

UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA

Departamento de Ciencias de la Tierra

Análisis sedimentológico y paleontológico de la Fm. Nogueras (Devónico Inferior) en Santa Cruz de Nogueras (provincia de Teruel)



Manuel Pérez Pueyo

Trabajo de Fin de Grado

Directores: Beatriz Bádenas y Enrique Villas

Curso 2015/2016

Índice

1. Abstract	1
2. Planteamiento.....	1
3. Objetivos	1
4. Metodología.....	2
4.1. Labores previas de gabinete y de campo.....	2
4.2. Trabajo de campo	2
4.3. Trabajo de laboratorio.....	3
4.4. Recopilación de datos y síntesis	4
5. Marco geográfico y geológico	4
5.1. Situación geográfica y geológica.....	4
5.2. Estratigrafía	6
5.3. Contexto sedimentario	8
6. Descripción de resultados	11
6.1. Serie estratigráfica estudiada	11
6.2. Análisis sedimentológico.....	13
6.3. Análisis paleontológico	17
a) <i>Grupos fósiles dominantes en la serie estratigráfica</i>	17
b) <i>Análisis taxonómico de la capa 46</i>	17
c) <i>Análisis tafonómico de la capa 46</i>	19
7. Interpretación y discusión.....	20
7.1. Análisis sedimentológico y distribución de secuencias.....	20
7.2. Análisis paleontológico	22
8. Conclusions	23
9. Bibliografía.....	24
ANEXOS.....	I-XXV
- ANEXO 1: Columna estratigráfica de detalle	
-ANEXO 2: Catálogo de facies	
-ANEXO 3: Tabla de superposición de facies	
-ANEXO 4: Catálogo de fósiles	
-ANEXO 5: Análisis taxonómico y tafonómico de la capa 46	

1. Abstract

An integrated sedimentological and paleontological analysis has been carried out in the lower member (d2a) of the Nogueras Formation, which is a Lower Devonian marine carbonate-dominated formation of the Iberian Chains. Several sedimentary facies has been described within the lower member and two sedimentary models for the platform have been proposed, synthesizing the stratigraphic, sedimentary and paleontological data. The models correspond to the lower and upper part of d2a and have some slight variations in facies. They include siliciclastic deposits in the intertidal zone and skeletal carbonate facies in the subtidal zone, which can be differentiated by their skeletal dominant grain (brachiopods, bryozoans, crinoids). The paleontological analysis shows that some of those organisms developed in protected areas of the subtidal zone, where high-diversity communities of brachiopods grew.

2. Planteamiento

Dentro de los materiales paleozoicos de la Unidad de Herrera de la Cordillera Ibérica, destacan aquellos que afloran en la llamada Depresión Axial del Río Cámaras (DARC), donde aflora en continuidad, la sucesión sedimentaria del Silúrico Superior y el Devónico Inferior. En el entorno de la localidad de Santa Cruz de Nogueras (provincia de Teruel), situada dentro de la DARC, existen buenos afloramientos de dichos materiales (si bien en cortes y perfiles parciales), en los que fueron definidas las formaciones de dichas edades para el Sistema Ibérico (Carls y Gandl, 1967).

De estas formaciones, una de las más relevantes en términos paleontológicos y sedimentológicos es la Formación Nogueras del Devónico Inferior, la cual está caracterizada por una sucesión de lutitas y calizas con esporádicas intercalaciones de areniscas y margas con una alta variedad de restos fósiles de briozoos, braquiópodos, bivalvos, trilobites, ostrácodos, tentaculítidos, conodontos y peces. Los materiales de esta formación se depositaron en subambientes que oscilaban desde plataforma relativamente profunda hasta intermareales (Carls y Gandl, 1967).

La mayor parte de los trabajos previos de esta unidad, en su mayoría publicados en la década de los 80 del siglo pasado (e.g. Carls y Gandl, 1967; Carls, 1987,1988) se han orientado al estudio de la riqueza fósil y al contexto sedimentario general, pero hasta la fecha no se ha realizado ningún estudio paleontológico y sedimentológico integrado en el que se definan con precisión cuáles fueron los subambientes de sedimentación durante su depósito; y qué comunidades de organismos los habitaban.

Estos antecedentes han sido determinantes para plantear la realización de un análisis integrado sedimentológico y paleontológico en los afloramientos de la Formación Nogueras cercanos al municipio de Santa Cruz de Nogueras como propuesta de Trabajo de Final de Grado de Geología, teniendo como principal finalidad el desarrollo de un modelo de sedimentación para el miembro inferior de la Formación.

3. Objetivos

El objetivo final del presente Trabajo Fin de Grado es el análisis integrado sedimentológico y paleontológico del miembro inferior de la Formación Nogueras a partir del

estudio de sus afloramientos situados en las cercanías del municipio de Santa Cruz de Nogueras, que engloba los siguientes objetivos concretos:

- Estratigrafía y sedimentología: definir una serie de facies sedimentarias al miembro inferior de la Formación Nogueras (d2a), teniendo en cuenta criterios litológicos, sedimentarios y paleontológicos, así como estudiar las relaciones verticales de dichas facies.
- Estudio paleontológico (sistemática básica, tafonomía y paleoecología): identificar los principales grupos fósiles mediante una sistemática básica, y realizar un análisis tafonómico y paleoecológico de una capa concreta, con el fin de contribuir a precisar las condiciones ambientales de los ambientes sedimentarios que se identifiquen.
- Interpretación integrada del ambiente de sedimentación: sintetizar los datos sedimentológicos y paleontológicos a fin de asignar a cada facies un subambiente de sedimentación y con ellos elaborar un modelo general para el miembro inferior de la Formación Nogueras.

4. Metodología

La metodología seguida para la consecución de los objetivos planteados que se detalla a continuación ha abarcado labores previas de gabinete y campo, trabajos de campo, trabajos de laboratorio y, por último, recopilación de datos, interpretación y síntesis.

4.1. Labores previas de gabinete y de campo

Previamente a iniciar la investigación en campo, se ha realizado la revisión bibliográfica de las publicaciones disponibles sobre la Formación Nogueras, así como sobre el contexto geológico del Devónico Inferior, a fin de obtener toda la información posible sobre la estratigrafía y la paleontología de la unidad estudiada y sobre su contexto paleogeográfico en el momento de su depósito. Dentro de la bibliografía consultada, destacan los trabajos de Peter Carls, geólogo alemán que dedicó más de 30 años al estudio del Paleozoico de la Cordillera Ibérica, definiendo junto con Gandl (1967) las formaciones geológicas del Silúrico Superior y Devónico Inferior en la Cordillera Ibérica, entre ellas, la Formación Nogueras.

Así mismo, se ha realizado una primera visita al campo (1 día) con el objetivo de familiarizarse con la serie estratigráfica del Devónico Inferior y en particular de la Formación Nogueras que aflora en Santa Cruz de Nogueras, y de delimitar el intervalo estratigráfico de trabajo que presentara mayor continuidad estratigráfica y mejores condiciones de afloramiento, de modo que finalmente se ha seleccionado el intervalo correspondiente al miembro inferior de la unidad (d2a, de Carls y Gandl, 1967), en dos afloramientos situados en la falda sur del cabezo de las Viñas y la antigua mina de plomo "*Virgen del Carmen*".

4.2. Trabajo de campo

Para la realización del trabajo de campo han sido necesarios 4 días de trabajo. Se ha hecho uso de los materiales habituales para el levantamiento de series estratigráficas (metro, brújula, papel milimetrado...) y para el muestreo paleontológico (martillo, bolsas, etiquetas...). Se han realizado tres labores principales:

1. Levantamiento de un perfil estratigráfico-sedimentológico de referencia

Se ha procedido a levantar un perfil estratigráfico de 37,2 m, que engloba el miembro inferior de la Formación Nogueras. Para ello se han levantado dos columnas estratigráficas

parciales, una en cada afloramiento mencionado (perfil Las Viñas: VI y perfil Virgen del Carmen: VC), que en conjunto, mediante su correlación, permiten caracterizar todo el miembro. Dichas columnas se han levantado capa a capa, numerando cada capa y observando todas las características de la estratificación, litología, textura, componentes (incluidos restos fósiles) y estructuras sedimentarias, caracterizando las variaciones en la vertical y la lateral dentro de cada capa, cuando las condiciones de afloramiento lo permitían.

2. Toma de muestras (macrofósiles y roca) para su análisis en laboratorio.

Se han tomado un total de 31 muestras de roca de distintos niveles, a una media de 0.9 muestras/m, fundamentalmente para su estudio sedimentológico posterior en laboratorio, de modo que se dispusieran de muestras de todas las facies observadas durante el levantamiento de los perfiles, así como para precisar el contenido paleontológico de las rocas.

Para el estudio paleontológico (tafonómico y paleoecológico) se ha procedido a realizar un muestreo superficial de los niveles, con el fin de identificar los principales grupos fósiles, clasificándolos a ser posible hasta el rango taxonómico de Orden. Se han recogido un total de 85 ejemplares en 15 niveles. De estas 15 capas muestreadas, se ha realizado un muestreo más intenso en tres de ellas (niveles 45, 46 y 47 en VC). De la capa 46, por su riqueza en fósiles y buenas condiciones de afloramiento de su techo, se ha realizado un análisis tafonómico y paleoecológico más detallado.

3. Documentación fotográfica

Se han tomado fotografías generales de las dos columnas estratigráficas levantadas, así como fotografías de cada una de las capas, tanto de su aspecto geométrico general como de detalles concretos. Para la realización del análisis tafonómico y paleoecológico, se ha realizado un conjunto de fotografías de la superficie con abundantes restos fósiles de techo de la capa 46 (perfil VC).

4.3. Trabajo de laboratorio

1. Análisis de las muestras de roca en secciones pulidas y láminas delgadas

Con el objetivo de estudiar las características texturales y composicionales de las facies más representativas, se ha procedido a estudiar las 31 muestras de roca dura recogidas en campo mediante la descripción de secciones pulidas (31 muestras) con lupa binocular y de láminas delgadas (11 muestras) con microscopio petrográfico.

El cortado, pulido y encerado de las secciones pulidas se ha realizado en régimen de autoservicio, mientras que las láminas delgadas han sido elaboradas por el personal del Servicio de Preparación de Rocas y Materiales Duros de la Universidad de Zaragoza

2. Análisis taxonómico de los fósiles recogidos y análisis tafonómico y paleoecológico de detalle

1) Los ejemplares recolectados se han limpiado con percutor de aire comprimido y siglado, indicando el perfil, la capa y el número de ejemplar (ej. CV-22-1). A continuación se ha realizado una clasificación elemental de todos ellos intentando llegar, como mínimo al nivel taxonómico de Orden.

2) El análisis tafonómico y poblacional de detalle llevado a cabo en la capa 46 se ha realizado a partir de las fotografías tomadas en campo del techo de esta capa, que cubre una superficie de 10 m². También con muestras menores recolectadas en esa misma capa donde ha sido posible una identificación más detallada de la taxonomía y los rasgos tafonómicos de la asociación fosilífera. Las fotografías han sido ensambladas en un fotomosaico para reconstruir la superficie de techo de la capa, y sobre él se ha delimitado un área cuadrada de (25x25 cm) la cual se considera representativa de la capa. Se ha realizado una clasificación taxonómica básica

a nivel de grupo de los fósiles, exceptuando a los braquiópodos, que son los más abundantes, y en los que se ha concretado la clasificación a nivel de género, siempre que ha sido posible.

Dentro del cuadrado de referencia de 25x25, se ha procedido a la observación de una serie de aspectos tafonómicos como la orientación, desarticulación, fragmentación y clasificación por formas y tamaños de los restos fósiles.

3. Documentación fotográfica

Durante el trabajo de laboratorio, se han tomado fotografías tanto de las secciones pulidas como de las láminas delgadas, seleccionando aquellas más representativas para cada tipo de facies. También se han tomado fotos de detalles concretos.

