

Los Proarticulados de la Caliza de Vegadeo y la influencia del contraste reológico matriz/fósil para su conservación en rocas muy deformadas

Francisco J. Fernández¹, Miguel A. Arbizu¹, Rosana Menéndez², Daniel Arias¹, Isabel Méndez-Bedia¹ y Isabel Rábano³

¹ *Departamento de Geología, Universidad de Oviedo, c/ Arias de Velasco s/n, 33005 Oviedo, Spain.*

² *INDUROT, Universidad de Oviedo, c/ Independencia 13, 33004 Oviedo, Spain.*

³ *ITGE, c/ Ríos Rosas 23, 28003 Madrid, Spain.*

e-mail: brojos@asturias.geol.uniovi.es

Recibido el 30 de Septiembre de 1998. Aceptado el manuscrito revisado el 3 de Diciembre de 1998.

Resumen: Los Proarticulados encontrados en la base de la Caliza de Vegadeo son los primeros fósiles de este tipo hallados en España. Se caracterizan por conservar bien su geometría asimétrica y su relieve. Estas características texturales son difíciles de explicar, si se tiene en cuenta que fueron encontrados en calizas muy deformadas. El análisis textural ha permitido concluir que los fósiles se han conservado indeformados porque las condiciones de deformación fueron frágil/dúctiles, lo que aumentó el contraste de competencias entre los fósiles de composición silíceo y la matriz carbonatada. El sistema fósil/matriz presenta un comportamiento reológico modelizado como de sólido rígido incluido en matriz plástica.

Palabras clave: Proarticulados, Cámbrico, Calizas de Vegadeo, contraste reológico, deformación frágil/dúctil.

Abstract: Proarticulates have been found for the first time in Spain at the lower boundary of the Vegadeo Limestone. They show good preservation of geometry and volume. These characteristics are difficult to explain because the Proarticulates are contained within high strained limestone. Textural analysis reveal that the key to the undeformed fossil preservation are the brittle-ductile strain conditions, which increased the rheological contrast between the quartz and calcite. Hence the fossils, having been replaced by quartz while the matrix is calcitic. The system matrix/fossil presents a characteristic rheological behaviour model of a rigid solid into the plastic matrix.

Key words: Proarticulates, Cambrian, Vegadeo Limestone, rheological contrast, Villavieja fault, brittle/ductile strain.

Los fósiles encontrados en la base de la Caliza de Vegadeo (Barrois, 1877) del Dominio de Truchas (Marcos, 1973; Pérez Estaún, 1978), en la rama S de la Zona Asturoccidental-leonesa (ZA-OL) del NW del Varisco Ibérico (Fig. 1), pertenecen al filo Proarticulata y representan los primeros ejemplares encontrados en España, siendo los más jóvenes hasta la fecha incluidos en la familia Vendomiidae al tener una edad Cámbrico Inferior.

Además de la importancia paleontológica de este hallazgo, este trabajo se centra en el análisis de una característica estructural inusual, como la preservación de los fósiles aparentemente indeformados en calizas muy deformadas.

El análisis textural de las Calizas de Vegadeo próximas al afloramiento fosilífero ha permitido definir las condiciones de deformación interna, cuantificarla y construir un modelo de contraste reológico matriz/fósil que, argumentado con los datos ob-

