Paleontológico de la Universidad de Zaragoza*, **2**, 1-104.
- Liñán, E. & Gozalo, R. 1999. La historia del conocimiento paleontológico del yacimiento de Murero, Cámbrico Inferior alto - Cámbrico Medio (provincia de Zaragoza). *Temas Geológico-Mineros ITGE*, **26**, 83-88.
- Liñán, E. & Mergl, M. 2001. Lower and Middle Cambrian brachiopods from the Iberian Chains and Sierra Morena (Spain). *Revista Española de Paleontología*, **16**, 317-337.
- Liñán, E., Villas, E. & Gozalo, R. 1991. El Paleozoico de Teruel. In: *Introducción a la Geología de Teruel* (Eds. M. Gutiérrez. & A. Meléndez). Instituto de Estudios Turolenses, Teruel, 11-31.
- Liñán, E., Gozalo, R., Gámez, J.A. & Álvaro, J.J. 1992. Las formaciones del Grupo Mesones (Cámbrico Inferior-Medio) en las Cadenas Ibéricas. *III Congreso Geológico de España y VIII Congreso Latinoamericano de Geología, Salamanca, Actas*, **1**, 517-523.
- Liñán, E., Fernández-Nieto, C., Gámez, J.A., Gozalo, R., Mayoral, E., Moreno-Eiris, E., Palacios, T. & Perejón, A. 1993a. Problemática del límite Cámbrico Inferior-Medio en Murero (Cadenas Ibéricas, España). *Revista Española de Paleontología*, **nº extraordinario**, 26-39.
- Liñán, E., Perejón, A. & Sdzuy, K. 1993b. The Lower-Middle Cambrian stages and stratotypes from the Iberian Peninsula: a revision. *Geological Magazine*, **130**, 817-833.
- Liñán, E., Gámez Vintaned, J. A. & Gozalo, R. (eds.) 1996a. *II Field Conference of the Cambrian Stage Subdivision Working Groups. International Subcommision on Cambrian Stratigraphy. Spain. 13-21 September 1996. Field Trip Guide and Abstracts*. Universidad de Zaragoza, pp.
- Liñán, E., Villas, E., Gámez-Vintanez, J. A., Álvaro, J., Gozalo, R., Palacios, T. & Sdzuy, K. 1996b. Síntesis paleontológica del Cámbrico y Ordovícico del Sistema Ibérico (Cadenas Ibéricas y Cadenas Hespéricas). *Revista Española de Paleontología*, **nº extraordinario**, 21-32.
- Liñán, E., Gozalo, R., Palacios, T., Gámez Vintaned, J. A., Ugidos, J. M. & Mayoral, E. 2002. Cambrian. In: *The Geology of Spain* (eds. W. Gibbons & T. Moreno). The Geological Society, London, 17-29.
- Liñán, E., Perejón, A., Gozalo, R., Moreno-Eiris, E. & Oliveira, J. T. de 2004. *The Cambrian System in Iberia*. Publicaciones del Instituto Geológico y Minero de España. Serie: *Cuadernos*

*del Museo Geominero*, **3**, 63 pp.

- Liñán, E., Gámez Vintaned, J.A., Gozalo, R., Dies, M.E. & Mayoral, E. 2006. Events and biostratigraphy in the Lower Cambrian of Iberia. *Zeitschrift der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften*, **157**, 597-609.
- Liñán, E., Gozalo, R., Dies Álvarez, M., Gámez Vintaned, J.A., Mayoral, E., Chirivella Martorell, J.B., Esteve, J., Zamora, S., Zhuravlev, A.Yu. & Andrés, J.A. 2008a. *Fourth International Trilobite Conference Trilo 08 Toledo, Spain, 2008. Post-Conference Field Trip. Lower and Middle Cambrian trilobites of selected localities in Cadenas Ibéricas (NE Spain)*. Universidad de Zaragoza. 52 pp.
- Liñán, E., Dies Álvarez, M. E., Gámez Vintaned, J. A., Zhuravlev, A. Yu., Gozalo, R., Bauluz, B., Subías, I., Zamora, S., Chirivella Martorell, J. B., Mayoral, E., Gursky, H.-J., Esteve, J. & Andrés, J. A. 2008b. Proposed Global Stratotype section and boundary (GSSP) for Cambrian System Stage 5 and Series 3 in Murero (Spain). The 13th International Field Conference of the Cambrian Stage Subdivision Working Group. The Siberian Platform, Western Yajutia, Yakutsk July 20th-August 1st, 43-48.