Para ilustrar los principales grupos fósiles estudiados se realizaron fotografías con una máquina fotográfica digital Nikon con un objetivo macro de 60 mm, iluminación de tipo incandescente previa tinción de los fósiles con cloruro amónico sublimado. El tratamiento de las fotografías y el montaje de las láminas fotográficas se han realizado con las aplicaciones de Adobe: Photoshop e Illustrator.

4.4. Recopilación de datos y síntesis

Tras el trabajo de campo, de laboratorio y bibliográfico previo, se ha procedido a realizar una labor de integración e interpretación de todos los datos. Esta síntesis se ha concretado en la definición de una serie de facies y su posterior interpretación del ambiente de sedimentación, así como en la obtención de una serie de conclusiones paleontológicas, consistente en listados taxonómicos para las diferentes facies reconocidas, así como interpretaciones sobre el grado de aloctonía de los restos fósiles y las relaciones paleoecológicas de los organismos que habitaron estos subambientes de sedimentación. Toda esta labor queda plasmada en la elaboración de figuras, tablas y esquemas propios, y en la redacción del presente informe.

5. Marco geográfico y geológico

5.1. Situación geográfica y geológica

Los afloramientos de la Formación Nogueras estudiados en el presente trabajo se sitúan en las inmediaciones de la localidad de Santa Cruz de Nogueras, en la Comarca del Jiloca, al norte de la provincia de Teruel (Fig. 1a, b). Los dos perfiles estratigráficos estudiados, VI (perfil de Las Viñas) y VC (perfil Virgen del Carmen), se sitúan al sureste y noreste de Santa Cruz de Nogueras (Fig. 1c), respectivamente y a ellos se accede desde Santa Cruz, tomando desde la carretera TE-V-1521 al sur de Santa Cruz una pista de tierra que parte hacia el este. El perfil VI se ha levantado en los afloramientos del talud de dicha pista y se sitúa en las coordenadas geográficas: 41°06'39"N 1°06'03"W. El perfil VC se localiza en la mina de plomo *Virgen del Carmen* que se encuentra al noroeste de Santa Cruz, en las coordenadas 41°07'57"N 1°06'45"W.

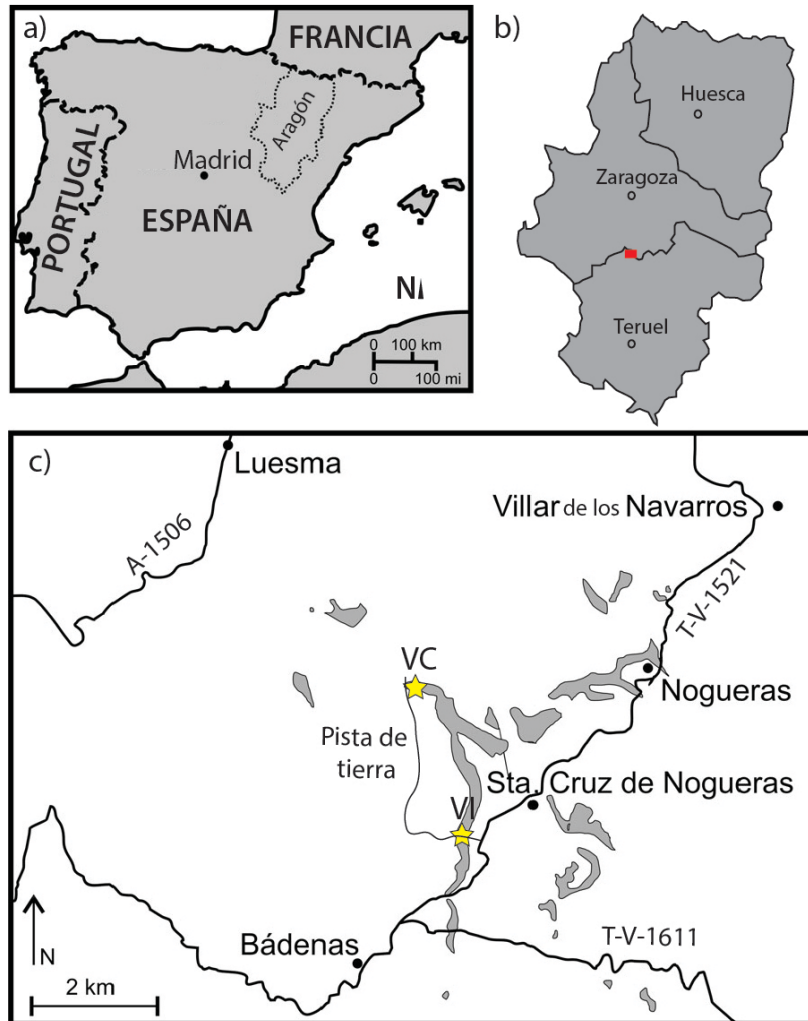


FIGURA 1.- a), b) Situación geográfica general del área de estudio al norte de la provincia de Teruel. c) Localización de los afloramientos de la Formación Nogueras en el entorno de Santa Cruz de Nogueras (en gris) y de los perfiles estratigráficos realizados (VI: perfil de Las Viñas); VC: perfil Virgen del Carmen) (Figura modificada de Schemm-Gregory, 2011).

La zona estudiada se encuentra ubicada en la Cordillera Ibérica, concretamente en su cadena Ibérica Oriental, de dirección general NW-SE (Fig. 2). Estructuralmente, los materiales estudiados pertenecen a la Unidad de Herrera (Lotze, 1929), conformada por rocas paleozoicas que van desde el Cámbrico tardío hasta el Carbonífero superior. La unidad de Herrera (Fig. 2) está delimitada por el sur por la falla de Datos, la cual establece el límite entre la Zona Asturoccidental-Leonesa y la zona Cántabrica en la Cordillera Ibérica (Gozalo y Liñán, 1988) Dentro de la Unidad de Herrera, las dos secciones estudiadas en este trabajo pertenecen al afloramiento devónico de la Depresión Axial del Río Cámaras o DARC (Carls, 1988), ubicada al SE de la Unidad de Herrera. La DARC está estructurada por un gran pliegue sinclinal tumbado, con uno de sus flancos invertido. Los perfiles levantados se encuentran respectivamente en el flanco invertido (perfil VI) y el flanco normal (perfil VC) del pliegue.

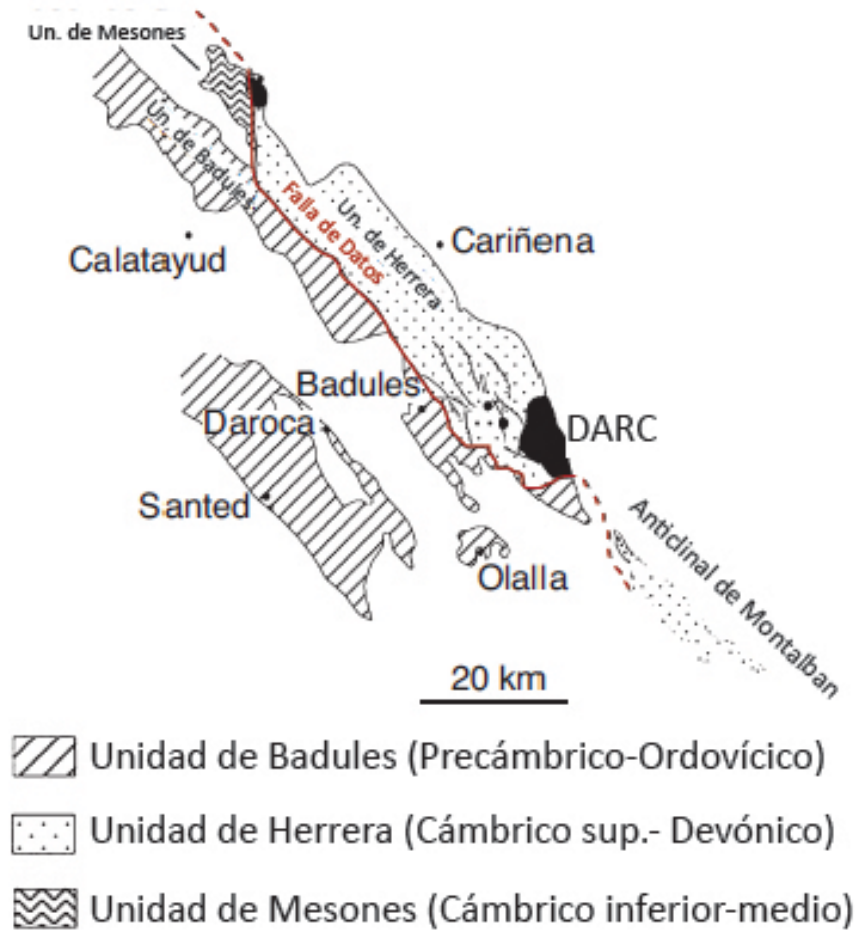


FIGURA 2.- Afloramientos paleozoicos de la Cordillera Ibérica. En negro se señalan los afloramientos de materiales devónicos de la DARC o Depresión Axial del Río Cámaras, donde se ubica la Formación Nogueras (Figura modificada de Botella et al., 2012).

5.2. Estratigrafía

Las formaciones del Devónico de la Cordillera Ibérica fueron introducidas formalmente por Carls y Gandl (1967), y su estudio continuó durante las décadas de los 80 y 90, siendo la estratigrafía constantemente sometida a revisión, especialmente en el plano cronoestratigráfico y bioestratigráfico (Carls, 1987, 1988, 1999; Carls y Valenzuela-Ríos, 1999 y 2002).

En la zona de la DARC, donde se ubica la Fm. Nogueras objeto de estudio, afloran aproximadamente unos 800 m de serie del Devónico Inferior, aunque sin continuidad, debido a la complejidad estructural. La serie general ilustrada en la Figura 3 fue reconstruida a partir de las numerosas secciones parciales en las que está compartimentada correlacionándose posteriormente mediante niveles guía y fauna (Carls, 1988).

Hasta la fecha, hay descritas 9 formaciones bien diferenciadas para el Devónico Inferior (Fig. 3), aunque hay unos 500 m estimados por encima de la Formación Ramblar que están pendientes de estudio, ya que están conformados por varias secciones no correlacionadas (Carls y Valenzuela-Ríos, 2002).

Este trabajo se ha centrado en la Formación Nogueras, una de las primeras unidades del Devónico Inferior, situada estratigráficamente entre la Formación Luesma y la Fm. Santa Cruz (Fig. 3).

La Formación Luesma (Pridoliense superior-Lochkoviense inferior) de en torno a 225 m de potencia está formada por tres miembros (d1a-c en Fig. 3), constituido cada uno de ellos por un potente banco cuarcítico en la base, y una alternancia de areniscas cuarcíticas y lutitas a techo. Presenta niveles con ooides ferruginosos y nódulos fosfáticos. En los últimos 15 m se produce una transición gradual hasta la Formación Nogueras, ya que aumenta la proporción de fragmentos de fósiles y disminuye el contenido en detríticos. El límite Silúrico/Devónico está situado en el miembro intermedio.