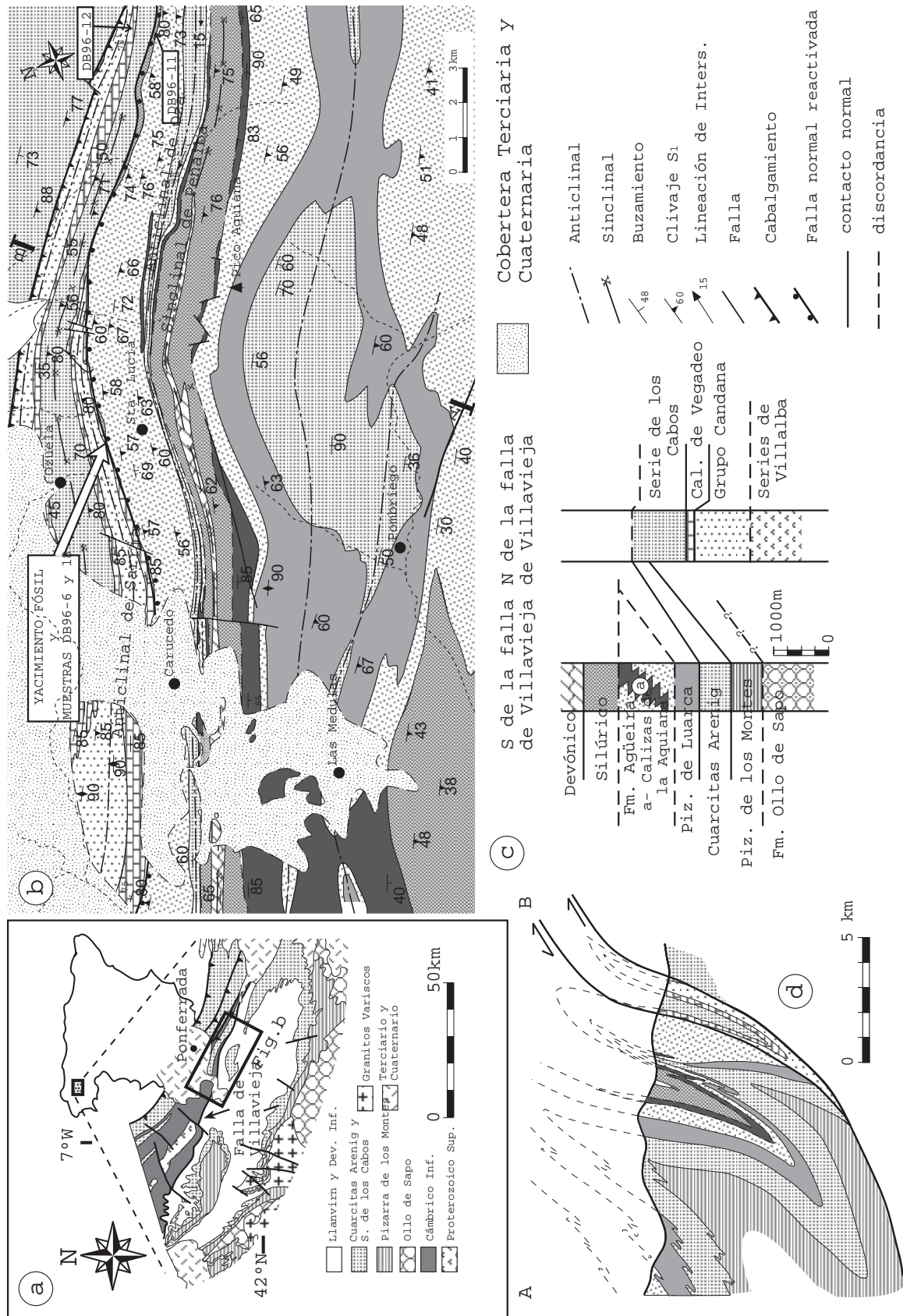


Figura 1: (a) Esquema de situación. (b) Mapa Geológico. (c) sucesión estratigráfica a uno y otro lado de la falla de Villavieja (d) corte geológico ha sido realizado por D. Arias, modificando la cartografía previa de A. Pérez Estián (1978).

tenidos del análisis textural, explique este comportamiento estructural anómalo.

En espera de nuevos hallazgos para llevar a cabo un estudio paleontológico más detallado, el presente trabajo también incluye una breve discusión sobre la posición sistemática y la descripción paleontológica preliminar.

Situación geológica

La rama sur de la Zona Asturoccidental-leonesa presenta una potente serie de materiales del Paleozoico Inferior formados por depósitos principalmente detríticos (Pérez Estaún, 1978). Intercalados entre estos materiales pelítico-arenosos alternan algunos niveles carbonatados, el más potente de los cuales es la Formación Calizas de Vegadeo cuya edad corresponde en su mayoría al Cámbrico Inferior (Zamarreño *et al.*, 1975, Zamarreño y Perejón 1976), aunque en su parte más alta aparecen niveles propios de la parte más baja del Cámbrico Medio.