- Liñán, E., Gozalo, R., Andrés, J. A., Chirivella, J. B., Dies Álvarez, M. E., Esteve, J., Gámez Vintaned, J. A., Mayoral, E. & Zamora, S. 2012a. Excursión al Cámbrico de Murero. Primer yacimiento paleontológico español declarado Bien de Interés Cultural (BIC). (I) Estratigrafía. *Geo-Temas*, **12**, 151-154.
- Liñán, E., Gozalo, R., Andrés, J. A., Chirivella, J. B., Dies Álvarez, M. E., Esteve, J., Gámez Vintaned, J. A., Mayoral, E. & Zamora, S. 2012b. Excursión al Cámbrico de Murero. Primer yacimiento paleontológico español declarado Bien de Interés Cultural (BIC). (II) Paleontología. *Geo-Temas*, **12**, 155-158.
- Liñán, E., Gámez Vintaned, J. A., Dies Álvarez, M. E., Chirivella Martorell, J. B., Mayoral, E., Zhuravlev, A. Yu. & Gozalo, R. 2012c. 150 years of the discovery of the Cambrian Lagerstätte of Murero (Cadenas Ibéricas, NE Spain). *Journal of Guizhou University*, **29** (sup. 1), 28-34.
- Liñán, E., Gámez Vintaned, J. A., Dies Álvarez, M. E., Chirivella Martorell, J. B., Mayoral, E., Zhuravlev, A. Yu, Andrés, J. A. & Gozalo, R. 2013. 150 años del descubrimiento del yacimiento cámbrico de Murero (Cadenas Ibéricas, NE España). *Geogaceta*, **53**, 25-28.
- Lotze, F. 1929. Stratigraphie und Tektonik des Keltiberischen Grundgebirges (Spanien). *Abhandlungen der Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen, Mathematisch-Physikalische Klasse Neue Folge*, **14** (2), 1-320. Berlín. [Estratigrafía y tectónica de las Cadenas paleozóicas Celtaibéricas. *Publicaciones Extranjeras sobre la Geología de España*, 1955, **8**, 1-313. Traduc: M. San Miguel de la Cámara].
- Lotze, F. 1958. Zur Stratigraphie des spanischen Kambriums. *Geologie*, **7** (3-6), 727-750. [Sobre la estratigrafía del Cámbrico español. *Notas y Comunicaciones del Instituto Geológico y Minero*

- de España*, 1961, **61**, 131-164. Traduc: J. Gómez de Llarena].
- Lotze, F. 1961. Das Kambrium Spaniens. Teil I: Stratigraphie. *Akademie der Wissenschaften und der Literatur Abhandlungen der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Klasse*, **6**, 1-216. [El Cámbrico de España. *Memorias del Instituto Geológico y Minero de España*, 1970, **70**, 1-256. Traduc: J. Gómez de Llarena].
- Mallada, L. 1875. Sinopsis de las especies fósiles que se han encontrado en España. Tomo I Sistemas Silurianos, Devoniano y Carbonífero. *Boletín de la Comisión del Mapa Geológico de España*, **2**, 1-160.
- Mergl, M. & Liñán, E. 1986. Some Cambrian Brachiopoda of the Cordillera Iberica and their biostratigraphical significance. In: *Memorias de las I Jornadas de Paleontología* (ed. E. Villas). Diputación General de Aragón, Zaragoza, 159-180.
- Palacios, P. 1893. Reseña geológica de la región meridional de la provincia de Zaragoza. *Boletín Comisión Mapa Geológico España* **19**, 1-112.
- Peng, S., Babcock, L. E. & Cooper, R. A. 2012. Chapter 19. The Cambrian Period. En: *The Geologic Time Scale 2012* (eds. F. M. Gradstein, J. G. Ogg, M. Schmitz & G. Ogg). Elsevier, 437-488. Doi:10.1016/B978-0-444-59425-9.00019-6
- Prado, C. de, Verneuil, E. de & Barrande, J. 1860. Sur l'existence de la fauna primordiale dans la Chaîne Cantabrique, suivie de la description des fossiles. *Bulletin de la Société Géologique de France*, 2eme Série, **17**, 516-547.
- Sdzuy, K. 1958. Neue Trilobiten aus dem Mittelkambrium von Spanien. *Seckenbergiana lethaea*, **39**, 235-253.