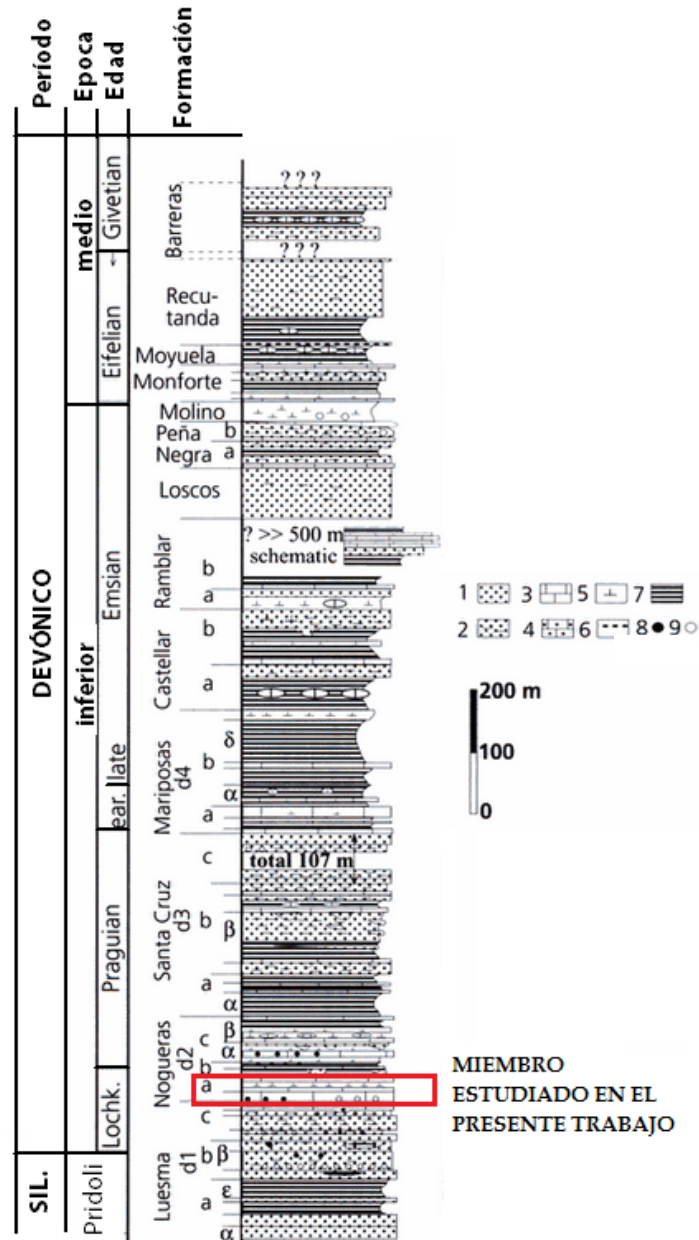


FIGURA 3.- Columna sintética del Devónico Inferior de la Cordillera Ibérica en la DARC. Leyenda: 1. Areniscas o cuarcitas, 2. Alternancia de areniscas y lutitas, 3. Calizas, 4. Calizas arenosas, 5. Margas, 6. Limonitas, 7. Lutitas, 8. Nódulos fosfáticos, 9. Oolitos ferruginosos. En rojo aparece marcado el miembro inferior de la Formación Nogueras, estudiado en este trabajo (Figura modificada de Carls y Valenzuela-Ríos, 2002).

La Formación Nogueras (Lochkoviense-Praguense temprano) está constituida por en torno a 100 m de calizas lumaquéllicas y lutitas, con algunas intercalaciones de margas, limos y areniscas. Está dividida en 3 miembros (d2a, d2b y d2c en Fig. 3):

1. El miembro inferior (d2a), que constituye el objeto del presente estudio, comienza con calizas arenosas con bioclastos de braquiópodos y crinoides y ooides ferruginosos, ocasionalmente con estratificación cruzada, a las que siguen calizas bioclásticas que alternan con niveles lutíticos y arenosos. Las calizas presentan abundantes fósiles siendo dominantes los braquiópodos. Algunos de estos niveles calcáreos presentan acumulaciones en la base de nódulos fosfáticos, escamas y dientes de peces y ostrácodos.
2. El miembro intermedio (d2b) es predominantemente lutítico, con alguna intercalación calcárea, y a techo aparecen algunos niveles de calizas arenosas y areniscas de grano fino. Dentro de este miembro se encuentra el límite entre el Lochkoviense y el Praguense.
3. El miembro superior (2dc) vuelve a presentar una alternancia de calizas y lutitas y margas, manteniéndose una fauna de braquiópodos, tentaculites, briozoos, crinoides, ostrácodos, etc..., similar al miembro inferior, así como los niveles con fosforitas. Se reconoce, no obstante niveles arenosos con paleocanales y lutitas, con menor diversidad de restos fósiles (techo del submiembro d2cα: Carls, 1999, Carls y Gandl, 1967, Carls y Valenzuela-Ríos, 1999).

La Formación Santa Cruz (Praguense) consiste en unos 300 m de lutitas y areniscas con algunas capas calcáreas intercaladas, y está dividida en tres miembros (d3a-c en Fig. 3). El inferior está dominado por lutitas, con algunas intercalaciones de calizas lumaquéllicas con fauna de tentaculites, gasterópodos, cefalópodos ortocéridos, trilobites, ostrácodos y braquiópodos. El miembro medio consiste en areniscas y lutitas con algunos bancos calcáreos, localmente con ooides ferruginosos y nódulos fosfáticos. El miembro superior es enteramente detrítico, con lutitas, limolitas y areniscas. En las areniscas aparecen frecuentemente ripples, en ocasiones de interferencia. Con escasos fósiles, excepto a su techo.

5.3. Contexto sedimentario

Durante el Devónico Inferior, Iberia formaba parte de un conjunto de pequeños bloques de corteza continental o *terrane*s (Macizo Armoricano, Bohemia,...) ubicados en el margen de Gondwana (Fig. 4), situada en el hemisferio Sur durante todo el Paleozoico Inferior (Cocks y Torsvik, 2002), pero ya muy próxima a Laurussia, situada sobre el ecuador, debido a la continua deriva del margen mediterráneo de Gondwana hacia el norte desde comienzos del Ordovícico (Jiménez-Sánchez y Villas, 2010). Esta deriva tuvo como consecuencia final el cierre del océano Rheico, ubicado entre Laurussia y Gondwana. No obstante en el Devónico Inferior este océano debía estar ya muy reducido dada las similitudes faunísticas tanto en invertebrados como en peces entre ambos márgenes (Carls y Valenzuela-Ríos, 1998, Dupret et al., 2011). Por tanto, durante el Devónico Inferior Iberia se encuentra a una paleolatitud aproximada de unos 30°-45° S en una zona de clima templado a cálido (Scotese, 2016).

Según Carls (1988), el contexto paleogeográfico de Iberia para el Devónico Inferior se caracteriza por la existencia de una pequeña cuenca intracratónica, el llamado Surco Ibero-Armoricano (SIA), en el que se enmarcarían los afloramientos estudiados en este trabajo (Fig. 4), el cual estaría limitado por dos zonas emergidas de ligero relieve, el Macizo Cantabro-Ebroico (MCE) y Centroiberia (CI), situados respectivamente al N y S de la cuenca. Así pues estos dos macizos emergidos estarían separados por un pequeño mar somero al que aportarían sedimentos, y a su vez recibirían influencia de aguas profundas desde el N. Desde el sur no había influencia marina, puesto que Iberia se encontraba en el margen de Gondwana.

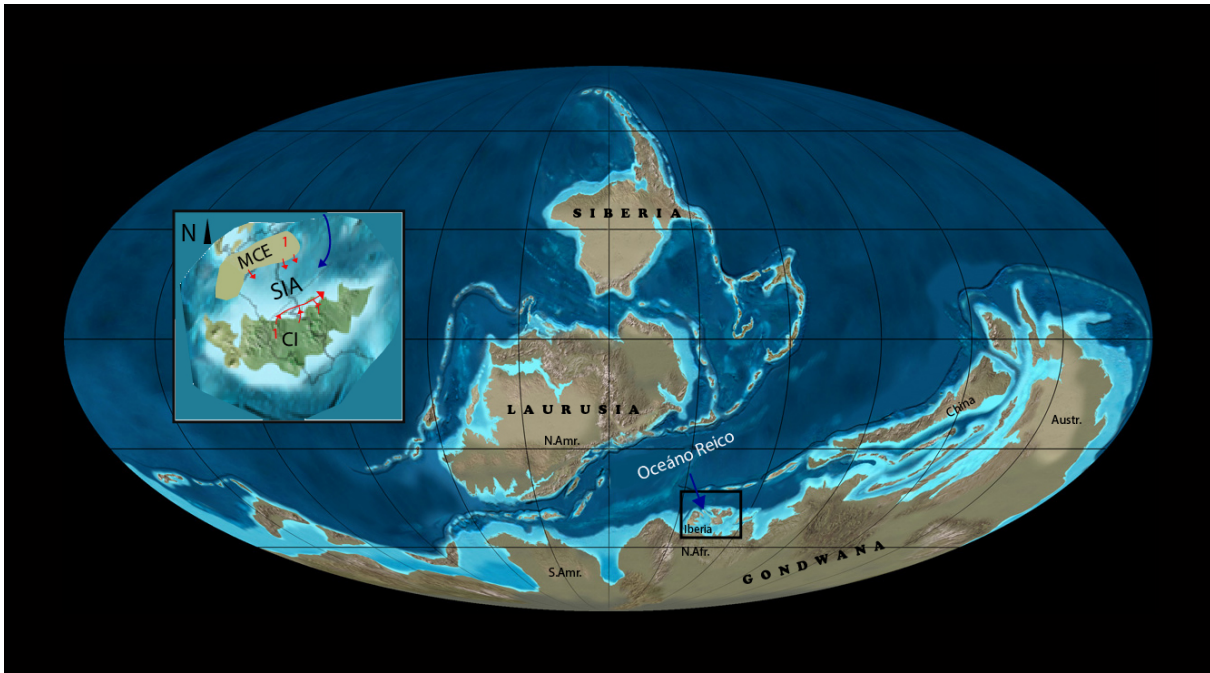


FIGURA 4.-Reconstrucción paleogeográfica global para el Devónico Inferior, y más en detalle para Iberia. Leyenda: CI: Centroiberia, MCE: Macizo Cantabro-Ebroico, SIA: Surco Ibero-Armoricano; 1 (en rojo): Aportes de detríticos desde las áreas fuente al SIA, Ascenso o “upwelling” de aguas frías oceánicas (Figura modificada de Herrera y Villas, 2013 y con datos de Carls, 1988,1999).

Durante el Devónico, el SIA fue rellenado por sedimentos marinos someros, mayoritariamente detríticos, proviniendo los aportes del MCE y sobre todo de CI. El relleno sedimentario no fue totalmente homogéneo, debido a variaciones en la subsidencia, en los aportes o en las corrientes de ascenso de aguas frías. Según Carls (1999), la subsidencia fue en pequeños pulsos; no obstante, la profundidad se mantuvo debido a que el espacio de acomodación generado era rápidamente rellenado por sedimentos. El inicio de la sedimentación carbonatada de la Formación Nogueras se debe según Carls y Valenzuela-Ríos (2002) a una disminución del relieve de las áreas fuente y no a un episodio transgresivo.

La plataforma, de carácter muy somero, alcanzaría profundidades de 60 m, aunque a lo largo del Devónico se sucedieron varios episodios somerizantes y profundizantes. En este sentido, Carls (1988, 1999) identifica una cierta ritmicidad caracterizada por la presencia de subunidades granocrecientes que él denomina “ritmotemas”. Estos ritmotemas están causados por pulsos transgresivos (por subsidencia o eustáticos) que provocan una profundización, seguido de la posterior somerización por el aumento de aportes. No obstante, aunque son sincrónicos en una misma región, a nivel de cuenca son heterócronos, por las variaciones regionales que presenta el SIA. Un ritmotema completo presenta 3 intervalos (1 a 3 en Fig. 5):

1. El intervalo 1 supone un cese brusco de la sedimentación siliciclástica, y está compuesto por unas capas basales de calizas lumaquéllicas depositadas en condiciones de alta energía, generalmente con nódulos fosfáticos (1A en Fig. 5), que están dominadas por fauna de aguas turbias (turbidícolas), aunque ya hay presencia de organismos de aguas más claras (clarícolas). Conforme disminuye la energía del medio, se depositan calizas margosas y margas (1B), con fósiles mejor preservados, como es el caso de frágiles briozoos fenestélidos y donde dominan las faunas clarícolas.

2. Durante el intervalo 2 se alcanza la máxima profundidad y la mínima energía, depositándose lutitas finas y oscuras, lo que también indica el reinicio de los aportes terrígenos. Aparecen faunas pelágicas en forma de epiplacton y cefalópodos.
3. Durante el intervalo 3, se produce la somerización y el aumento de los aportes siliciclásticos, primero en forma de limos y posteriormente como areniscas, y se da el retorno de las faunas turbidícolas. La energía del medio vuelve a ser alta, con canalizaciones y *ripples*. Si la tasa de aportes es alta, se puede llegar a condiciones muy someras, incluso mareales. El siguiente pulso subsidente, supondría una interrupción brusca en la sedimentación terrígena y el inicio de un nuevo ritmotema.

