

PROBLEMÁTICA DEL LÍMITE CÁMBRICO INFERIOR-MEDIO EN MURERO (CADENAS IBÉRICAS, ESPAÑA)



Eladio LIÑÁN¹, Constanza FERNÁNDEZ-NIETO², José Antonio GÁMEZ¹, Rodolfo GOZALO³, Eduardo MAYORAL⁴, Elena MORENO-EIRIS⁵, Teodoro PALACIOS⁶ y Antonio PEREJÓN⁵.

1 Área de Paleontología. Depto. de Geología. Univ. de Zaragoza. 50009-Zaragoza.

2 Área de Cristalografía y Mineralogía. Depto. de Geología. Univ. de Zaragoza. 50009 Zaragoza

3 Dpto. de Geología. Univ. de Valencia. 46100-Burjasot (Valencia).

4 Dpto. de Geología y Minería. Univ. de Sevilla. 41071-Sevilla.

5 UEI-Dpto. de Paleontología, Inst. de Geología Económica (CSIC-UCM). Fac. de Geología. Univ. Complutense. 28040-Madrid.

6 Área de Paleontología. Depto. de Biología y Producción Vegetal. UNEX. 06071-Badajoz.

ABSTRACT

The Murero locality (Zaragoza province) is well known as a point of reference for the study of the Lower-Middle Cambrian boundary, because of its stratigraphical continuity (Bilbilian to Caesaraugustian Stages), mixed monofacial character (marin sequence of carbonate-terrigenous shelf), palaeontological wealth (60 trilobite taxa), and the possibility of intercontinental correlation (there are both cosmopolitan and endemic trilobites). In this paper, the lithostratigraphical, biostratigraphical, mineralogical, sedimentological, paleoichnological, and palaeoecological features obtained from two stratigraphical sections spanning the boundary in the Valdemiedes Formation are analyzed at Murero.

The palaeontological record allows us to define two new trilobites biozones around the Lower-Middle Cambrian boundary: The *Hamatolenus (Hamatolenus) ibericus* interval biozone (Lower Cambrian) and the *Paradoxides (Acadoparadoxides) mureroensis* interval biozone (Middle Cambrian).

The most important palaeontological event in the sequence is located in a metric level with very fine sandstones and no trilobites, wich separates two characteristic trilobite assemblages. The first containing *Hamatolenus (H.) ibericus*, *H. (Myopsolenus?) jilocanus*, *H. (Lotzeia) lotzei*, *Perrector? altus* y *Alueva undulata undulata*; and the second including *Paradoxides (Acadoparadoxides) mureroensis*, *P. (Eccaparadoxides) sp. indet.*, *Alueva hastata*, *A. moratrix*, *Hamatolenus (L.) lotzei*, *Condylopyge cruzensis* y *Peronopsis sp.* This extinction event coincides with the miniaturization of the brachiopoda, the decrease of paleoichnological diversity, and the increase of clorithe percentage. This whole geological phenomenon is here named **Valdemiedes geoevent**. This geoevent is interpreted, through stratigraphical and biofacial analysis, as probably produced by a climatic anomaly affecting the Iberian Chains region.

The environmental evolution of the Valdemiedes Formation took place in the transgressive phase of the second cycle (**Tb**) defined by Gámez *et al.* (1991).

Keywords: Stratigraphy, Palaeoecology, Biofacies, Trilobites, Paleoichnology, Geoevents, Lower-Middle Cambrian, Iberian Chains, Spain.

RESUMEN

La localidad de Murero (provincia de Zaragoza) es conocida internacionalmente como punto de referencia para el estudio del límite Cámbrico Inferior-Medio, debido a su continuidad estratigráfica (Pisos Bibiliense al Caesaraugustense), carácter monofacial mixto (secuencia marina de plataforma terrígeno-carbonatada), riqueza paleontológica (60 taxones de trilobites) y posibilidad de correlación intercontinental al presentar trilobites cosmopolitas y endémicos. En este estudio se analizan los datos litoestratigráficos, bioestratigráficos, mineralógicos, sedimentológicos, icnológicos, y paleoecológicos de dos secciones a lo largo de la Formación Valdemiedes que incluyen el tránsito desde el Cámbrico Inferior al Cámbrico Medio. Ambas secciones están situadas en la rambla de Valdemiedes en Murero.

El registro paleontológico nos ha permitido diferenciar dos nuevas biozonas de trilobites en torno al límite Cámbrico Inferior-Medio: la biozona de intervalo de *Hamatolenus (Hamatolenus) ibericus* del Cámbrico Inferior y la biozona de intervalo de *Paradoxides (Acadoparadoxides) mureroensis* del Cámbrico Medio.

El mayor cambio paleontológico en la secuencia se produce en un nivel métrico sin trilobites y con areniscas

muy finas que separa dos asociaciones de trilobites. La primera contiene *Hamatolenus (H.) ibericus*, *H. (Myopsolenus?) jillocanus*, *H. (Lotzeia) lotzei*, *Perrector? altus* y *Alueva undulata undulata*. La segunda presenta *Paradoxides (Acadoparadoxides) mureroensis*, *P. (Eccaparadoxides) sp. indet.*, *Alueva hastata*, *A. moratrix*, *Hamatolenus (L.) lotzei*, *Condylopyge cruzensis* y *Peronopsis sp.* Este evento de extinción coincide con una miniaturización de los braquiópodos, un descenso de la diversidad paleoicnológica y un incremento del porcentaje de clorita; al fenómeno geológico responsable de estos cambios se le denomina aquí **geoevento Valdemedes**. Este geoevento se interpreta, a través del análisis estratigráfico y biofacial de la secuencia, como probablemente originado por una anomalía climática que afectó al área de las Cadenas Ibéricas.

La evolución ambiental de la Formación Valdemedes tuvo lugar dentro del episodio transgresivo del segundo ciclo (Tb) definido por Gámez *et al.* (1991).

Palabras clave: Estratigrafía, Paleoecología, Biofacies, Trilobites, Paleoicnología, Geoeventos, Cámbrico Inferior-Medio, Cadenas Ibéricas, España.

INTRODUCCIÓN

La definición del límite entre el Cámbrico Inferior y Medio presenta problemas ligados a los peculiares fenómenos estratigráficos y paleontológicos que se suceden en este intervalo. Así, en muchos puntos la regresión «Hawke Bay» (Palmer y James, 1980) produce un hiato que sesga el registro durante esta transición, como sucede en numerosas localidades de Escandinavia (Bergström y Ahlberg, 1981). Por otra parte, en aquellas áreas donde el registro es continuo, como es el caso de las Cadenas Ibéricas (donde este evento regresivo viene representado, según Gámez *et al.*, 1991, por el inicio del depósito de la Formación Daroca, piso Bilbiliense del Cámbrico Inferior), la marcada provincialidad de las faunas de trilobites (grupo utilizado clásicamente en su definición) no ayuda a elegir un límite lo suficientemente útil para las correlaciones intercontinentales. En nuestra opinión el problema debe abordarse por la vía de los estudios regionales y la caracterización paleontológica de los niveles de transición, lo cual no es inconveniente para que sean propuestos límites de carácter local mientras se asume un límite suficientemente aceptado.

En la Península Ibérica existen sucesiones con trilobites donde está registrado este límite, como es el caso de la región Cantábrica y las Cadenas Ibéricas, si bien en la primera el registro bioestratigráfico durante esta transición aparece apreciablemente condensado.

En las Cadenas Ibéricas la localidad clásica para este límite es la rambla de Valdemedes, en las inmediaciones de Murero, donde existe una sucesión de trilobites dentro de una secuencia relativamente monótona que incluye apariciones y extinciones de distintos taxones (Lotze y Sdzuy, 1961; Liñán y Gozalo, 1986). En estos dos trabajos las conclusiones generales alcanzadas para el límite son parecidas, aunque existen ligeras discrepancias en la distribución concreta de algunos de los taxones involucrados en este intervalo (como es el caso de *Hamatolenus (Lotzeia) lotzei* Sdzuy, 1958 y de *Hamatolenus (Hamatolenus) ibericus* Sdzuy, 1958). Ello pudo ser debido a que el muestreo en estos niveles no fuera lo suficientemente detallado, tal como suele suceder en los estudios que abarcan una amplia serie

estratigráfica, lo que aquí se ve complicado por la intensa tectónica de las capas.

Esto nos ha llevado a emprender un muestreo más detallado en torno al límite y con un control estratigráfico y tectónico más riguroso, habiendo podido constatar en las dos secuencias de la rambla de Valdemedes resultados análogos pero ligeramente diferentes de los obtenidos por los autores anteriores. Estos mismos datos bioestratigráficos han sido corroborados en las vecinas localidades de Villafeliche (Gozalo *et al.*, en este volumen) y Ateca (Alvaro *et al.*, en este volumen). Para conocer la relación estratigráfica de estos bioeventos con otros fenómenos geológicos, el trabajo se ha complementado con el estudio de las pistas fósiles, la investigación del contenido en acritarcos y el análisis de la mineralogía global y de las arcillas; así como con el estudio de las microfacies de los niveles carbonatados.

SITUACIÓN GEOGRÁFICA Y GEOLÓGICA

La localidad de Murero se sitúa en la Cadena Ibérica Occidental, en el valle del Jiloca. Esta población dista 90 Km de Zaragoza en dirección suroeste, y está situada en la confluencia occidental de la hojas de Paniza (438) y Daroca (465) del Mapa Topográfico Nacional a escala 1:50.000.