El afloramiento fosilífero se localiza en la pista que sube desde el pueblo de Ozuela, situado en la falda de los Montes Aquianos a aproximadamente 14 km hacia el SW de Ponferrada, hasta el pueblo de Santa Lucía. A lo largo de esta pista de trazado N-S, orientada perpendicularmente al trazado de las estructuras, es posible reconocer la geometría completa del flanco sur del anticlinal de Sarria, en cuyo núcleo aflora la Caliza de Vegadeo (Fig. 1b). El flanco N de dicho anticlinal se encuentra cortado por el cabalgamiento de Valdueza (Pérez Estaún, 1978) mientras que el flanco S, afectado por pliegues menores, se encuentra cortado por la falla de Villavieja. Tanto el pliegue como el cabalgamiento siguen un trazado subparalelo al arco Astúrico y sus características cinemáticas indican un desplazamiento de techo hacia el NNE, en relación con el desplazamiento sufrido durante D_2 , por lo que el anticlinal de Sarria se interpreta como una estructura D_1 varisca.

Estructuralmente la Zona Asturoccidental-leonesa fué afectada por la superposición de tres fases mayores de deformación varisca. La primera fase de deformación, D_1 , se caracteriza por el desarrollo de grandes pliegues recumbentes vergentes hacia la zona externa y presentan un clivaje primario, S_1

(Matte, 1968; Marcos, 1973; Martínez Catalán *et al.*, 1990; Pérez Estaún *et al.*, 1991). La segunda fase de deformación, D_2 , está caracterizada por el desarrollo de cabalgamientos y zonas de cizalla subhorizontales, con estructuras menores asociadas, (Marcos, 1973; Bastida *et al.*, 1986). La tercera fase de deformación, D_3 , produjo grandes pliegues abiertos, aproximadamente homoaxiales con los pliegues D_1 y con desarrollo de un clivaje de crenulación asociado (Matte, 1968; Pulgar, 1981; Martínez Catalán *et al.*, 1990).

El flanco S del anticlinal de Sarria (Fig. 1) presenta una sucesión de dos pliegues menores, de los que el situado más al N es un sinclinal en cuyo núcleo aflora la Serie de los Cabos. Hacia el S, la estructura se continúa con un anticlinal en cuyo núcleo aflora el Grupo de Cándana. Entre ambas unidades estratigráficas se sitúa la Caliza de Vegadeo, que aflora sin sobrepasar nunca los 150 m de potencia (Fig. 1b), lo que representa la mitad del espesor que presenta esta formación en los afloramientos del valle del río Sil. En el borde S del anticlinal de Sarria, la Caliza de Vegadeo comienza con unas calizas con laminación de origen algal característica, que a menudo se presenta parcialmente dolomitizada, por encima de la cual se sitúa el nivel fosilífero.

De acuerdo con Zamarreño *et al.* (1975) y Zamarreño y Perejón (1976) en esta formación se distinguen tres partes. El miembro inferior consiste en una alternancia de pizarras, areniscas y calizas que constituyen las "Übergangshichten" de Lotze (1961), o las "Magdalena Schichten" de Farber y Jaritz (1964) y que algunos autores, como Crimes *et al.* (1977), incluyen en la parte superior del grupo de Cándana. Estos niveles inferiores han proporcionado faunas de Trilobites y Archeociatos y se pueden comparar con las "Capas de Barrios" de la Zona Cantábrica, ya que además de la fauna fósil que contienen son también equivalentes en su composición litológica y espesores. El miembro medio está constituido por calizas y dolomías masivas, mientras que el miembro superior consiste en un nivel de pizarras y margas verdes que en algunas localidades presenta gran cantidad de fósiles, principalmente Trilobites, propios del Cámbrico Medio; Walter (1963) incluye estas capas en la base de la Serie de los Cabos.