El Devónico de la zona de la Cordillera Ibérica o Celtiberia se caracteriza por la ausencia de grandes corales coloniales rugosos y de estromatopóridos, que sin embargo son muy frecuentes en niveles correlacionables de la Cordillera Cantábrica. Es también característico del Devónico de nuestra región la presencia de abundantes niveles ricos en nódulos fosfáticos. Dado que la paleolatitud de ambas regiones y, por tanto, las condiciones climáticas no eran muy diferentes (Carls y Valenzuela-Ríos, 1999), la ausencia de arrecifes en las Cadenas Ibéricas sería consecuencia de los continuos aportes siliciclásticos procedentes de pequeñas áreas emergidas al S y al N de la Cuenca Ibérica (Carls, 1999, Carls et al., 2009), mientras que la presencia de fosfatos se debía al ascenso de aguas oceánicas, frías y ricas en nutrientes (Fig. 4) (Carls, 1999).

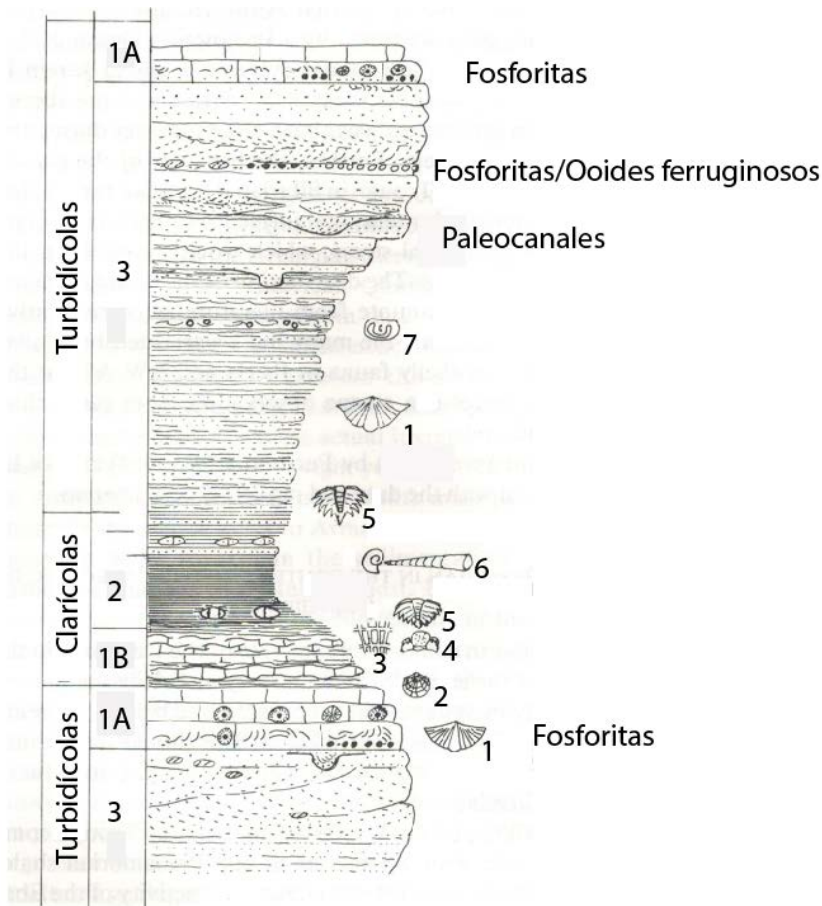


FIGURA 5.- Esquema de un ritmotema tipo de la serie devónica de la Cordillera Ibérica. Leyenda: 1. Faunas de espiriféridos turbidícolas (o renanos), 2. Faunas clarícolas (o bohémicas), 3. Briozoos fenestélidos, 4. Faunas de trilobites clarícolas, 5. Faunas de trilobites turbidícolas, 6. Faunas pelágicas (cefalópodos), 7. Ostrácodos beyrichidos (Modificado de Carls, 1988).

En esta cuenca hubo también episodios de ascenso local de fluidos hidrotermales, como demuestra el yacimiento estratoligado de Pb-Zn asociado al miembro inferior de la Formación Nogueras en la zona estudiada en este trabajo (López Ciriano et al., 1992), y cuya génesis está ligada a la exhalación sinsedimentaria de fluidos hidrotermales a través de fallas (López Ciriano, com. pers., 2016).

6. Descripción de resultados

6.1. Serie estratigráfica estudiada

La serie estratigráfica del miembro inferior de la Formación Nogueras, estudiado en este trabajo (miembro d2a de Carls y Gandl, 1967), se ha obtenido mediante el levantamiento de dos perfiles parciales capa a capa, perfil Las Viñas (VI) y perfil Virgen del Carmen (VC), cuya representación gráfica detallada se incluye en el Anexo 1 y de forma más sintética en la Figura 6.

En estos perfiles han podido ser identificados los diferentes paquetes y unidades definidos por Carls en este miembro (ver Fig. 3), es decir desde d2 α (1 a 6) a d2 β (1 a 5). El perfil VI, de 13,3 m de potencia, se inicia en el límite entre la Formación Luesma y el miembro inferior de la Formación Nogueras (unidad d2 α 1), que corresponde a los primeros niveles de la serie devónica que contienen una proporción significativa de restos fósiles en comparación con los infrayacentes de la Formación Luesma (Fig. 7a). Este perfil abarca hasta la parte basal de la unidad d2 α 5. El perfil VC tiene 23.9 m de potencia y abarca desde la parte superior de la unidad d2 α 5 hasta el techo de la unidad d2 β 5 (Fig. 7b), de modo que en conjunto se ha reconstruido una serie estratigráfica de 37,2 m de potencia del miembro inferior de la Formación Nogueras, si bien la potencia de la unidad d2 α 5 no ha podido ser precisada con exactitud, debido a las condiciones estructurales de los afloramientos (Figs. 6 y 7).

Siguiendo la terminología de Carls (1967,1988), el paquete d2 α se encuentra dividido en 6 unidades (Fig. 6): la unidad d2 α 1 es una alternancia de calizas arenosas con estratificaciones cruzadas (localmente *herringbone*) y calizas bioclásticas con braquiópodos y briozoos, pasando a dominar estas últimas hacia techo. La unidad d2 α 2 comienza con lutitas con intercalaciones de areniscas a las que se les superpone una alternancia de calizas bioclásticas con dominancia de crinoides y otras con dominancia de braquiópodos. A techo se puede observar un paleokarst. La unidad d2 α 3 es en una alternancia de calizas bioclásticas de briozoos y braquiópodos y lutitas, a las que sucede un tramo lutítico potente con intercalaciones de areniscas con *ripples* y laminación cruzada. La unidad d2 α 4 está conformada por calizas de braquiópodos con estratificación cruzada y con intercalaciones lutíticas. La unidad d2 α 5 se caracteriza por un predominio de calizas bioclásticas de crinoides con alguna intercalación de lutitas y calizas de braquiópodos. Finalmente, la unidad d2 α 6 está conformada por una serie de bancos potentes de calizas de crinoides y el último nivel de calizas arenosas de la serie.

En lo que respecta al paquete d2 β , está dividido en 5 unidades (Fig. 6): la unidad d2 β 1 se caracteriza por una alternancia de calizas bioclásticas de braquiópodos y margas ricas en fósiles, especialmente braquiópodos. La unidad d2 β 2 comienza con calizas de crinoides con intercalaciones de calizas de braquiópodos y briozoos, a las que se superpone una alternancia de calizas de braquiópodos y margas fosilíferas. Algunas de estas calizas tienen nódulos fosfáticos y restos de vertebrados. A techo de la unidad vuelven a dominar las calizas de crinoides. La unidad d2 β 3 es predominantemente detrítica, con niveles lutíticos con intercalaciones de areniscas finas,

margas y calizas de braquiópodos. La unidad d2aβ4 es una alternancia de calizas de braquiópodos y margas, que hacia techo se ve sustituida por lutitas con intercalaciones finas de areniscas y calizas. La unidad d2aβ5 es similar a d2aβ4, pero las calizas bioclásticas de braquiópodos tienen una mayor presencia y mayor espesor, terminando la unidad con un nivel calcáreo potente con nódulos fosfáticos.

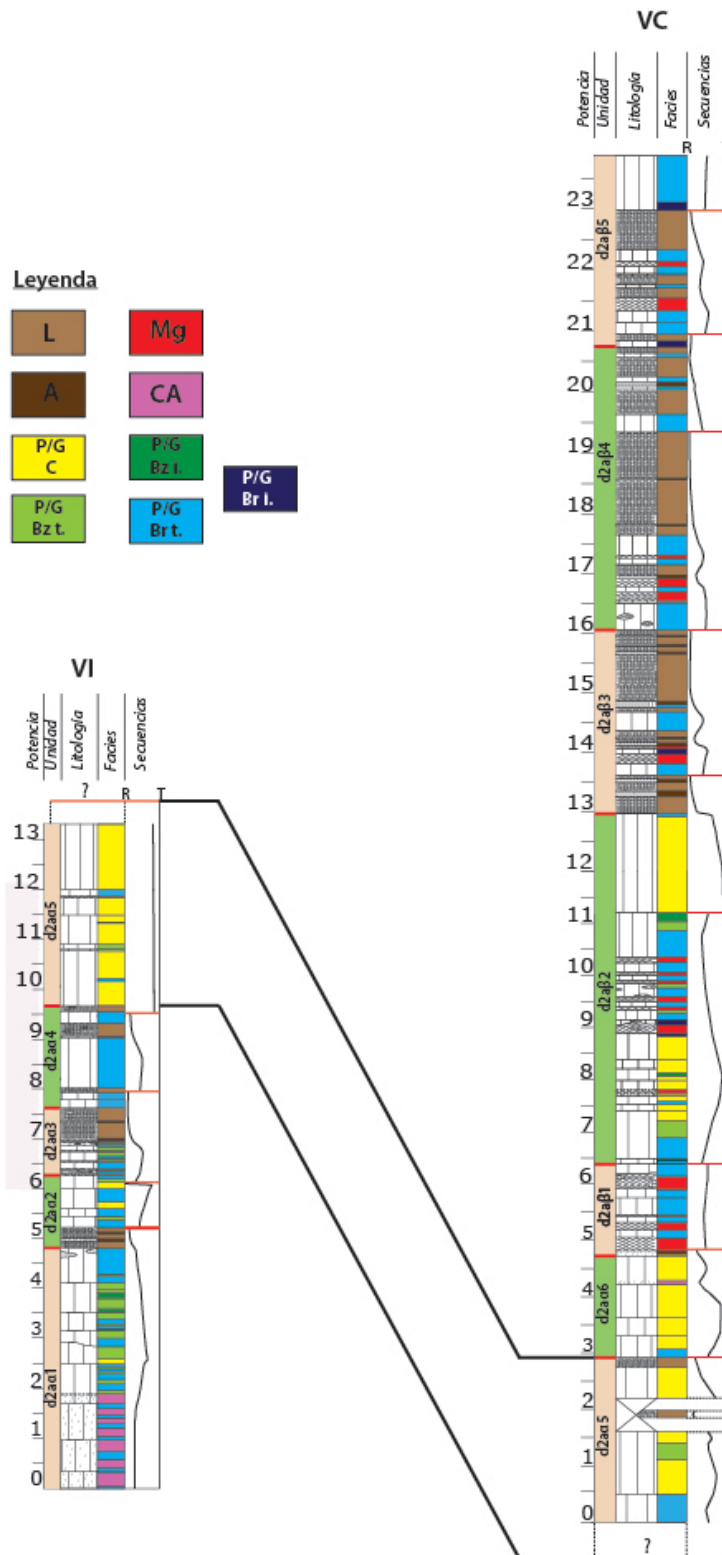


FIGURA 6.- Serie sintética del miembro inferior (d2a) de la Formación Noguera. Los dos perfiles se han correlacionado a partir de la localización en ambos perfiles de la unidad d2aα5.