Geológicamente el área de estudio se localiza en la Unidad de Badules (Fig.1), una de las tres unidades tectonoestratigráficas en que han sido divididos los afloramientos paleozoicos de las Cadenas Ibéricas (Gozalo y Liñán, 1988), y más concretamente (Fig. 2) en la unidad estructural denominada bloque de Villafeliche (Gozalo *et al.*, en este volumen.)

ANTECEDENTES

Murero es un yacimiento clásico en el Cámbrico europeo. Desde la primera cita de la presencia de la fauna primordial debida a Verneuil (1862), este yacimiento ha sido ampliamente estudiado tanto estratigráfica como paleontológicamente (para un resumen véase Liñán y

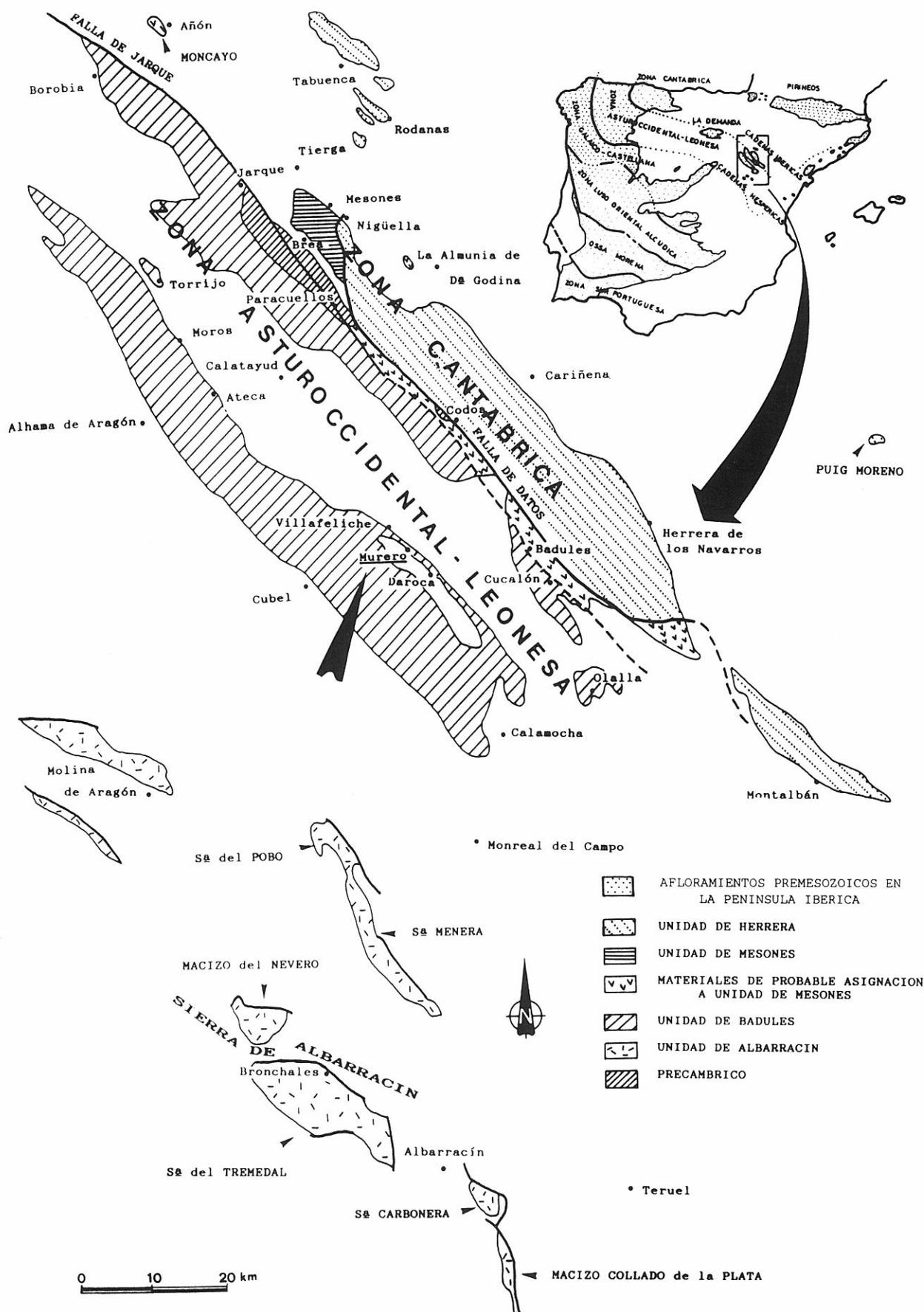


Figura 1. Situación de las Cadenas Ibéricas y las Cadenas Hespéricas en el contexto del Macizo Ibérico. Unidades tectonoestratigráficas reconocidas en dichas cadenas. Situación de la localidad de Murero en la Cadena Ibérica Occidental. De Liñán *et al.*, (1991).

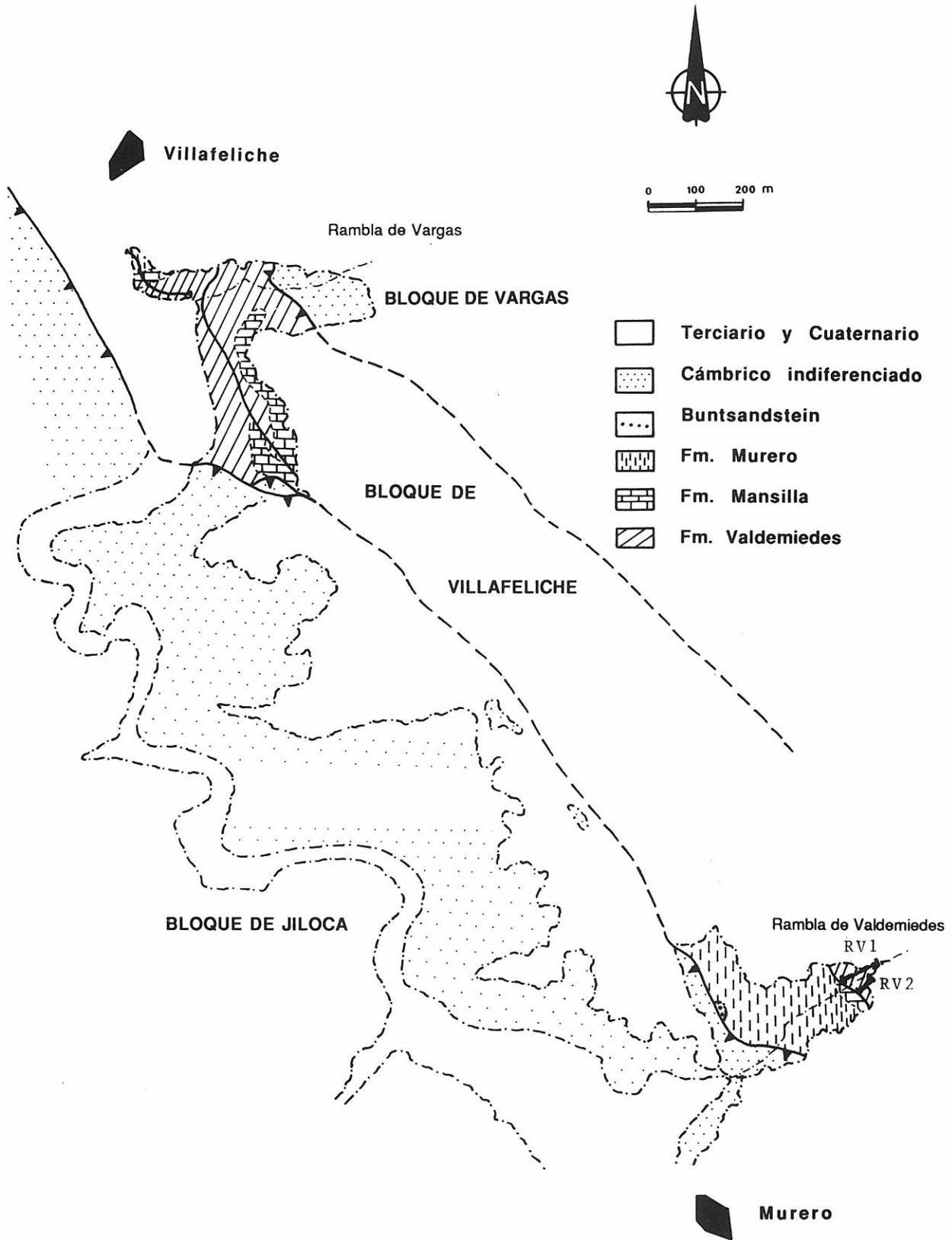


Figura 2. Esquema geológico de detalle del área entre Villafeliche y Murero que muestra la situación del bloque de Villafeliche y de la rambla de Valdemedes. De Gozalo *et al.* (en este volumen).

Gozalo, 1986). Nuestro trabajo se centra exclusivamente sobre los materiales y faunas en torno al límite Cámbrico Inferior-Medio; por este motivo, en los antecedentes sólo se hará referencia a los datos procedentes de las Capas de

Valdemedes («Valdemedes Schichten» de los autores alemanes), donde se sitúa este intervalo.