- Sdzuy, K. 1961. Das Kambrium Spaniens. Teil II: Trilobiten. *Akademie der Wissenschaften und der Literatur Abhandlungen der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Klasse*, **1961** (7-8), 217-408.
- Sdzuy, K. 1967. The Tethys in Cambrian time. In: *Aspects of Tethyan Biogeography* (eds. C. G. Adams & D. V. Ager). *Systematics Association Publication*, **7**, 5-9.
- Sdzuy, K. 1968. Trilobites del Cámbrico Medio de Asturias. *Trabajos de Geología*, Universidad de Oviedo, **1** (1967), 77-133.
- Sdzuy, K. 1971a. Acerca de la correlación del Cámbrico Inferior en la Península Ibérica. *I Congreso Hispano-Luso-Americano de Geología Económica, Sección 1 Geología*, **2**, 753-768.
- Sdzuy, K. 1971b. La subdivisión bioestratigráfica y la correlación del Cámbrico Medio de España. *I Congreso Hispano-Luso-Americano de Geología Económica, Sección 1 Geología*, **2**, 769-782.
- Sdzuy, K. 1972. Das Kambrium der acadobaltischen Faunenprovinz. *Zentralblatt für Geologie und Paläontologie*, Teil II, **1972**, 1-91.

- Sdzuy, K., Liñán, E. & Gozalo, R. 1999. The Leonian Stage (early Middle Cambrian): a unit for Cambrian correlation in the Mediterranean subprovince. *Geological Magazine*, **136**, 39-48. Doi:10.1017/S0016756899002241
- Sequeiros, L. Liñán, E. & Gozalo, R. 1995. Guía didáctica del Cámbrico de Murero. In: *La expansión de la vida en el Cámbrico* (Eds. J.A. Gámez-Vintanez y E. Liñán). Institución “Fernando el Católico”, Zaragoza, 169-193.
- Subías, I., Bauluz, B., Liñán, E., Dies, M. E., Gámez Vintaned, J. A., Gozalo, R. & Zhuravlev, A. Yu. 2010. The Valdemiedes Event: Mineralogical and Geochemical Insights for a Global Lower-Middle Cambrian Event. *Macla*, **13**, 211-212.
- Sundberg, F. A., Geyer, G., Kruse, P. D., McCollum, L. B., Pegel, T. V., Zylinska, A. & Zhuravlev, A. 2016. International correlation of the Cambrian Series 2-3, Stages 4-5 boundary interval. *Australasian Palaeontological Memoirs*, **49**, 83-124.
- Verneuil, E. de 1862. Descubrimiento de la fauna primordial en Zaragoza. *Revista Minera*, **13**, 479.
- Verneuil, E. de & Lartet, L. 1863. Note sur le calcaire a *Lychnus* de environs de Segura (Aragón). *Bulletin de la Société Géologique de France*, 2eme serie, **20**, 684-698.
- Vogel, K. 1962. Muscheln mit Schlosszähnen aus dem spanischen Kambrium und ihre Bedeutung für die Evolution der Lamellibranchiaten. *Abhandlungen der Mathematische. Naturwissenschaftlichen Klasee*, **4**, 193-244.
- Zamora, S. 2010. Middle Cambrian echinoderms from north Spain show echinoderms diversified earlier in Gondwana. *Geology*, **38**, 507-510. Doi:10.1130/G30657.1
- Zamora, S. 2013. Morphology and phylogenetic interpretation of a new Cambrian edrioasteroid (Echinodermata) from Spain. *Palaeontology*, **56**, 421-431. Doi:10.1111/j.1475-4983.2012.01209.x
- Zamora, S., Liñán, E., Domínguez Alonso, P., Gozalo, R. & Gámez Vintaned, J. A. 2007. A Middle Cambrian edrioasteroid from the Murero biota (NE Spain) with Australian affinities. *Annales de Paléontologie*, **93**, 249-260. Doi:10.1016/j.annpal.2007.09.003
- Zamora, S., Gozalo, R. & Liñán, E. 2009. Middle Cambrian gogiid echinoderms from Northeast Spain: Taxonomy, palaeoecology, and palaeogeographic implications. *Acta Palaeontologica Polonica*, **54**, 253-265. Doi:10.4202/app.2008.0010
- Zhuravlev, A. Yu., Gámez Vintaned, J. A. & Liñán, E. 2011. The Palaeoscolecida and the evolution of the Ecdysozoa. *Palaeontographica Canadiana*, **31**, 177-204.