FIGURA 7.- A) Perfil Las Viñas. Serie invertida B) Perfil Virgen del Carmen: Serie normal. En ambos cortes se han señalado con líneas rojas los tramos definidos por P. Carls y con líneas negras, fracturas y fallas que afectan a la serie. En 7b, los asteriscos 1 y 2 indican el inicio y el final del perfil, respectivamente. La localización de las unidades en la mina ha sido posible gracias a la información aportada por López Ciriano (com. pers.)

6.2. Análisis sedimentológico

El análisis en campo y el estudio de las secciones pulidas y láminas delgadas elaboradas a partir de las muestras recogidas en el campo ha permitido caracterizar 9 tipos de facies en el miembro inferior de la Formación Nogueras (Fig. 6 y Anexo 1).

Las facies han sido definidas atendiendo en primer lugar a criterios litológicos, en facies detríticas, mixtas y carbonatadas. En segundo lugar, para las facies detríticas y mixtas, se ha tenido en cuenta el tamaño de grano del sedimento detrítico, de modo que en las facies detríticas, se han reconocido facies de lutitas y areniscas, y en las facies mixtas, margas con braquiópodos y calizas arenosas y bioclásticas. En el caso de las facies carbonatadas, todas ellas facies bioclásticas con textura granosostenida (*packstone-grainstone*: P/G), se han clasificado teniendo en cuenta el tipo de resto esquelético dominante (briozoos, braquiópodos o crinoides) y criterios tafonómicos en 5 tipos: P/G de crinoides, P/G de briozoos “transportados”, P/G de briozoos “*in situ*”, P/G de braquiópodos “transportados” y P/G de braquiópodos “*in situ*”.

A continuación se ofrece una descripción de las características más relevantes de estas facies. Una descripción más detallada se ofrece en la Tabla 1. Así mismo, en el Anexo 2, se incluyen fotografías de campo, sección pulida y lámina delgada de dichas facies, que ilustran sus características más representativas.

La facies de lutitas se presenta en niveles de potencia centimétrica a decimétrica y muestran laminación paralela, así como ausencia de restos fósiles. La facies de areniscas corresponde a areniscas de grano fino, estratificadas en niveles centimétricos a decimétricos,

que muestran *ripples* y laminación cruzada y ocasionales restos de braquiópodos, briozoos y crinoides.

La facies de margas con braquiópodos se presenta en niveles margosos a lutíticos, de potencia centimétrica, ocasionalmente bioturbados y con abundante contenido fósil, especialmente braquiópodos (varios grupos), y en menor medida briozoos, tentaculites y ortocerátidos. La facies de calizas arenosas bioclásticas se estratifica en niveles de 0,5 m de potencia media y muestran estratificación cruzada (planar, en surco, *herringbone*) y abundantes bioclastos de braquiópodos y briozoos fragmentados. Ferruginizaciones ocasionales.

La facies de *P/G* de crinoides se presenta en niveles calcáreos lumaquélidos potencias decimétricas a métricas, conformados por bioclastos de crinoides y braquiópodos, con costras ferruginosas frecuentes. La facies de *P/G* de briozoos “transportados” está representada por niveles calcáreos lumaquélidos, con 15 cm de potencia media, conformados principalmente por bioclastos de briozoos, generalmente ferruginizados, y en menor medida por braquiópodos y ooides ferruginosos. La facies de *P/G* de briozoos “*in situ*” se identifica con niveles centimétricos y está dominada por briozoos bien preservados, que a veces aparecen en posición de producción; otros bioclastos minoritarios son braquiópodos y crinoides. La facies *P/G* de braquiópodos “transportados” se presenta como niveles de calizas lumaquélidas de 30 cm de potencia media, conformados por bioclastos de braquiópodos con evidencias de transporte, nódulos fosfáticos y en menor medida, briozoos, crinoides y vertebrados. Por último, la facies *P/G* de briozoos “*in situ*” está representada por niveles centimétricos de calizas lumaquélidas con abundantes braquiópodos bien preservados, y en menor medida, briozoos y crinoides.

Las facies descritas están presentes en su mayoría a lo largo de todo el miembro, pero determinadas facies muestran una distribución preferente dentro de los paquetes definidos por Carls y Gandl (1967). En el límite entre los paquetes $d2a\alpha$ y $d2a\beta$, se produce la desaparición de la facies de calizas arenosas y la aparición de la facies de margas con braquiópodos y *P/G* de braquiópodos “*in situ*”. Las facies descritas se asocian en la vertical de manera compleja, intercalándose entre sí, incluso a escala de estrato (Fig. 6 y Anexo 1). Para visualizar dicha asociación en la vertical, se ha realizado un conteo del número de veces que una facies concreta pasa verticalmente a otra (ver Anexo 3). Las relaciones de facies inferidas a partir de los resultados de dicho conteo se han sintetizado en la Figura 8, para los paquetes $d2a\alpha$ y $d2a\beta$, teniendo en cuenta la aparición o desaparición de facies observada en dicho límite.

De esta manera, en el paquete $d2a\alpha$ se puede constatar que las facies detríticas suelen estar asociadas, apareciendo usualmente la facies de areniscas como intercalaciones dentro de la facies de lutitas. Por su parte, dentro de las facies mixtas, la facies de calizas arenosas se intercala con la facies de *P/G* de braquiópodos “transportados”, aunque es una facies ocasional, que aparece mayoritariamente en la base del paquete (unidad $d2a\alpha 1$). Por otro lado, en este paquete no aparecen la facies margas con braquiópodos. En lo que respecta a las facies carbonatadas, las tres facies principales de *P/G* (crinoides, briozoos y braquiópodos “transportados”) se intercalan entre sí, aunque la facies de *P/G* braquiópodos “transportados” es la única que se relaciona claramente con las facies detríticas. La facies de *P/G* de briozoos “*in situ*” aparece como término ocasional, intercalándose con las facies de *P/G* de crinoides y *P/G* de briozoos “transportados”.

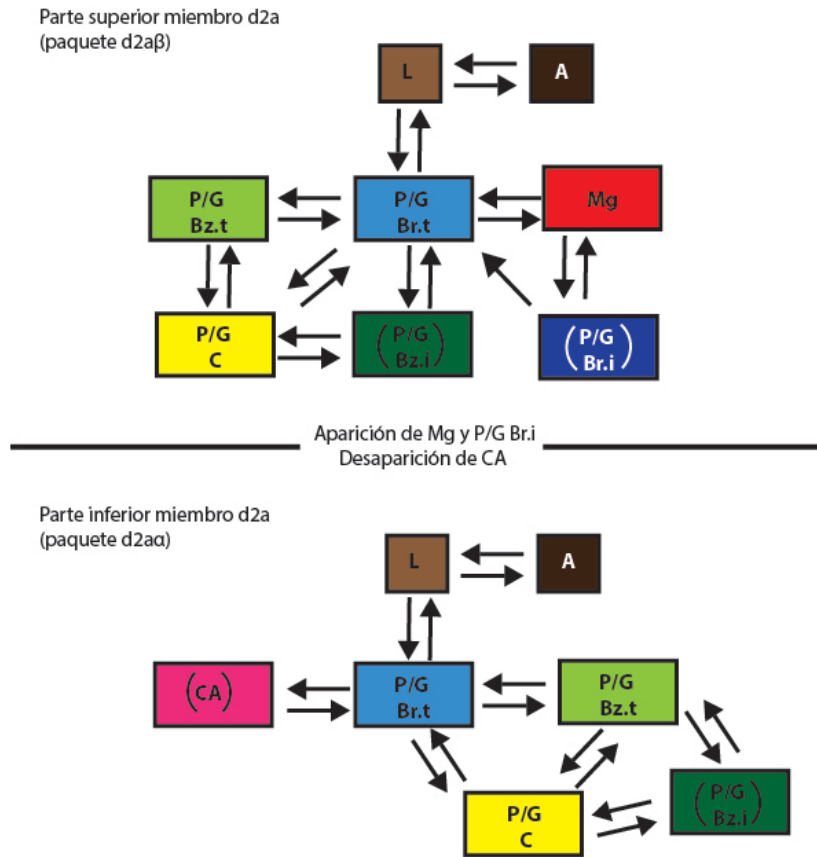


FIGURA 8.- Relaciones verticales de las facies descritas para el miembro inferior de la Formación Nogueras. La doble flecha indica una alternancia, la flecha única indica una transición a techo, mientras que los paréntesis señalan a facies ocasionales.

En el paquete d2aβ dejan de estar presentes las facies de calizas arenosas, y aparecen las facies de margas con braquiópodos y P/G de braquiópodos “*in situ*”, por lo que las relaciones de facies varían en este paquete. Las facies detríticas mantienen la relación que mantenían en el paquete anterior, intercalándose las areniscas dentro de las facies de lutitas, y a su vez, las facies detríticas siguen alternándose con las facies de P/G de braquiópodos “transportados”. En lo que respecta a facies de margas con braquiópodos, esta se alterna con la de P/G de braquiópodos “transportados”, pero no muestra una relación clara con las facies detríticas. También tiene relación de manera ocasional con las facies de P/G de braquiópodos “*in situ*”. Las facies carbonatadas mantienen las mismas relaciones del paquete inferior, intercalándose las tres facies principales, aunque lo que varía son las relaciones de los términos ocasionales: la facies P/G de braquiópodos “*in situ*” suele pasar a techo a P/G de braquiópodos transportados e intercalarse con la facies de margas con braquiópodos; mientras que la facies de P/G de briozoos “*in situ*” se intercala ocasionalmente con las facies P/G de braquiópodos “transportados” y P/G de crinoides, pero no con la facies de P/G de briozoos “transportados”.

	Facies	Componentes dominantes	Componentes accesorios	Estratificación y estructuras
DETRÍTICAS	Lutitas	Fango detrítico.	-	Niveles tabulares, potencia cm a m, media: 30 cm). Laminación paralela.
	Areniscas	Granos de cuarzo tamaño arena fina bien clasificados.	Granos esqueléticos (<15%): briozoos, crinoides y braquiópodos (fragmentados). Local resto de vertebrado (peces?, conodontos?).	Niveles tabulares planos o con techo ondulado, potencia dm (media: 10 cm). Laminación cruzada, ripples, local bioturbación.
MIXTAS	Margas con braquiópodos	Fango detrítico y carbonatado. Granos esqueléticos (20-30%): braquiópodos, con las valvas articuladas frecuentemente .	Granos esqueléticos (10-15%): briozoos, tentaculites, ortocéridos y bivalvos.	Niveles tabulares irregulares, ocasionalmente de base o techo planos, potencia cm (media: 8 cm). Ocasional bioturbación y lentejones de caliza.
	Calizas arenosas bioclásticas	Granos de cuarzo tamaño arena fina a gruesa mal clasificados (40-50%). Granos esqueléticos (35-45%): fragmentos milimétricos de braquiópodos y briozoos.	Granos esqueléticos (5-10%): Crinoides (artejos sueltos) Localmente nódulos fosfáticos e intraclastos.	Niveles tabulares de base y techo planos, localmente de base canaliforme, potencia dm (media: 25 cm). Estratificación cruzada planar y en surco y herringbone, localmente bioturbación y muy ocasional ferruginización.
CARBONATADAS	P/G de crinoides	Granos esqueléticos: crinoides (artejos, ocasionalmente tallos articulados, Φ: 1.5 mm-2 cm, 40-50%) y braquiópodos (valvas desarticuladas, 25-30%).	Granos esqueléticos: briozoos (ramosos y monticulares) y ostrácodos (10-15%) y ocasionales ortocéridos. Localmente ooides ferruginosos y nódulos fosfáticos.	Niveles tabulares, de base y techo planos, potencia dm a m (media: 50 cm). Niveles con granoselección grosera. Costras ferruginosas frecuentes. Local superficie de paleokarst.
	P/G de briozoos "transportados"	Granos esqueléticos (45-55%): briozoos ramosos y monticulares (fragmentos Φ: 5 mm-8 cm, redondeados, ferruginizados o fosfatizados y acumulados)	Granos esqueléticos: braquiópodos (generalmente con valvas desarticuladas, 20-25%), crinoides (artejos, 10%) y ocasionales restos de vertebrados (peces). Localmente ooides ferruginosos retrabajados y nódulos fosfáticos en los niveles con restos de vertebrados.	Niveles tabulares planos, localmente de base o techo irregular, potencia dm (media: 15 cm). Local estratificación cruzada planar y ferruginización.
	P/G de briozoos "in situ"	Granos esqueléticos (65-75%): briozoos (ramosos y monticulares, bien preservados y en ocasiones en posición de producción, Φ: 5 mm-15 cm.	Granos esqueléticos: braquiópodos (generalmente desarticulados, 15-20%) y crinoides (artejos sueltos, 5-10%).	Niveles tabulares, con base y techo planos, de potencia cm (media: 9 cm). Briozoos en posición de vida sobre techos (costra ferruginosa) de estrato.
	P/G de braquiópodos "transportados"	Granos esqueléticos (60-70%): braquiópodos desarticulados, fragmentados, redondeados, Φ: 0.25 mm-2 cm.	Granos esqueléticos (10-15%): briozoos, bivalvos, tentaculites, ostrácodos y crinoides; trilobites y restos de peces localmente. Ooides ferruginosos (5-10%) y nódulos fosfáticos en los niveles con restos de peces.	Niveles tabulares irregulares y lenticulares, localmente con bases canaliformes, potencia dm (media: 30 cm). Estratificación cruzada planar (ocasional), niveles ferruginizados y bioturbación.
	P/G de braquiópodos "in situ"	Granos esqueléticos (75-80%): braquiópodos con las valvas articuladas, conchas completas, Φ: 0.5-5 cm.	Granos esqueléticos (5-10%): briozoos, tentaculites y crinoides. Nódulos fosfáticos ocasionales.	Niveles tabulares, de techo y base planos, potencia centimétrica, 10 cm de media.