La primera cita sobre las faunas del límite Cámbrico Inferior-Medio en la región procede de la localidad de

Murero y se debe a Lotze (1929; en la traducción al español existe una confusión y se señala esta fauna como recogida en el barranco de Villafeliche, en lugar de en la rambla de Valdemedes), quien da una lista de trilobites en nombre nulo. También señala que estos fósiles se encuentran estratigráficamente por debajo de los niveles del Cámbrico Medio que fueron citados por Verneuil (1862) y Dereims (1898); su mayor antigüedad vendría, además, apoyada por la ausencia de formas de *Conocoryphe*.

Lotze (1958), basándose en las clasificaciones de los trilobites realizadas por Sdzuy, establece por primera vez el límite Cámbrico Inferior-Medio con un cierto detalle; utiliza este límite para separar las Capas de Valdemedes (Cámbrico Inferior) de las Capas de Murero (Cámbrico Medio). El Cámbrico Inferior vendría avalado no sólo por la presencia de géneros característicos de este período, sino también por la ausencia de formas del género *Paradoxides*.

La presencia de ejemplares de este género marcaría el Cámbrico Medio y el inicio de las Capas de Murero.

Sdzuy (1958) estudia el material recolectado por Lotze y por él mismo, definiendo una serie de taxones que son básicos en el intervalo aquí estudiado: *Hamatolenus (Hamatolenus) Ibericus* n. sp., *Hamatolenus (Lotzeia) lotzei* n. subgen. n. sp., *Strenuaeva sampelayoi moratrix* n. subsp., *Alanisia hastata* n. sp. y *Paradoxides mureoensis* n. sp.

Lotze y Sdzuy (1961) publican «Das Kambrium Spaniens», un trabajo básico para el Cámbrico español, en el que el primer autor realiza el estudio de tipo estratigráfico y regional en una primera parte, mientras que el segundo realiza el estudio de las faunas de trilobites en un segundo volumen.

Lotze, en la primera parte, utiliza el nombre de Capas de Murero de los primeros autores (desechando su propio término de Capas de Valdemedes), distinguiendo las Capas inferiores de Murero sin *Paradoxides* (Cámbrico Inferior) y las Capas superiores de Murero con *Paradoxides* (Cámbrico Medio). De las dos secuencias con fauna que estudia en Murero, la que denomina A es la única que afecta a este trabajo; en ella distingue quince niveles faunísticos que agrupa en siete bandas (denominación informal que *grosso modo* puede equivaler a zona); y éstas las integra en el esquema bioestratigráfico que propone para el Cámbrico español. Estas bandas son:

20-Banda <i>mureoensis-hastata</i>	VI	medio	CAMBRICO
19-Banda <i>moratrix-hastata-mureoensis</i>			
18-Banda <i>mureoensis-hastata-ibericus</i>			
17-Banda <i>mureoensis-hastata-lotzei</i>			
16-Banda <i>ibericus-undulata</i>	Vc	inferior	CAMBRICO
15-Banda <i>ibericus</i>			
14-Banda <i>Termierella-Perrector</i>			

Las treinta y dos bandas que define las agrupa en once niveles, que podrían ser equivalentes a pisos. En el

presente trabajo se estudian los materiales correspondientes al nivel Vc del techo del Cámbrico Inferior (bandas 14-16) y el nivel VI de la base del Cámbrico Medio (bandas 17-20). Las bandas que agrupa en el nivel VI tienen como característica el presentar la especie *Paradoxides mureoensis*, que además constituye el único elemento propio del Cámbrico Medio, ya que el resto de las faunas tienen una afinidad con el Cámbrico Inferior. Esto le induce a pensar que *Paradoxides mureoensis* (especie definida en esta localidad) sea la especie más antigua del género *Paradoxides*, incluso por debajo de la especie nórdica *Paradoxides oelandicus*.

En la segunda parte de Lotze y Sdzuy (1961), Sdzuy estudia las faunas de trilobites presentes en estos niveles, revisando y ampliando su publicación de 1958; además de los taxones ya referidos cita otros en nomenclatura abierta y define *Alueva undulata* n. gen. n. sp., lo que permite una buena caracterización paleontológica de este intervalo.

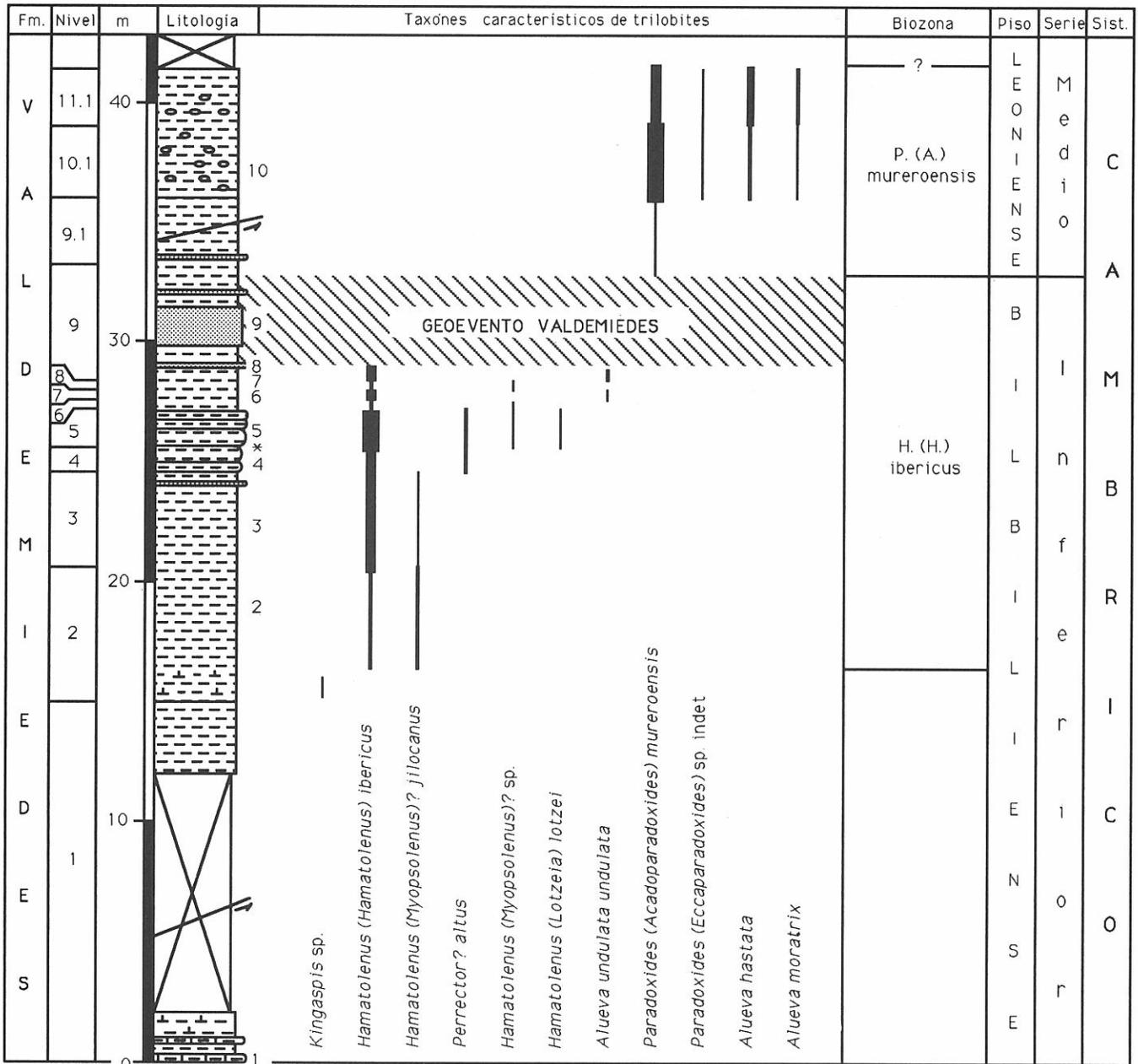
Gil Cid (1970) cita en su trabajo algunos ejemplares de *Paradoxides mureoensis*, que Liñán y Gozalo (1986) han asignado a otras especies, ya que se trata de taxones de niveles estratigráficos superiores a los aquí estudiados.

Sdzuy (1971a,b) realiza una caracterización crono-bioestratigráfica del Cámbrico Inferior y Medio de la Península Ibérica, define sus pisos (de índole regional) y los correlaciona con otras áreas del mundo. En la parte más alta del Cámbrico Inferior define el piso Bilbiliense, cuyas faunas más altas corresponden a los niveles de la sección de la rambla de Valdemedes que todavía no contienen *Paradoxides mureoensis*; por otra parte divide el suprayacente piso de *Paradoxides (Acadoparadoxides)* (definido por Sdzuy, 1968a) en tres «niveles». El primero de ellos corresponde a las capas con *Paradoxides (Acadoparadoxides) mureoensis*, que cita como «C.i./m.», señalando que es un nivel (o niveles) que provisionalmente incluye en el Cámbrico Medio pero que, dada la asociación faunística, podría estar por debajo del piso de *Paradoxides oelandicus* y ser considerado el techo del Cámbrico inferior. En cuanto a la litoestratigrafía, recoge la idea plasmada en Scheuplein (1967) y Sdzuy (1968b) de recuperar el término Capas de Valdemedes en un sentido diferente al original de Lotze (1958).

Sdzuy (1972) hace una revisión del Cámbrico de la provincia Acadobáltica y denomina ahora el nivel C.i./m. como capa con *Paradoxides mureoensis*.

Desde este momento se dispone de un sólido armazón crono-bioestratigráfico sobre el Cámbrico Inferior y Medio de España, fundamentalmente debido a los trabajos de Sdzuy. Tras esto, los nuevos avances requerirán trabajos muy detallados que vayan desarrollando este esquema. Dentro de esta línea se enmarca el trabajo de Liñán y Gozalo (1986), que supone el inicio de una serie de trabajos detallados sobre áreas concretas de las Cadenas Ibéricas con énfasis en temas lito y bioestratigráficos (Valenzuela et al., 1990, Gámez et al., 1991).

Perejón (1986) correlaciona mediante arqueociatos los pisos españoles con los definidos en la plataforma siberiana.



LEYENDA

- Areniscas muy finas
- Lutitas
- Lutitas margosas
- Calizas margosas
- Nódulos dolomíticos

Número de ejemplares

- 1 a 5
- 6 a 10
- 11 a 15
- 16 a 20
- más de 21

- * materia orgánica desorganizada
- 1-10 muestras mineralógicas

Figura 3. Estratigrafía de la Formación Valdemieses en la sección «rambla de Valdemieses-1» y biozonación resultante. Se expresa también el intervalo cronoestratigráfico que representa el **geoevento Valdemieses**.

Liñán y Gozalo (1986) revisan la cartografía, columna estratigráfica y fauna de trilobites del yacimiento de Murero. Consideran las Margas de Murero (Lotze, 1929) como un grupo de cuatro tramos informales, e incluyen los niveles aquí estudiados en el tramo 1 (M1). Es de

destacar la definición de *Condylopyge cruzensis* n. sp., *Perrector? altus* n. sp. y *Hamatolenus (Myopsolenus) jillocanus* n. sp., así como el cambio genérico de *Strenuaeva sampelayoi moratrix* y *Alanisia hastata* a *Alueva*, todo lo cual mejora la caracterización

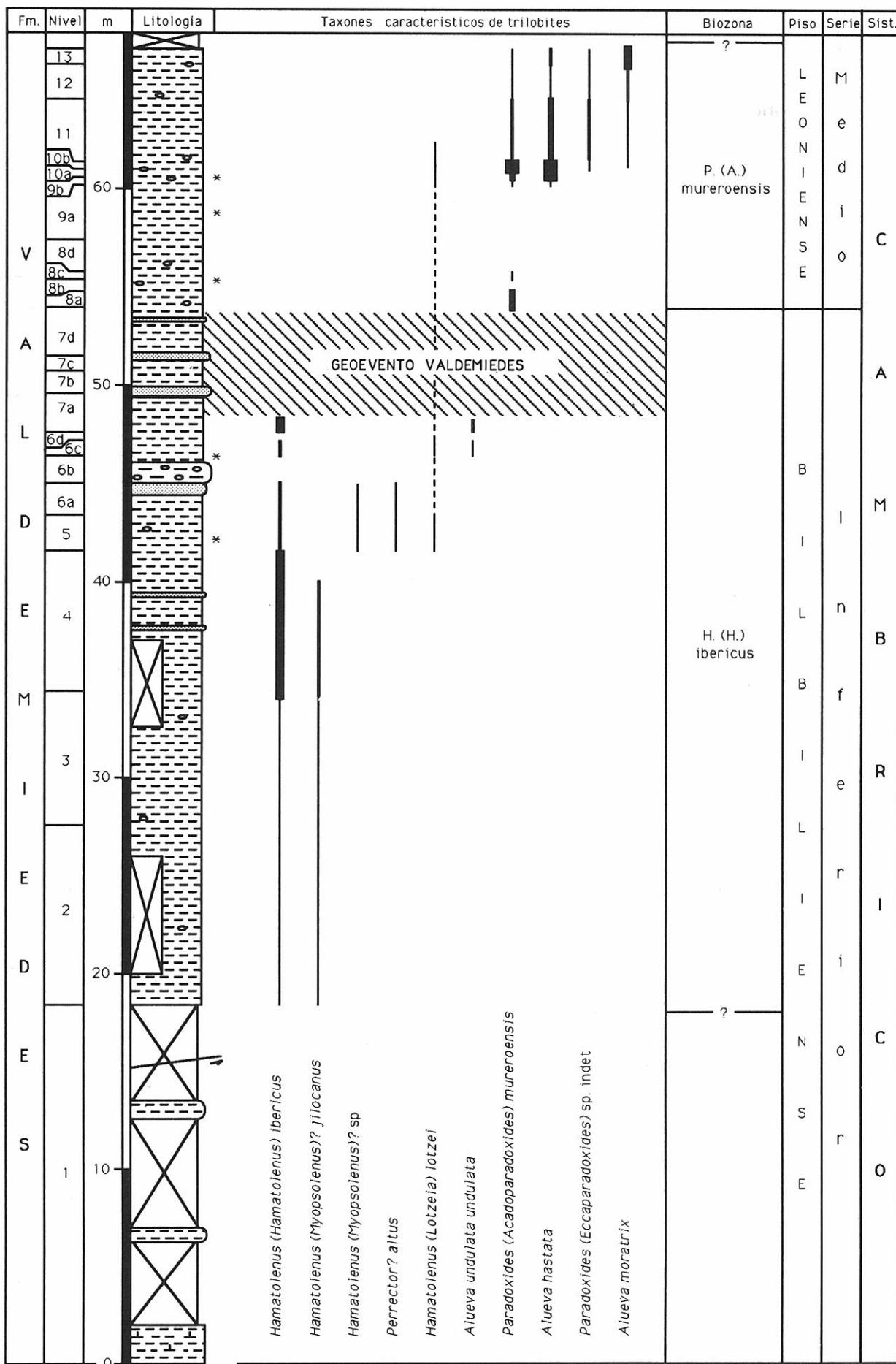


Figura 4. Estratigrafía de la Formación Valdemieses en la sección «rambla de Valdemieses-2», biozonación resultante y expresión cronoestratigráfica del **gocioevento Valdemieses**.

paleontológica de estos niveles. Esto soluciona en parte los problemas que existían por la supuesta asociación de géneros del Cámbrico Inferior (*Strenuaeva* y *Alanisia*) con *Paradoxides* (*Acadoparadoxides*) *mureroensis*. También en niveles muy cercanos a la aparición de este último taxón se encuentran *Condylopyge cruzensis* n. sp. y *Peronopsis* sp., géneros que fundamentalmente son del Cámbrico Medio (sólo *Condylopyge amitina* Rushton, 1966 está definida en el Cámbrico Inferior más alto). Todo esto hace proponer a los autores que el nivel con una asociación faunística de *Paradoxides* (*Acadoparadoxides*) *mureroensis*, *Hamatolenus* (*Hamatolenus*) *ibericus*, *Hamatolenus* (*Lotzeia*) *lotzei*, *Alueva undulata undulata* y Neoredlichidae? sp. indet. sea el marcador de la base del Cámbrico Medio. El muestreo más preciso realizado en el presente trabajo permite separar dos asociaciones bioestratigráficas dentro de este nivel, que matizan la coexistencia de estos taxones.

ESTRATIGRAFÍA

El trabajo se ha desarrollado en dos secciones paralelas que discurren por las dos orillas de la rambla de Valdemedies. Aquellas, denominadas «rambla de Valdemedies-1» (RV1) y «rambla de Valdemedies-2» (RV2), fueron estudiadas en la totalidad de su espesor por Liñán y Gozalo (1986; pp. 21 y 24; Figs. 7, 9 y 10), donde se encuentran sus respectivas localizaciones y características generales. Aquí se presentan datos de los primeros 43 m de serie en la sección RV1 y de los primeros 68 m de la RV2, que recogen la parte alta de la Formación Valdemedies (*sensu* Liñán *et al.*, 1991). Esta unidad presenta en el área una potencia total de 160-170 m (Mansourian, 1974). El límite Cámbrico Inferior-Medio se sitúa en los tramos del techo de la formación. Las columnas estratigráficas se han levantado a escala 1:200 y se representan, sintetizadas, en las Figs. 3 y 4.

El término Capas de Valdemedies fue introducido por Lotze (1958) en el área de Murero para discriminar la parte de las Margas de Murero (*sensu* Lotze, 1929) sin *Paradoxides*. Posteriormente Scheuplein (1967) y Sdzuy (1968b) modificaron el sentido del mismo, dotándolo de mayor significado litoestratigráfico al incluir en él los materiales lutíticos suprayacentes a la Formación Arenisca de Daroca y con un contenido significativo de carbonatos. Aunque este último criterio se ha venido manteniendo hasta los trabajos más recientes (Valenzuela *et al.*, 1990; Gámez *et al.*, 1991), tras las últimas investigaciones de nuestro equipo se ha puesto de relieve la necesidad de reconsiderar los caracteres diagnósticos de las unidades litoestratigráficas que se encuentran en torno al límite Cámbrico Inferior-Medio en el Sistema Celtibérico y proceder a su definición formal (Liñán *et al.*, en prensa).

La litología dominante son las lutitas (mayoritariamente limolitas) de color gris-verdoso, con tonos gris-amarillentos subordinados y ocasionalmente gris-rosados. Varias intercalaciones areniscosas de grano

muy fino y colores gris-ocres y amarillentos se sitúan, aproximadamente, en los diez últimos metros de serie cámbrica inferior, estando el límite Cámbrico Inferior-Medio aproximadamente marcado por el último de estos niveles detríticos más groseros. En la parte basal y media de la columna aparecen esporádicos niveles de lutitas margosas de color gris-amarillento y gris-rosado. Estas características reúnen los rasgos de la facies de pizarras con trilobites (Liñán, 1984). El muro de la sección RV1 lo forman 0,8 m de calizas margosas con tonos de gris-amarillento a rosado, en niveles decimétricos separados por finas intercalaciones lutíticas; texturalmente se trata de un término *mudstone* con un alto contenido en minerales opacos (25%), en el que no se observan bioclastos. Nódulos limonitizados de aspecto terroso aparecen diseminados esporádicamente en la serie (son más frecuentes hacia el techo); probablemente constituyan productos de alteración de nódulos dolomíticos, tan frecuentes en niveles suprayacentes a los estudiados (facies rizada; Liñán, 1984).