TABLA 1.- Principales características composicionales y texturales de las facies definidas para el miembro inferior de la Formación Noguera. Para las facies carbonatadas la abreviatura P/G indica textura Packstone/Grainstone.

6.3. Análisis paleontológico

a) Grupos fósiles dominantes en la serie estratigráfica

Durante el trabajo de campo se han observado y recogido diversas muestras de fósiles de invertebrados. Posteriormente, durante el trabajo de laboratorio, se han reconocido otros grupos fósiles en lámina delgada, especialmente en lo referente a vertebrados. El Anexo 4 recoge una serie de fotografías de campo y de laboratorio, tanto de conchas en vistas internas y externas, como en lámina delgada de los principales grupos fósiles reconocidos en este trabajo. Para su identificación ha sido de mucha utilidad el trabajo de Herrera y Villas (2013).

Dentro de los invertebrados, se han recogido fósiles de briozoos (Orden Trepostomata) de morfologías ramosas y monticulares, de crinoides, de tentaculites (grupo con afinidad incierta) y de cefalópodos nautiloideos ortocéridos. Los braquiópodos son el grupo fósil más abundante y diverso en las rocas estudiadas, y del que más ejemplares se han recogido, habiéndose podido identificar los siguientes órdenes y géneros: Orden Orthida (*Platyorthys*, *Isorthys*, *Schizophoria*), Orden Spiriferida, Orden Strophomenida, Orden Terebratulida (*Megantherys*, *Neopaulinella*), Orden Rhynchonellida (*Uncinulus*), Orden Athyridida y Orden Atrypida. En lámina delgada se han observado también restos fósiles de ostrácodos, bivalvos y trilobites.

En lo que respecta a los vertebrados no se ha encontrado ningún macrofósil en campo, y solo se han identificado evidencias en lámina delgada de restos de peces (Botella, com. pers., 2016). Debido a las pocas evidencias resultantes, no se puede precisar más su clasificación, aunque en la zona se conocen restos de conodontos, y peces condriictios, telodontos, acantodios y placodermos (Botella et al., 2002, 2006, 2012), por lo que estudios posteriores podrían ayudar a incluirlos dentro de uno de estos grupos.

b) Análisis taxonómico de la capa 46

A techo de la capa 46 se encuentra una gran concentración de fósiles, mayoritariamente conchas de braquiópodos (Fig. 9 y Anexo 5). Dicha capa presenta unas condiciones de afloramiento excepcionales, donde puede observarse un área bastante extensa de la superficie de la capa. Por ello se ha procedido a realizar un estudio taxonómico en una cuadrícula de 25x25 cm, a fin de hacerlo extensible a toda la capa. Para ello se ha realizado una estimación de la presencia de cada grupo fósil en la capa (Anexo 5a) y cuyos resultados pueden consultarse en la Figura 10.

En la capa dominan los braquiópodos órtidos (62%), habiéndose diferenciado tres morfologías principales, que de menos a más abundante son: Or1: con conchas biconvexas con costillas finas (asociadas al género *Isorthis*), Or2: con conchas plano-convexas, con costillas finas (asociadas al género *Plathyorthis*) y Or3: con conchas de gran tamaño fuertemente convexo-planas y costillas gruesas (asociadas al género *Schizophoria*). Además se observan restos de otros órtidos minoritarios pero no identificados. El segundo grupo de braquiópodos dominante es el de los terebratulidos (13%), los cuáles presentan poca variación, ya que todos pertenecen al género *Megantherys*.

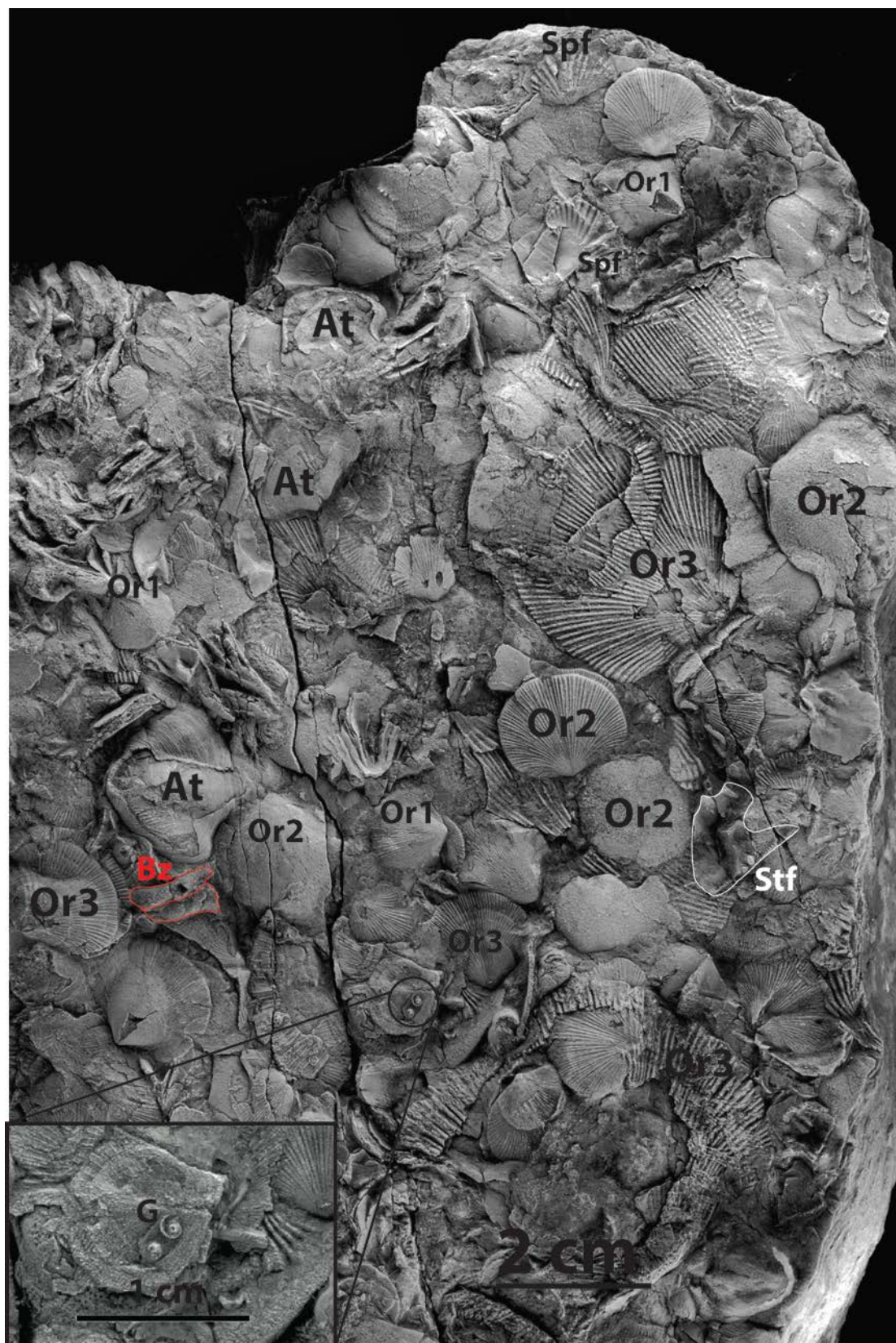


FIGURA 9.- Muestra representativa del techo de la capa 46. At: Atirididos, Bz: briozoos, G: gasterópodos, Or1: órtidos morfología 1, Or2: órtidos morfología 2, Or3: órtidos morfología 3, Spf: espiroféridos, Stf: estromatómenidos. En esta muestra no aparecen terebratulídeos. El ejemplar Or3 de la esquina inferior derecha. fue fracturado durante la diagénesis.

Tanto los atirididos (9%) como los espiriféridos(8%) son grupos ya secundarios y con poca diversidad (dos géneros de atirididos y aparentemente uno de espiriféridos). Grupos ya más minoritarios son los briozoos y tentaculites, a los que se suman gasterópodos, crinoides y braquiópodos estrofoménidos y atrípidos que no aparecen en la cuadrícula, pero que han sido observados en campo; no obstante siguen teniendo un carácter residual.

En conclusión, existe una alta diversidad faunística en la capa 46, en la que están representados todos los grandes grupos de braquiópodos conocidos durante el Devónico, aunque cada uno de ellos está representado por escasos géneros.

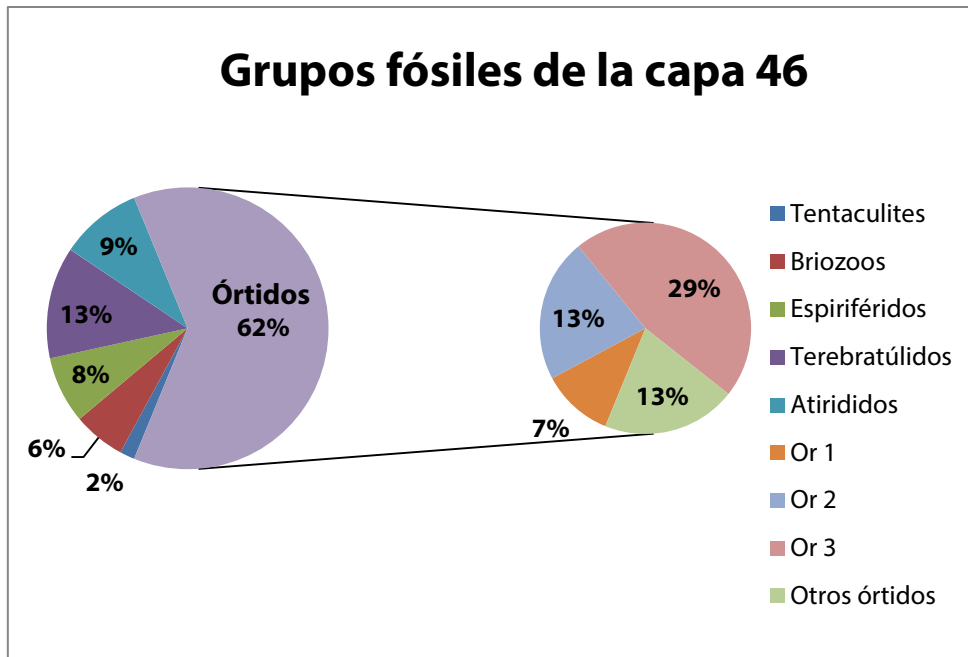


Figura 10.- Porcentajes relativos de abundancia de los distintos grupos fósiles en la capa 46 a tenor del conteo realizado en el cuadrado de referencia (Anexo 5a).

c) Análisis tafonómico de la capa 46

Para esta parte del análisis se han tenido en cuenta una serie de rasgos o aspectos relativos a la conservación de las conchas que pueden aportar información sobre las condiciones del medio sedimentario en el que se preservaron estos fósiles. Los aspectos estudiados son: la articulación/desarticulación de las conchas, la clasificación de las mismas tanto por tamaños como por formas, el grado de fracturación, la orientación de la concavidad y convexidad de las valvas, la orientación de estructuras lineales y el número de valvas dorsales y ventrales preservadas. Estos aspectos son solo aplicables al grupo de los braquiópodos, el grupo dominante, si bien se señalarán también aquellas características tafonómicas relevantes de los otros grupos. Estas características se han evaluado en el mismo cuadrado de referencia que se ha utilizado para el análisis taxonómico (Anexo 5b).