El contenido fósil consiste en trilobites, braquiópodos inarticulados, equinodermos, hiolítidos, filamentosos ¿algales? e icnofósiles. La conservación de los restos es muy deficiente en los tramos más basales de ambas secciones, donde no son posibles las determinaciones taxonómicas; en el resto de la sucesión la preservación mejora, pero sin llegar a la bondad presentada en la mayoría de los niveles de la suprayacente Formación Murero. En la mayoría de los casos los fósiles se encuentran limonitizados.

La icnofauna preservada cambia, en principio, con la granulometría del sedimento. Así, en los niveles lutíticos son relativamente frecuentes las madrigueras muy aplanadas con un relleno activo (*Planolites terraenovae* Fillion y Pickerill, 1990), que puede alcanzar tamaños bastante importantes; también aparecen huellas de paso endógenas con morfología acintada, hasta ahora no descritas en la literatura especializada (aff. *Planolites*); y finas huellas de paso probablemente exógenas (*Helminthopsis hieroglyphica* Heer in Maillard, 1887). Ellas reflejan la actividad de organismos sedimentívoros de cuerpo blando, endobentónicos y, probablemente, también epibentónicos (de cuya existencia no queda otra constancia que sus huellas de actividad), en un sustrato fangoso.

En algunos planos de contacto entre los niveles de lutitas y de areniscas muy finas se han observado huellas de paso, posiblemente producidas por trilobites (*Monomorphichnus lineatus* Crimes, Legg, Marcos y Arboleya, 1977), madrigueras tubulares con relleno activo (*Planolites montanus* Richter, 1937) y pequeñas huellas de escape; este conjunto evidencia la actividad de una variada fauna epi y endobentónica.

En cuanto a la investigación del contenido en palinomorfos, todas las muestras han ofrecido resultados negativos. Tan sólo algunas, situadas en torno al límite Cámbrico Inferior-Medio, han librado materia orgánica desorganizada (Figs. 3 y 4). Estas muestras son las recogidas en las lutitas de los tramos con niveles areniscosos (situados por debajo del límite) y algunas

otras procedentes de los cinco primeros metros por encima del mismo. Probablemente la intensa alteración superficial de las rocas ha destruido cualquier resto de microflora que pudiera haberse preservado en los niveles indicados.

Muestra	Cuarzo	Feldespato	Filosilic.	Calcita
Vi-10	51	4	45	—
Vi-9	52	3	45	—
Vi-8	51	—	49	—
Vi-7	48	2	50	—
Vi-6	54	3	43	—
Vi-5B	49	2	49	—
Vi-5A	56	2	43	—
Vi-4	58	2	40	—
Vi-3	52	3	45	—
Vi-2	39	1	44	16
Vi-1	47	1	52	—

Tabla I. Análisis mineralógico global (mediante difracción de rayos X) de los niveles lutíticos en la sección «rambla de Valdemiedes-1». La numeración de las muestras coincide con la expresada en la Fig. 3.

Muestra	Mica	Clorita	Interestr.
Vi-10	44	28	28
Vi-9	42	58	—
Vi-8	32	38	30
Vi-7	62	28	9
Vi-6	62	23	15
Vi-5B	59	28	13
Vi-5A	66	31	4
Vi-4	86	11	3
Vi-3	74	24	2
Vi-2	55	32	13
Vi-1	71	25	4

Tabla II. Análisis semicuantitativo (mediante difracción de rayos X) de la fracción limo de las muestras de la Tab. I. El contenido en caolinita se ha excluido para la reducción al 100% de la fracción fina, pues aquélla se considera diagenética.

La composición mineralógica global de todas las muestras analizadas es muy similar. El contenido en cuarzo es ligeramente mayor que el de filosilicatos y ronda el 50% del total; este porcentaje desciende apreciablemente en los niveles lutítico-margosos. El feldespato, si bien está casi siempre presente, no constituye más del 4% del total de la roca (Tab. I). Dentro de la fracción fina, la mica es el constituyente principal con un contenido medio del 59% en las muestras analizadas. El porcentaje en clorita es relativamente homogéneo, con valores del 27% como media; pero la única muestra procedente de los niveles de arenisca muy fina situados por debajo del límite Cámbrico Inferior-Medio ha arrojado un significativo aumento en el contenido relativo de clorita (58%). Por último, está presente en todas las muestras un interestratificado del tipo clorita-esmectita en porcentajes muy variables, que tiene un valor nulo justo en la muestra anteriormente citada (Tab. II).

BIOESTRATIGRAFÍA DEL LÍMITE CÁMBRICO INFERIOR-MEDIO

El límite Cámbrico Inferior-Medio es uno de los puntos de la escala cronobioestratigráfica que se encuentran en discusión (Öpik, 1968; Sdzuy, 1971a, 1972). Dado el ámbito geográfico de este estudio, sólo se hará referencia a las distintas secciones realizadas para este límite en la subprovincia Mediterránea de la provincia Acadobáltica (*sensu* Sdzuy, 1971a), en la que se incluyen además de la Península Ibérica, Cerdeña, Francia, Alemania (en parte), Bohemia, Turquía y Marruecos. Hasta el momento, las regiones en las que se conocen las sucesiones más idóneas para este tipo de estudios son las Cadenas Ibéricas y Marruecos.

En Marruecos, el límite Cámbrico Inferior-Medio fue situado en la Formación «Schistes à Paradoxides» (Hupé, 1953; Choubert, 1963), equivalente a la parte superior de las Formaciones Tamanar (Geyer, 1990) y Jbel Wawrmast (Hollard, 1985; Destombes, 1985), coincidiendo con la aparición de este género.

Más recientemente Geyer (1990) propone bajar este límite al techo de su zona de *Sectigena*, equivalente al límite superior de la zona de *Termierella* (Hupé, 1952, 1953, 1960), que correlaciona con la base del piso Bilbiliense en España y de la zona de *Protolenus* en Terranova (Newfoundland). Propone la equivalencia del «nivel» de *Paradoxides* (*Acadoparadoxides*) *mureroensis* con su zona de *Cephalopyge notabilis* (*Cephalopyge* es un sinónimo más reciente de *Delgadella* que en España está restringido al piso Marianiense del Cámbrico Inferior). Justifica este cambio por la coexistencia de Olenellidae y Paradoxididae (Hupé, 1960), hecho que causaría confusión, según este autor, sobre la posición del límite Cámbrico Inferior-Medio al considerarse los olenélidos como típicos del Cámbrico Inferior.

Este autor está de acuerdo con Sdzuy (1972) en que *Paradoxides* (*Acadoparadoxides*) *mureroensis* es más

antiguo que el piso de *Paradoxides oelandicus* o la zona de *Paradoxides insularis* en Escandinavia. En nuestra opinión, la posible coexistencia de Olenellidae y Paradoxididae aumenta, si cabe, las excelencias de este límite como candidato a estratotipo, al no presentar rupturas faunísticas.

En la Península Ibérica, la localidad clásica para situar el límite es la rambla de Valdemedes en Murero (Cadenas Ibéricas), donde aparece una sucesión completa que abarca la parte superior del piso Bilbiliense (Cámbrico Inferior) y los pisos Leoniense y Caesaraugustiense (Cámbrico Medio). En ella se ha venido diferenciando una parte inferior sin *Paradoxides (Acadoparadoxides) mureroensis* y otra superior con esta especie y registros esporádicos de *Hamatolenus (Hamatolenus) ibericus* (Lotze y Sdzuy, 1961; Liñán y Gozalo, 1986). En el nuevo muestreo no se han encontrado evidencias de esta última coexistencia (Figs. 3 y 4), aunque no podemos descartar que ésta ocurra incidentalmente.

Este nuevo muestreo más detallado indica que aparecen dos asociaciones bioestratigráficas. La primera integrada por *Hamatolenus (Hamatolenus) ibericus*, *Alueva undulata undulata* y *Hamatolenus (Lotzeia) lotzei*, que abarcaría el techo del Cámbrico Inferior, y la segunda con los primeros ejemplares de *Paradoxides (Acadoparadoxides) mureroensis*, ya Cámbrico Medio. Entre ambas asociaciones se sitúa un nivel de mayor granulometría (arenisca muy fina) de unos 4 a 5 m de espesor, donde sólo aparecen braquiópodos de pequeño tamaño, quedando así perfectamente separadas las dos biotas. Sólo *Hamatolenus (Lotzeia) lotzei* continua registrándose dos metros por encima de la primera aparición de *Paradoxides (Acadoparadoxides) mureroensis*. Ello no es obstáculo para mantener la situación del límite en el biohorizonte de aparición de este último taxón, independientemente de la desaparición de otras faunas.

En este estudio se definen dos nuevas biozonas consecutivas (por debajo y encima del límite) que añadir a las de Liñán y Gozalo (1986), que se denominan biozona de intervalo de *Hamatolenus (Hamatolenus) ibericus* (Cámbrico Inferior) y biozona de intervalo de *Paradoxides (Acadoparadoxides) mureroensis* (Cámbrico Medio).

Biozona de intervalo de *Hamatolenus (Hamatolenus) ibericus*. El límite inferior se define por la aparición de *Hamatolenus (Hamatolenus) ibericus* y el superior por la de *Paradoxides (Acadoparadoxides) mureroensis* Sdzuy, 1958. Otro bioevento característico del límite inferior es la aparición de *Hamatolenus (Myopsolenus?) jilocanus* Liñán y Gozalo, 1986.

Hamatolenus (Hamatolenus) ibericus Sdzuy, 1958 abarcaría toda la biozona a excepción de la parte superior, donde hasta el momento no se han encontrado trilobites.

Otros bioeventos característicos de esta biozona son las apariciones de *Hamatolenus (Myopsolenus?) n. sp. sensu* Liñán y Gozalo, 1986; *Perrector? altus* Liñán y Gozalo, 1986; *Hamatolenus (Lotzeia) lotzei* Sdzuy, 1958;

y *Alueva undulata undulata* Sdzuy, 1961. Así como las extinciones de *Hamatolenus (Myopsolenus?) jilocanus* Liñán y Gozalo, 1986, *Perrector? altus* Liñán y Gozalo, 1986, *Hamatolenus (Myopsolenus?) n. sp. sensu* Liñán y Gozalo, 1986, *Alueva undulata undulata* Sdzuy, 1961, y muy probablemente la de *Hamatolenus (Hamatolenus) ibericus* Sdzuy, 1958.

Otros taxones representados son *Trematobolus simplex* (Vogel, 1962) y *Micromitra* sp.

Biozona de intervalo de *Paradoxides (Acadoparadoxides) mureroensis*. El límite inferior se define por la aparición de *Paradoxides (Acadoparadoxides) mureroensis* Sdzuy, 1958 y el superior por la aparición de *Asturiaspis*. Otro bioevento característico del límite superior en esta localidad es la extinción de *Paradoxides (Acadoparadoxides) mureroensis* Sdzuy, 1958. De este modo, el taxón que le da nombre ocuparía toda la biozona, dato que de confirmarse en otras áreas la tipificarían como una acrozona de taxón.

Otros bioeventos característicos de la biozona son las apariciones de *Alueva hastata* (Sdzuy, 1958), *Paradoxides (Eccaparadoxides) sp. indet.* y *Alueva moratrix* (Sdzuy, 1958); y las extinciones de *Hamatolenus (Lotzeia) lotzei* Sdzuy, 1958, *Alueva hastata* (Sdzuy, 1958) y *Alueva moratrix* (Sdzuy, 1958).

Otros taxones acompañantes son: *Condylopyge cruzensis* Liñán y Gozalo, 1986, *Peronopsis sp.*, *Trematobolus simplex* (Vogel, 1962) y *Micromitra* sp.

BIOFACIES: TIPOS Y EVOLUCIÓN

Desde un punto de vista facial, la Formación Valdemedes puede ser definida como una sucesión estratigráfica en facies de pizarras con trilobites e intercalaciones de facies rizada, facies de dolomías y facies de carbonatos nodulosos bioclásticos, en el sentido de Liñán (1984). En la localidad tipo de la rambla de Valdemedes sólo aparecen representadas las dos primeras. La facies de pizarras con trilobites se formaría en medios marinos sublitorales, lejos de los arrecifes cámbricos, mientras que la facies rizada se desarrollaría en áreas periarrecifales.

El contenido paleontológico presente en estas facies consiste en trilobites, braquiópodos inarticulados, equinodermos, hiolítidos, filamentos ¿algales? e icnofósiles. Esto permite diferenciar, dentro de ellas, biofacies en el sentido de Kaesler (1966), que procedemos a definir. Los tipos de biofacies presentes en la Formación Valdemedes son, en función del grupo paleontológico predominante, las siguientes: Biofacies de filamentos, de braquiópodos fosfáticos, de braquiópodos calcíticos, de trilobites polímeros y de trilobites miómeros. Además, se puede reconocer en el Cámbrico de las Cadenas Ibéricas una biofacies de equinodermos.

La **biofacies de filamentos** se caracteriza por la presencia casi exclusiva de estructuras orgánicas de posible origen algal, frecuentemente epigenizadas, que

poseen un aspecto filamentosos, acintado e incluso ramificado. Se asocian a ellas icnofósiles; en ocasiones también faunas enanas de braquiópodos fosfáticos y, más raramente, trilobites polímeros. Esta biofacies se encuentra registrada en lutitas con un contenido variable en carbonatos.

La **biofacies de braquiópodos fosfáticos** se caracteriza por la presencia mayoritaria, y a veces casi exclusiva, de braquiópodos inarticulados de pequeñas dimensiones y de icnofósiles. Asociados a ellos pueden encontrarse filamentos ¿algales? y, más raramente, trilobites polímeros. Se encuentra registrada en lutitas y areniscas muy finas con un contenido variable de carbonatos.

La **biofacies de braquiópodos calcíticos** está constituida por niveles lumaquéllicos de estos organismos, entre los que suelen aparecer filamentos ¿algales?, trilobites polímeros e icnofósiles. Más raramente pueden aparecer trilobites miómeros y braquiópodos fosfáticos. Se registra en lutitas con un alto contenido en carbonatos y en carbonatos nodulosos bioclásticos.

La **biofacies de trilobites polímeros** se presenta frecuentemente en niveles lumaquéllicos; estos trilobites están acompañados generalmente de filamentos ¿algales?, braquiópodos calcíticos e icnofósiles. Más raramente aparecen braquiópodos fosfáticos, equinodermos, hiolítidos, moluscos y trilobites miómeros. Se registra en lutitas, areniscas muy finas y calizas bioclásticas.

La **biofacies de trilobites miómeros** contiene mayoritariamente este tipo de organismos, acompañados por trilobites polímeros. Son más escasos los filamentos ¿algales?, braquiópodos fosfáticos, hiolítidos, equinodermos e icnofósiles. Se registra en lutitas con un contenido variable de carbonatos.

La **biofacies de equinodermos** presenta este grupo mayoritariamente junto a espículas de esponjas e icnofósiles. A veces aparecen trilobites, filamentos ¿algales? y braquiópodos. Se registra en lutitas con un contenido variable de carbonatos, calizas y dolomías. Esta biofacies no aparece representada en la Formación Valdemiedes en la localidad de Murero.

El reconocimiento de estas biofacies permite interpretar la Formación Valdemiedes en términos de una sucesión ecológica, y el límite Cámbrico Inferior-Medio como una ruptura en la evolución del ecosistema. Así, los primeros niveles de la Formación en la sección estudiada representan biofacies de filamentos, que contienen icnofósiles, algunos braquiópodos fosfáticos y trilobites de pequeño tamaño. Progresivamente van pasando a una biofacies de braquiópodos fosfáticos (*Micromitra* sp.), de braquiópodos calcíticos (*Trematobolus simplex*) y finalmente a una biofacies de trilobites polímeros con *Hamatolenus* (*Hamatolenus*) *ibericus*, *Hamatolenus* (*Myopsolenus*?) *jilocanus*, *Hamatolenus* (*Myopsolenus*?) sp., *Perrector?* *perrectus*, *Alueva undulata undulata* y *Hamatolenus* (*Lotzeia*) *lotzei*. Esta última es la más desarrollada cerca del límite Cámbrico Inferior-Medio, aunque a veces alterna en niveles centimétricos con la biofacies de braquiópodos calcíticos. Un cambio en las condiciones ecológicas miniaturiza los individuos de esta

biofacies, que finalmente es sustituida por la de braquiópodos calcíticos, también miniaturizados, coincidiendo con el depósito del tramo con areniscas; los trilobites desaparecen y la diversidad en las icnocenosis cae. Ello supone el último nivel del Cámbrico Inferior. Los cambios que en él tienen lugar representarían los efectos de un fenómeno geológico que proponemos denominar **geoevento Valdemiedes**; éstos han sido reconocidos en otras localidades de las Cadenas Ibéricas estudiadas por nosotros, como por ejemplo Ateca (Alvaro *et al.*, en este volumen) y Villafeliche (Gozalo *et al.*, en este volumen), ocupando siempre la misma posición cronoestratigráfica (parte final de la biozona de *Hamatolenus* (*Hamatolenus*) *ibericus*).

Se puede plantear la probabilidad de que este geoevento represente una anomalía de origen climático, sin descartar definitivamente otros factores. La hipótesis climática vendría apoyada por los siguientes argumentos:

– El geoevento se registró tanto en facies terrígenas como carbonatadas, a modo de episodio transitorio que no afectó a la tendencia evolutiva de éstas.

– A lo largo de la secuencia estratigráfica, sólo durante el geoevento se detecta un cambio significativo en la composición relativa de la fracción arcillosa del sedimento; esto coincide con un aumento del tamaño de grano (que no es el único en la secuencia). Sin embargo, no existen evidencias regionales ni locales de actividad tectónica durante este tiempo.

– A la escala de resolución cronoestratigráfica disponible, el geoevento fue isócrono en las Cadenas Ibéricas.

– El geoevento conllevó una degradación progresiva del ecosistema, la desaparición de la mayoría de las especies de trilobites (entre las que estaban los últimos representantes de la Familia Neoredlichidae) y el establecimiento de una comunidad de muy baja diversidad.