Los órtidos son el grupo mayoritario. Las conchas suelen aparecer desarticuladas, aunque las valvas suelen aparecer completas, con un grado de fracturación del 35%, aunque este porcentaje es relativo, ya que no se consideran aquí las fracturas fosildiagnéticas (Fig. 9), que a veces son complicadas de distinguir de las fracturas bioestratinómicas, anteriores al enterramiento. Así mismo predomina la orientación con la convexidad de las valvas hacia arriba (88%) frente a la concavidad hacia arriba (12%). Se observa un equilibrio entre el número de

valvas dorsales (51%) y ventrales (49%), esta proporción se mantiene relativamente en las tres morfologías principales: Or1 (biconvexa): 60-40, Or2 (plano-convexa): 47-53 y Or3 (convexo-plana): 53-47. La orla de tamaños es variada, y va desde conchas pequeñas de Or1 de 0.5 cm hasta las grandes conchas de Or3 de 5 cm, por lo que la clasificación es mala.

Los terebratulidos presentan tamaños desde 0,5 hasta 2 cm y aparecen bien preservados, siempre con las dos valvas articuladas, y en ocasiones (33%) lo hacen en posición de producción, con la valva dorsal apoyada en el sustrato y la valva ventral, de la que saldría el pedúnculo con el que se fijarían al sustrato, en posición cenital. Los atirididos con tamaños de 0,8 a 1,5 cm, aparecen también bien preservados, con la concha completa, aunque aparece también alguna valva desarticulada. Los espiriferidos presentan un estado de conservación variado desde algunas conchas completas hasta fragmentos sueltos, presentan una fuerte selección con tamaños entre 1-1.2 mm. Los estrofoménidos son escasos y aparecen desarticulados y fragmentados.

Los briozoos aparecen en posición de producción, utilizando las conchas de los braquiópodos como sustrato sobre el que crecer. Los crinoides aparecen como artejos sueltos y muy dispersos. No se han evaluado ni los gasterópodos ni los tentaculites por su escasa ocurrencia. En líneas generales no se ha observado orientaciones preferentes de estructuras lineales.

7. Interpretación y discusión

En este apartado se realiza la interpretación del modelo de sedimentación en el que posteriormente se integrarán los datos paleontológicos obtenidos, como herramienta complementaria para deducir los paleoambientes sedimentarios.

7.1. Análisis sedimentológico y distribución de secuencias

La interpretación del modelo de sedimentación se ha realizado teniendo en cuenta las características de las facies, que informan de los procesos sedimentarios, y el apilamiento o relaciones verticales de facies observadas para los paquetes $d2\alpha$ y $d2\beta$ (Fig. 8), que informan de la relación lateral de las facies durante el depósito, de modo que se proponen dos modelos de sedimentación, uno para cada paquete ya que cada uno de ellos presenta distinto conjunto de facies implicadas (Fig. 10).

Las facies L, A, P/G Br. t., P/G Bz t. y P/G C son comunes a ambos modelos. Las facies L y A corresponden al depósito de fangos detríticos en condiciones de baja energía (facies L), en el que se intercalan sedimentos más gruesos (facies A) depositados en condiciones de mayor energía con desarrollo de *ripples* (cuya migración origina laminación cruzada). Estas facies encajan con las facies descritas en los ambientes intermareales de llanura de marea siliciclásticas, donde típicamente se reconocen alternancias de lutitas y areniscas con formas de lecho (Dalrymple, 2010). Asociadas a estas se encontrarían las facies P/G Br. t., P/G Bz t. y P/G C. (Fig. 9), caracterizadas por el predominio (en distintas proporciones) de braquiópodos, briozoos y crinoides, que corresponderían a sedimentos de alta energía, como indica la textura granosostenida y la presencia de restos fósiles fragmentados y ocasionales ooides ferruginosos, así como de estratificación cruzada, bases canaliformes y granoselección grosera, todo ello indicativo del desarrollo de *megaripples* y dunas en ambientes submareales someros y en ocasiones a acumulaciones bioclásticas en la zona intermareal (*washover fan*: debidos a

tormentas). No obstante, la facies P/G Br. t., sería relativamente más proximal (ya que se asocian con las facies A y L) y las facies P/G Bz t. y P/G C se encontrarían en una posición más distal, y ésta última a su vez, se encontraría en una posición más distal que P/G Bz. t. (Fig. 8).

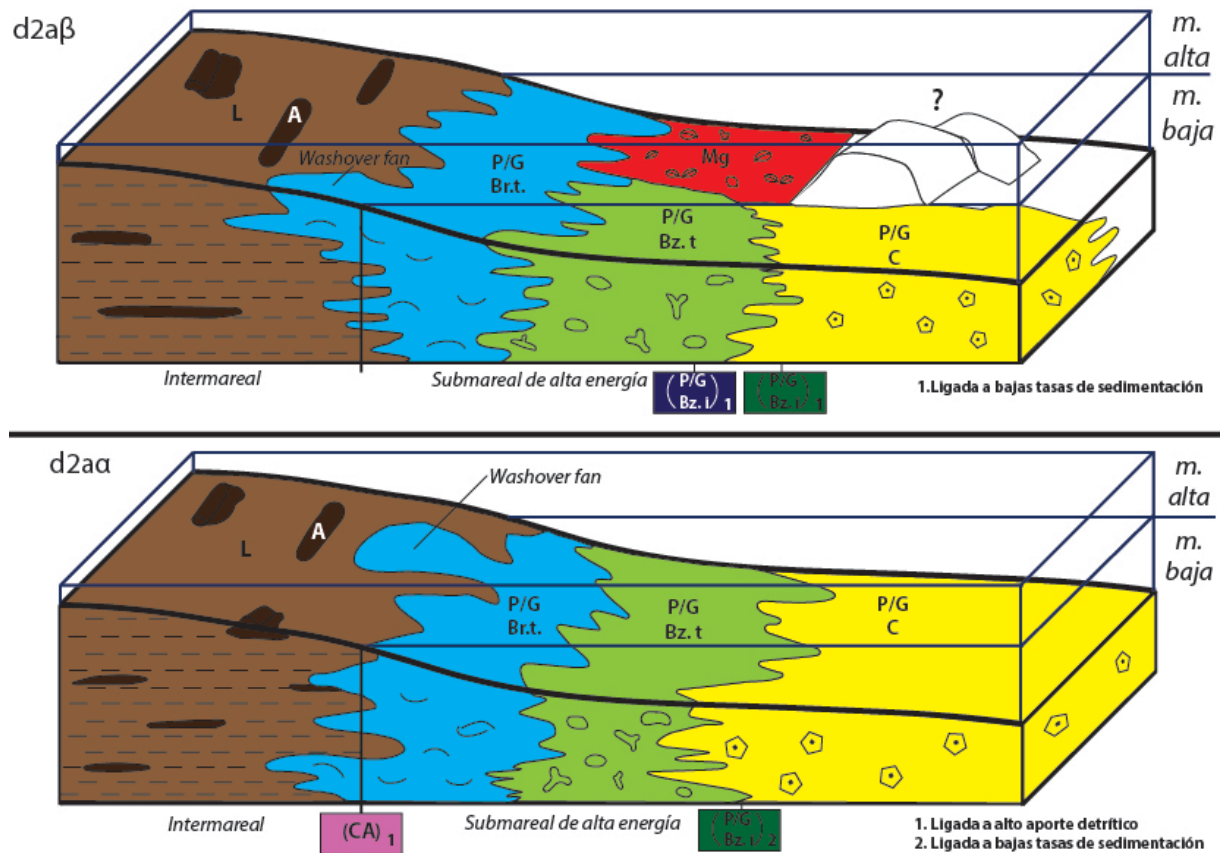


FIGURA 11.- Modelos sedimentarios propuestos para los paquetes d2aα y d2aβ con las relacionadas lateralmente. El interrogante indica la ubicación de los supuestos bajíos de los que no se tiene control en campo y que permitirían el depósito de la facies Mg al proteger una parte de la zona submareal.

En el modelo del paquete d2aα, en relación de cambio lateral con la facies P/G Br. t. se encontraría la facies C.A., que corresponderían a sedimentos de alta energía similares a las facies P/G (textura granosostenida, estratificación cruzada, incluida *herringbone*, típica estructura mareal (Dalrymple, 2010), pero de carácter mixto, con componentes terrígeno-bioclásticos y depositados en el límite entre la zona intermareal y submareal. Esta facies solo aparece en la parte basal del paquete, y es una facies de transición entre las formaciones Luesma y Nogueras. La facies de P/G Bz. i., es una facies muy local, que correspondía a niveles muy poco potentes de briozoos “in situ”, presentes en la base o techo de capas, a veces colonizando superficies ferruginizadas, lo cual se interpreta como la colonización local de los sedimentos submareales en momentos de bajas tasas de sedimentación, durante las cuales el sedimento se cementaría y actuaría como sustrato duro o firme.

En el modelo del paquete d2aβ aparecen la facies Mg, de margas con braquiópodos, en su mayoría bien conservados y presentando una alta diversidad, dicha facies se encontraría en relación de cambio lateral y vertical con las facies de braquiópodos (i.e. P/G Br. t. y P/G Br. i.: ver Fig. 8), lo que dejaría dos posibles opciones para la posición de estos fangos mixtos dentro del modelo sedimentario: por un lado podrían depositarse en ambiente submareal (pequeñas charcas o *ponds*) dentro de la zona intermareal. No obstante la escasa o nula relación de Mg con

las facies de la zona intermareal (L y A) ponen en duda esta opción. Por otro lado la facies Mg podría localizarse en relación con P/G Br. t. y P/G Br. i, pero en dominios submareales protegidos, en zonas de baja energía donde se podría producir la sedimentación de las margas. Esta labor de protección sería llevada a cabo por bajíos, pero la ausencia de una facies con evidencias del desarrollo de grandes formas de lecho (e.g. estratificación cruzada de gran escala) en los afloramientos estudiados es un argumento en contra de esta opción, por lo que serían necesarios estudios más fondo para corroborar esta hipótesis. La facies de P/G Br. i. es un término ocasional que aparece en la zona submareal asociado a las facies Mg y P/G Br. t., apareciendo a base y techo de algunos niveles, y se profundiza sobre ella en el apartado de paleontología (7.2).

Teniendo en cuenta esta distribución de facies, en la serie se han descrito 14 secuencias (Fig. 6 y Anexo 1), de en torno a 4 m de potencia media. El límite superior de cada secuencia es una superficie de transgresión, al que se suele superponer un banco de calizas con nódulos fosfáticos. Las secuencias tienen un carácter somerizante, con una transición gradual de un ambiente submareal a uno intermareal, aunque no siempre son tan homogéneas. Presentan cierta similitud con los ritmotemas descritos por Carls (1988 y 1999), aunque a diferencia de estos, no presentan una disminución de la energía del medio hacia techo, ya que la secuencia no llega a profundizar (fase 2 de los ritmotemas), sino que evoluciona directamente a una zona intermareal. Al no haber aportes detríticos importantes, tampoco aparece el término arenoso grueso de la fase 3, quedándose en lutitas y arenas finas.

7.2. Análisis paleontológico

En lo que respecta a la paleoecología, los datos sedimentológicos indican una zonación relativa de los organismos dentro del dominio submareal de la plataforma, con los braquiópodos dominando en las zonas más someras y los crinoides en las más profundas, mientras que los briozoos representan un término medio. Carls y Valenzuela-Ríos (2002) señalan que la fauna de la formación Nogueras es típicamente turbidícola o renana, adaptada a ambientes con aguas turbias y agitadas, con arenas y arcillas en suspensión y baja visibilidad. Esto parece concordar con los fósiles hallados, como demuestran las adaptaciones para repeler el sedimento siliciclástico, como pueden ser la comisura en zigzag de espiriféridos y rinconélidos (*Uncinulus*), o las arrugas de los atirididos. La práctica ausencia de corales también es indicativo de ello, ya que suelen estar ligados a aguas claras.

En cuanto al modo de vida, podemos distinguir dentro de los braquiópodos (Clarkson, 1979) a aquellos que vivían fijos al sustrato durante toda su vida (epibentónicos sésiles) como los terebratulidos, espiriféridos, atirididos y órtidos, mientras que otros vivirían de manera libre (epibentónicos libres) sobre el sustrato, como los *Schizophoria*, cuya abultada valva dorsal utilizaban para equilibrarse, apoyándose con ella sobre el fondo durante su etapa adulta, desprovista de pedúnculo fijador.

Los briozoos también eran epibentónicos sésiles (Clarkson, 1979), fijándose por cementación sobre el sustrato consolidado en fase larvaria y creciendo de forma ramosa, incrustante o monticular en función de la energía del medio, ya que generalmente los ramosos presentan mayor fragilidad. Que hayan sido hallados solo creciendo sobre costras ferruginosas y sobre conchas de braquiópodos indican que el sustrato no estaba consolidado en la plataforma somera en la que vivían, y por tanto rara vez pudieron desarrollar grandes colonias. Lo mismo les ocurría a los crinoides, también organismos sésiles, cuyas múltiples placas calcáreas se

desarticulaban tras la muerte, siendo transportadas por las corrientes y el oleaje lejos de la zona de vida. En cuanto a los organismos pelágicos como los ortocéridos y peces, vivían en aguas más profundas, y al morir, sus restos más ligeros eran transportados hacia áreas más someras. Cabe destacar la acumulación de huesos de peces en algunos niveles de fosforitas.

El análisis tafonómico de la capa 46 muestra por un lado una población de organismos autóctonos o paraautóctonos, que experimentaron un transporte mínimo, con conchas bien preservadas, poca clasificación y que en ocasiones aparecen en posición de producción (órtidos, terebratulidos, atirididos y briozoos), y por otro una serie de organismos alóctonos al medio, con mala conservación, buena clasificación, fracturación elevada y escasa ocurrencia (espiriferidos, estromenidos, crinoides). Por otro lado la ausencia de estructuras lineales y un predominio de las valvas orientadas con la convexidad hacia arriba indican que las conchas se acumularon en un ambiente con cierta turbulencia, pero sin estar sometidos a una corriente continua. Todo esto indica que las facies P/G Br. i. representan a episodios con sedimentación mínima, en los que se desarrollaban importantes comunidades de braquiópodos y otros organismos en la zona submareal, pero en condiciones tranquilas (Fig. 11). No obstante, al reanudarse la sedimentación y aumentar la energía del medio, eran sepultados o arrastrados levemente hasta el lugar de depósito, no muy lejos de su lugar de vida, a su vez que las corrientes arrastraban organismos alóctonos desde áreas más lejanas de la zona submareal. Esta facies como las facies Mg actuarían probablemente como área fuente de bioclastos de braquiópodos para las facies P/G Br.t.

Al interrogante planteado previamente en lo referente a la facies de margas con braquiópodos, la paleontología decanta la balanza hacia el modelo submareal protegido, pues dichas facies presenta una gran diversidad de grupos de braquiópodos paraautóctonos bien preservados, que vivían en un ambiente tranquilo, lo que no concuerda con un medio intermareal, en el que la energía es alta y la diversidad faunística es baja, habitado solo por algunas formas especialistas (Boucot, 1975).

8. Conclusions

Nine sedimentary facies have been described for the lower member of the Noguerras Formation (d2a), according to lithological, sedimentary and paleontological features: 2 siliciclastic facies, 2 mixed terrigenous-clastic facies and 5 carbonate facies. Their study has allowed the development of a sedimentary model sub-members d2a α and d2a β , since they do not share exactly the same facies group.

The model for d2a α shows two main domains: an intertidal zone, where fine siliciclastic sediments were deposited (alternation of lutites and fine-grained sandstones); whereas in the subtidal zone, carbonate sedimentation prevailed under high-energy conditions, leading to the formation of skeletal limestones with packstone/grainstone texture. The main skeletal grains changes according to their position in the subtidal zone: brachiopods dominate in shallower areas, meanwhile crinoids take over in distal areas, and bryozoans occupy an intermediate spot. There are also some mixed terrigenous-carbonate sand deposits related to episodes of high detrital input. The model for d2a β is quite similar to the previous one, having the same intertidal sediments, but some differences in the subtidal zone. In the first place there are not more mixed sand deposits, and in their place, rich brachiopod fauna marly deposits appear. These marls are related to calm areas of the subtidal zone, where rich ecosystems of orthids, terebratulids,

spiriferids and other groups developed. These areas should be protected by shoals; however there is not outcrop control of them. Further studies could confirm or dismiss this hypothesis.

The paleontological part of this study has pointed the main groups of organisms that habited this platform during the lower Devonian. Future studies could describe the communities associated to each one of the facies and deepen in the paleoecology.

9. Bibliografía

- Botella, H. y Valenzuela-Ríos, J.I. (2002): Análisis comparativo de microvertebrados fósiles del límite Lochkoviense/Praguense (Devónico inferior) en la depresión axial del río Cámaras (cordillera Ibérica, provincia de Teruel). *Revista del Instituto de Estudios Turolenses*, 88-89 (1): 111-133.
- Botella, H., Valenzuela-Ríos, J. I. y Carls, P. (2006). A new Early Devonian thelodont from Celtiberia (Spain), with a revision of Spanish thelodonts. *Palaeontology*, 49 (1): 141–154.
- Botella H., Martínez-Pérez C. y Soler-Gijón R. (2012) — *Machaeracanthus goujeti* n. sp. (Acanthodii) from the Lower Devonian of Spain and northwest France, with special reference to spine histology. *Geodiversitas* 34 (4): 761-783
- Boucot, A. (1975): Silurian-Devonian community framework. Benthic assemblage and community continuity. En: *Evolution and Extinction Rate Controls* (Boucot, A., ed.). Elsevier, Amsterdam, 11-56.
- Carls, P. (1987): Ein Vorschlag zur biostratigraphischen Redefinition der Grenze Gedinnium/Siegenium und benachbarter Unter-Stufen: Stratigraphische Argumente und Korrelationen.- *Courier Forschungs-Institut Senckenberg*, 92: 77 – 121.
- Carls, P. (1988): The Devonian of Celtiberia (Spain) and Devonian paleogeography of SW Europe. En: *Devonian of the World. Memoir of the Canadian Society of Petroleum Geologist*, Calgary (McMillan N. J., Embry A. F. y Glass D. J. eds.), Canadian Society of Petroleum, Calgary 421-466.
- Carls, P. (1999): El Devónico de Celtiberia y sus fósiles. En: *25 años de Paleontología aragonesa. Homenaje al profesor Leandro Sequeiros. Memorias de las VI Jornadas Aragonesas de Paleontología* (J.A. Gámez Vintaned y E. Linán, eds.). Jornadas Aragonesas de Paleontología, Zaragoza, 101 – 164.
- Carls, P. y Gandl, J. (1967): The Lower Devonian of the Eastern Iberian Chains (NE Spain) and the distribution of its Spiriferacea, Acastarinae and Asteropyginae. *International Symposium on the Devonian System, Calgary 1967*. Vol. 2: 453–464.
- Carls, P., Herrera, Z., Meléndez, G., Ramajo, J. y Villas, E. (2009): Guía de campo del Devónico de Santa Cruz de Nogueras (Teruel) y presentación de su centro de exposiciones paleontológicas. *Geo-Temas*, 12: 135-138.
- Carls, P. y Valenzuela-Ríos, J. I. (1998): The ancestry of the Rhenish Middle Siegenian brachiopod fauna in the Iberian Chains and its palaeozoogeography (Early Devonian). *Revista Española de Paleontología*, nº extr. Homenaje al Prof. Gonzalo Vidal: 123-142.

- Carls, P. y Valenzuela-Ríos, J. I. (1999): Similitudes y diferencias estratigráficas entre el Pridoliense-Praguiense celtibérico y armoricano. *Revista Española de Paleontología*, 14 (2): 279 -292.
- Carls, P. y Valenzuela-Ríos, J. I. (2002): Devonian-Carboniferous rocks from the Iberian Cordillera. En: *Palaeozoic conodonts from Northern Spain* (García-López, S. y Bastida, F., eds.). Instituto Geológico y Minero de España, serie Cuadernos del Museo Geominero, Madrid. Nº 1: 299 – 314.
- Clarkson, E. (1979): *Invertebrae paleontology and evolution*. George Allen & Unwin Ltd., London, 452 p.
- Cocks, L.R.M. y Torsvik, T.H. (2002): Earth geography from 500 to 400 million years ago: a faunal and palaeomagnetic review. *Journal of the Geological Society*, 159: 631-644.
- Dalrymple, R. (2010): Tidal depositional systems. En: *Facies Model 4* (Dalrymple, R. y James, N., eds.). Geological Association of Canada, St. Johns (Terranova y Labrador): 201-231.
- Dupret, V., Carls, P., Martínez-Pérez, C. y Botella, H. (2011): First Perigondwanan record of actinolepids (Vertebrata: Placodermi: Arthrodira) from the Lockovian (Early Devonian) of Spain and its palaeobiogeographic significance. *Palaeogeography, Palaeoclimatology and Palaeoecology*, 310: 273-282.
- Gozalo, R. y Liñán, E. (1988): Los materiales hercínicos de la Cordillera Ibérica en el contexto del Macizo Ibérico. *Estudios Geológicos*, 44: 399 – 404.
- Herrera, Z. y Villas, E. (2013): *Fósiles paleozoicos en el valle del río Cámaras (comarca del Jiloca, Teruel)*. Comarca del Jiloca, Calamocha, 74 p.
- Jiménez-Sánchez, A. y Villas, E. (2010): The bryozoan dispersion into the Mediterranean margin of Gondwana during the pre-glacial Late Ordovician. *Palaeogeography, Palaeoclimatology and Palaeoecology*, 294: 220-231.
- López Ciriano, A.; Bauluz Lazaro, B.; Fernández-Nieto, C. (1992): La mina de Zn-Pb "Virgen del Carmen" de Santa Cruz de Nogueras: morfología del yacimiento. *Boletín de la Sociedad Española de Mineralogía*, 15-1: 301-305.
- 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.
- Schemm-Gregory, M. (2011). A new species of *Neopaulinella* (Brachiopoda, Terebratulida) from the Eastern Iberian Chains, Spain (Lower Devonian). *Bulletin of Geosciences* 86(2): 227–240.
- Scotese, C. (en línea): Paleomap Project (fecha de consulta 5/9/2016). Disponible en: <http://www.scotese.com/elevelim.htm>