Pequeños cambios en el clima debieron de ser frecuentes en este tiempo, si consideramos el inicio del Cámbrico como una etapa de transición en el clima terrestre desde un «estado nevera» a un «estado invernadero», y todavía con fuertes gradientes climáticos latitudinales (Fischer, 1984). La influencia de los cambios climáticos en el registro estratigráfico marino, aunque todavía no bien conocida, no deja de ser geológicamente plausible y esperable, dado que el clima es un factor incidente tanto en el tipo y cantidad de sedimento disponible en una cuenca como en importantes factores que gobiernan el ecosistema marino (entre otros, la temperatura, nutrientes, tipo de sustrato, corrientes y luz; Valentine, 1973). Así, cambios climáticos pueden ser identificados a partir de variaciones en el tipo de aportes sedimentarios a la cuenca (Clifton, Hunter y Gardner, 1988). Por otra parte, en el terreno ecológico, son numerosos los ejemplos actuales de fluctuaciones irregulares en poblaciones tanto marinas como continentales en respuesta a cambios excepcionales en factores climáticos (Margalef, 1974). En este sentido, la estacionalidad en el clima ejerce una influencia especialmente importante en las comunidades vivas

(Boucot, 1981). Este tipo de respuestas de los organismos pueden identificarse, a su vez, en el registro fósil. Así, frente a regímenes climáticos progresivamente más estacionales, los invertebrados en mares someros reaccionan con estrategias tendentes a resistir la disminución de la población durante las fases más desfavorables, lo que se traduce, de acuerdo con Valentine (1984), en comunidades de baja diversidad. Por otro lado, y de nuevo en el ámbito de la sedimentación, se debe tener en cuenta que el flujo siliciclástico tiende a aumentar considerablemente bajo climas con precipitaciones altamente estacionales (Cecil, 1990). Por lo tanto, es plausible que las condiciones representadas durante el transcurso del **goevento Valdemedes**, referentes a una muy baja diversidad faunística y a un aumento en el influjo de terrígenos groseros, puedan responder a una derivación episódica hacia un clima marcadamente más estacional al final del Cámbrico Inferior en el área de las Cadenas Ibéricas. Esta posibilidad abre una interesante vía de investigación integrada de este goevento a nivel regional.

La desaparición de la miniaturización de los braquiópodos calcíticos en los niveles posteriores al **goevento Valdemedes** coincide con la aparición esporádica de trilobites ya del Cámbrico Medio (*Paradoxides* (*Acadoparadoxides*) *mureroensis*). Esta biofacies de braquiópodos calcíticos pasa progresivamente a la biofacies de trilobites polímeros, que está ahora constituida por *Paradoxides* (*Acadoparadoxides*) *mureroensis*, *Hamatolenus* (*Lotzeia*) *lotzei*, *Alueva hastata*, *Alueva moratrix*, escasos *Peronopsis* sp., *Trematobolus simplex*, *Micromitra* sp. e icnofósiles. En esta sucesión ecológica de la base del Cámbrico Medio aparece por primera vez intercalada, en un nivel centimétrico, la biofacies de trilobites miómeros, con *Condylopyge cruzensis* además de los taxones citados; ello ocurre a la vez que se hace más frecuente la facies rizada.

CONCLUSIONES

Se estudia la Formación Valdemedes en la localidad de Murero. Para ello se han realizado: la revisión de las columnas estratigráficas, el estudio bioestratigráfico detallado de los trilobites, el análisis paleoicnológico y los estudios de microfósiles de pared orgánica, microfacies y mineralogía.

El análisis bioestratigráfico ha permitido definir dos biozonas en torno al límite Cámbrico Inferior-Medio: la biozona de intervalo de *Hamatolenus* (*Hamatolenus*) *ibericus* y la biozona de intervalo de *Paradoxides* (*Acadoparadoxides*) *mureroensis*. El límite inferior de la primera biozona se sitúa en la primera aparición de *Hamatolenus* (*Hamatolenus*) *ibericus* Szalay, 1958, y el de la segunda en la primera aparición de *Paradoxides* (*Acadoparadoxides*) *mureroensis* Szalay, 1958, que se da como límite de series.

Un tramo de entre 3,5 y 5 m aproximadamente, con niveles intercalados de areniscas muy finas y sin trilobites, se sitúa en la parte superior de la biozona de

intervalo de *Hamatolenus* (*Hamatolenus*) *ibericus*, justo por debajo de la aparición de *Paradoxides* (*Acadoparadoxides*) *mureroensis*, que se considera como el inicio del Cámbrico Medio. En torno a este intervalo estratigráfico se produce un importante cambio en la composición de las paleocomunidades de trilobites, a la vez que una variación en las icnocenosis. La mineralogía de este tramo presenta en la muestra tomada características diferenciales, como es, entre otras, el fuerte incremento del porcentaje relativo de cloritas dentro de la fracción fina, que sugiere un cambio en los aportes detríticos de la cuenca.

El análisis de la sucesión de bio y litofacies permite interpretar la parte de la Formación Valdemedes correspondiente al Cámbrico Inferior como depositada en un medio marino sublitoral no muy alejado de áreas periarrecifales (esporádicas intercalaciones de la facies rizada). Este medio estaría colonizado por organismos pioneros (mayoritariamente filamentosos ¿algales? y braquiópodos fosfáticos), que con la progresiva mejora de las condiciones paleoambientales permitirían el desarrollo de las comunidades dominadas por braquiópodos calcíticos y trilobites polímeros. El endemismo de las especies de trilobites presentes sugiere que el medio permaneció restringido durante esta sucesión paleoecológica.

En el techo del Cámbrico Inferior se registra, en primer lugar, una miniaturización de la fauna, seguida de un cambio cualitativo en los aportes terrígenos (y consiguientemente en el sustrato), de una caída en la diversidad de los icnofósiles y de la desaparición de los trilobites. Estos hechos son interpretados como una degradación progresiva del ecosistema, que coincidió con el cambio ya sugerido en los aportes sedimentarios a la cuenca. Se propone denominar como **goevento Valdemedes** al fenómeno geológico responsable de estos cambios, y se plantea la probabilidad de que haya obedecido a un factor desencadenante de tipo climático. Después de este goevento, y ya en el Cámbrico Medio, son abundantes las asociaciones de braquiópodos calcíticos, trilobites polímeros endémicos y cosmopolitas (*Paradoxides*), que sugieren una vuelta a las condiciones más favorables imperantes antes del **goevento Valdemedes**, pero ahora con ambientes más cercanos a áreas periarrecifales y algo menos restringidos, comenzando a funcionar algún tipo de comunicación con el mar abierto (hecho que es también apoyado por la presencia esporádica de trilobites miómeros).

Se pueden reconocer, por tanto, dos etapas en la evolución del ecosistema, que coinciden una con el Cámbrico Inferior y la otra con el Cámbrico Medio. Ambas etapas muestran desarrollo análogo, con un primer estadio con tan sólo unos pocos taxones escasamente abundantes (taxones pioneros), y un segundo en el que aumenta la diversidad y la abundancia. Las dos etapas evolutivas del ecosistema se hallan netamente separadas por el **goevento Valdemedes**.

La evolución ambiental de la Formación Valdemedes tiene lugar en el contexto de un paulatino proceso

transgresivo, que corresponde cronológicamente al episodio transgresivo del segundo ciclo (Tb) diferenciado por Gámez *et al.* (1991); éste, a su vez, se enmarca en la fase transgresiva generalizada que tuvo lugar a lo largo del período Cámbrico, dentro del primer ciclo eustático fanerozoico de primer orden (Vail *et al.*, 1977; Hallam, 1977; Brasier, 1982, 1992).

AGRADECIMIENTOS

Se agradecen a D. Ignacio Ernesto Subías y a D. Javier Alvaro sus apreciadas colaboraciones en las tareas de campo y laboratorio; y a Doña Martina Acena la ayuda prestada en la elaboración de la versión inglesa del resumen. Los comentarios críticos al manuscrito de la Dra. Martínez Chacón, del Dr. Aramburu y de un revisor anónimo contribuyeron a su mejora. Este trabajo es una contribución al proyecto PS89-0094 de la D.G.I.C.Y.T. («Paleontología y bioestratigrafía del límite Cámbrico Inferior-Medio en las Cadenas Ibéricas») y al I.G.C.P. Project 303 («Late Precambrian and Cambrian Event Stratigraphy»).

BIBLIOGRAFÍA

- Álvaro, J., Gozalo, R. y Liñán, E. 1993. Bioestratigrafía del límite Cámbrico Inferior-Medio en Ateca (Cadena Ibérica Occidental). *Revista Española de Paleontología*, N° extraordinario, 40-48.
- Bergström, J. & Ahlberg, P. 1981. Uppermost Lower Cambrian biostratigraphy in Scania, Sweden. *Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar*, **103**, 193-214.
- Boucot, A. J. 1981. *Principles of Benthic Marine Paleoecology*. Academic Press, New York, 1-463.
- Brasier, M. D. 1982. Sea-level changes, facies changes and the late Precambrian-early Cambrian evolutionary explosion. *Precambrian Research*, **17**, 105-123.
- Brasier, M. D. 1992. Global ocean-atmosphere change across the Precambrian-Cambrian transition. *Geological Magazine*, **129**, 161-168.
- Cecil, C. B. 1990. Paleoclimate controls on stratigraphic repetition of chemical and siliciclastic rocks. *Geology*, **18**, 533-536.
- Clifton, H. E., Hunter, R. E. & Gardner, J. V. 1988. Analysis of eustatic, tectonic, and sedimentologic influences on transgressive and regressive cycles in the upper Cenozoic Merced Formation, San Francisco, California. In: *New Perspectives in Basin Analysis* (Eds. K. L. Kleinspehn y C. Paola). *Frontiers in Sedimentary Geology*, Springer-Verlag, New York, 109-128.
- Choubert, G. 1963. Histoire géologique du Précambrien de l'Anti-Atlas. Tome 1. *Notes et Mémoires du Service géologique de Maroc*, **162**, 1-352.
- Destombes, J. 1985. Lower Paleozoic Rocks of Morocco. Middle Cambrian. In: *Lower Palaeozoic Rocks of the World. Vol. 4. Lower Paleozoic of North-Western and West Central Africa* (Ed. H. Hollard). John Wiley & Sons, Chichester, 157-184.
- Fischer, A. G. 1984. The two Phanerozoic supercycles. In: *Catastrophes and Earth history. The new uniformitarianism* (Eds. W. A. Berggren y J. A. van Couvering). Princeton University Press, Princeton, 129-150.
- Gámez, J. A., Fernández-Nieto, C., Gozalo, R., Liñán, E., Mandado, J. y Palacios, T. 1991. Bioestratigrafía y evolución ambiental del Cámbrico de Borobia (Provincia de Soria. Cadena Ibérica Oriental). *Cuadernos do Laboratorio Xeolóxico de Laxe*, **16**, 251-271.
- Geyer, G. 1990. Revised Lower to lower Middle Cambrian biostratigraphy of Morocco. *Newsletters on Stratigraphy*, **22**, 53-70.
- Gil Cid, M. D. 1970. Nota sobre los nuevos yacimientos de Trilobites del Cámbrico medio de Murero (Zaragoza). *Estudios Geológicos*, **26**, 163-172.
- Gozalo, R. y 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. y Álvaro, J. 1993. Bioestratigrafía del Cámbrico Medio de Villafeliche. (Prov. Zaragoza). *Revista Española de Paleontología*, N° Extraordinario, 49-57.
- Hallam, A. 1977. Secular changes in marine inundation of USSR and North America through the Phanerozoic. *Nature*, **269**, 769-772.
- Hollard, H. 1985. Lower Paleozoic Rocks of Morocco. Precambrian-Cambrian Boundary and Lower Cambrian. In: *Lower Palaeozoic Rocks of the World. Vol. 4. Lower Paleozoic of North-Western and West Central Africa* (Ed. H. Hollard). John Wiley & Sons, Chichester, 101-157.
- Hupé, P. 1952. Sur les zones de Trilobites du Cambrien inférieur marocain. *Comptes Rendus de L'Académie des Sciences de Paris*, **235**, 480-481.
- Hupé, P. 1953. Contribution à l'étude du Cambrien inférieur et du Précambrien III de l'Anti-Atlas marocain. *Notes et Mémoires du Service géologique de Maroc*, **103**, 1-402.
- Hupé, P. 1960. Sur le Cambrien inférieur du Maroc. *Report XXIth International Geological Congress, Norden 1960*, **8** (8), Late Pre-Cambrian stratigraphy, 75-85.
- Kaesler, R. L. 1966. Quantitative re-evaluation of ecology and distribution of recent Foraminifera and Ostracoda of Todos Santos Bay, Baja California, Mexico. *The University of Kansas Paleontological Contributions*, **10**, 1-50.
- Liñán, E. 1984. Introducción al problema de la Paleogeografía del Cámbrico de Ossa Morena. *Cuadernos do Laboratorio Xeolóxico de Laxe*, **8**, 283-314.
- Liñán, E. y 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., Gámez, J. A. y 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., Villas, E. y Gozalo, R. 1991. El Paleozoico de Teruel. In: *Introducción a la Geología de la provincia de Teruel* (Eds. M. Gutiérrez y A. Meléndez). Instituto de Estudios Turolenses, Teruel, 11-33.
- Lotze, F. 1929. Stratigraphie und Tektonik des Keltiberischen Grundgebirges (Spanien). *Abhandlungen der Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen*,

- mathematisch-physikalische Klasse, n. F.*, **14** (2), 1-320. (Traducción por M. San Miguel de la Cámara: Estratigrafía y tectónica de las cadenas paleozoicas celtibéricas. *Publicaciones extranjeras sobre Geología de España*, **8**, 1-313, año 1955).
- Lotze, F. 1958. Zur Stratigraphie des spanischen Kambriums. *Geologie*, **7**, 727-750. (Traducción por J. Gómez de Llarena: Sobre la estratigrafía del Cámbrico español. *Notas y Comunicaciones del I.G.M.E.*, **61**, 131-164, año 1961).
- Lotze, F. 1961. Das Kambrium Spaniens. Teil I: Stratigraphie. *Akademie der Wissenschaften und der Literatur, Abhandlungen der mathematisch-naturwissenschaftlichen Klasse*, **6**, 1-216. (Traducción por J. Gómez de Llarena: El Cámbrico de España. *Memorias del Instituto Geológico y Minero de España*, **75**, 1-256, año 1970).
- Lotze, F. und Sdzuy, K. 1961. Das Kambrium Spaniens. Teil I: *Stratigraphie Akademie der Wissenschaften und der Literatur, Abhandlungen der mathematisch-naturwissenschaftlichen Klasse*, **6**, 1-216; Teil II: *Trilobiten. Akademie der Wissenschaften und der Literatur, Abhandlungen der mathematisch-naturwissenschaftlichen Klasse*, **7** (8), 217-408 (499-690).
- Maillard, G. 1887. Considérations sur les fossiles décrits comme Algues. *Société Paléontologique de la Suisse, Mémoires*, **14**, 1-40.
- Mansourian, E. 1974. *Erläuterungen zur geologischen Kartierung des Gebietes im Raum Murero-Atea-Montón in den Westlichen Iberischen Ketten (NE-Spanien)*. Tesis de Licenciatura, Univ. Würzburg, 1-98. (Inédito).
- Margalef, R. 1974. *Ecología*. Ediciones Omega, Barcelona, 1-951.
- Öpik, A. A. 1968. The Ordian stage of the Cambrian and its Australian Metadoxididae. *Australia Bureau of Mineral Resources, Bulletin*, **92**, 133-166.
- Palmer, A. R. & James, N. P. 1980. The Hawke Bay Event: a circum-lapetus regression near the Lower-Middle Cambrian Boundary. In: *The Caledonides in U.S.A.* (Ed. D. R. Wones). *Department of Geological Sciences, Virginia Polytechnic Institute and State University, Memoir*, **2**, 15-18.
- Perejón, A. 1986. Bioestratigrafía de los arqueociatos en España. *Cuadernos de Geología Ibérica*, **9**, 213-265. (Año 1984).
- Rushton, A. W. A. 1966. The Cambrian trilobites from the Purley Shales at Warwickshire. *Palaeontographical Society, Monograph*, **120** (511), 1-55.
- Scheuplein, R. 1967. *Erläuterungen zur geologischen Kartierung bei Monforte de Moyuela und Rudilla in den Östlichen Iberischen Ketten (Nordost-Spanien)*. Tesis de Licenciatura, Univ. Würzburg, 1-66. (Inédito).
- Sdzuy, K. 1958. Neue Trilobiten aus dem Mittelkambrium von Spanien. *Senckenbergiana Lethaea*, **39**, 235-253.
- Sdzuy, K. 1961. Das Kambrium Spaniens. Teil II: Trilobiten. *Akademie der Wissenschaften und der Literatur, Abhandlungen der mathematisch-naturwissenschaftlichen Klasse*, **7** (8), 217-408 (499-690).
- Sdzuy, K. 1968a. Trilobites del Cámbrico Medio de Asturias. *Trabajos de Geología*, Universidad de Oviedo, **1**, 77-133. (Año 1967).
- Sdzuy, K. 1968b. Bioestratigrafía de la griotte cámbrica de los Barrios de Luna (León) y de otras sucesiones comparables. *Trabajos de Geología*, Universidad de Oviedo, **2**, 45-57.
- Sdzuy, K. 1971a. Acerca de la correlación del Cámbrico inferior de 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*, **2**, 1-91.
- Sdzuy, K., Liñán, E. & Perejón, A. 1990. The Cambrian stages and stratotypes from the Iberian Peninsula. *Rapport III International Symposium on the Cambrian System, Novosibirsk*, 155.
- Vail, P. R., Mitchum, R. M. Jr. & Thompson, S. III. 1977. Seismic stratigraphy and global changes of sea level, part 4: Global cycles of relative changes of sea level. In: *Seismic stratigraphy-Applications to Hydrocarbon Exploration* (Ed. C. E. Payton). *American Association of Petroleum Geologists Memoir* **26**, 83-927.
- Valentine, J. W. 1973. *Evolutionary paleoecology of the marine biosphere*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1-511.
- Valentine, J. W. 1984. Climate and evolution in the shallow sea. In: *Fossils and Climate* (Ed. P. J. Brenchley). John Wiley & Sons, Chichester, 265-277.
- Valenzuela Ríos, J. I., Gámez, J. A., Liñán, E. y Sdzuy, K. 1990. Estratigrafía del Cámbrico de la región de Brea. Cadena Ibérica Oriental. *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural (Sección Geológica)*, **85**, 45-54.
- Verneuil, E. de 1862. Descubrimiento de la fauna primordial en la provincia de Zaragoza. *Revista Minera*, **13**, 479.