Respecto a la fauna encontrada en la parte inferior de la Caliza de Vegadeo, tienen gran interés los Trilobites y Archeociatos hallados en las localidades de La Concha de Artedo y La Hermida, situados en la rama N de la Zona Asturoccidental-leonesa. Estos hallazgos indican, por comparación con las faunas de Trilobites encontradas en las "Capas de Barrios" de la Zona Cantábrica y en las "Capas de Embid" de la Cordillera Ibérica, una edad baja dentro del Cámbrico Inferior. Esta edad no coincide de forma precisa con la suministrada por los Archeociatos que indican una edad correspondiente a la parte media del Cámbrico Inferior alto. El miembro superior de la Caliza de Vegadeo, por su similitud con el miembro superior de la Fm. Láncara, se considera por todos los autores de una edad Cámbrico Medio.

Descripción de los fósiles

El material del que se dispone consiste en dos ejemplares que posiblemente correspondan, al menos uno de ellos, a formas larvarias de metazoos primitivos segmentados.

Características morfológicas

Sus dimensiones son reducidas; el ejemplar de mayor tamaño mide cerca de 5 mm de largo, 2 mm de ancho y 1 mm de alto, y el pequeño 3,5 mm, 1,7 mm, y 0,75 mm respectivamente.

Los dos ejemplares presentan el cuerpo dividido en tres partes diferentes (Fig. 2a y 2b). Se distinguen una parte anterior y otra posterior de morfología y características similares y, entre estas dos, una parte intermedia constituida por un número variable de pares de semisegmentos dispuestos de forma alternante. Esto supone que en la parte axial, cada semisegmento encaja en cuña entre dos del lado opuesto, dando como resultado una línea media de unión de semisegmentos en zig-zag. El número de elementos de la parte media es distinto en los dos ejemplares, siendo de tres pares de semisegmentos en el menor de ellos (Fig. 2b) y de cinco en el de mayores dimensiones (Fig. 2a).

Los escudos anterior y posterior presentan una morfología y dimensiones aparentemente simila-

res, aunque observados detenidamente poseen características diferenciales bien marcadas. El escudo anterior muestra una morfología trilobulada, con un lóbulo medio petaliforme y grande. Los laterales parecen corresponder a los dos primeros semisegmentos unidos con el elemento anterior. El conjunto presenta una estructura cefálica trilobulada. En el ejemplar de mayor tamaño se observa en su parte izquierda una débil marca de sutura que pasa por un punto fracturado y que se puede interpretar como un esbozo de estructura ocular. Por detrás del cefalón existe una línea de articulación con los primeros semisegmentos intermedios.

Por lo que se refiere a la parte posterior, se diferencia una parte media de mayores dimensiones. Además, se observa una clara disimetría de las partes abaxiales que está relacionada con la aparición de los sucesivos segmentos que se incorporan al tórax; la zona anterolateral muestra unas dimensiones mayores. Hay que destacar que no se encuentra nada similar en ninguna de las formas incluidas dentro de la familia Vendomiidae, siendo la primera vez que dentro de los Bilateria aparece una estructura comparable con el pigidio de los Trilobites. En cuanto a la ornamentación, debe destacarse que la superficie del cuerpo es lisa y que no se ha encontrado ningún tipo de rugosidad o granulación aparente.

Posición sistemática

El óptimo estado de conservación de los fósiles ha permitido clasificarlos como Proarticulados. Las clasificaciones tradicionales como la de Glaessner (1979), incluyen el conjunto de formas del Vendense y del Cámbrico Inferior dentro de los filos Celenterata, Anélida, Artrópoda, Pogonófora y formas de posición incierta. De acuerdo con esta clasificación sistemática clásica de las faunas del Vendense, nuestros ejemplares deben incluirse dentro del filo Artrópoda, y por sus caracteres recuerdan a algunas de las formas pertenecientes a la Clase y Orden inciertos que comprende únicamente a la familia Vendomiidae KELLER.

Debido a la complejidad que supone la posición sistemática de algunos de los invertebrados propios del Precámbrico Superior y Cámbrico Inferior, nos parece más adecuado el seguir la clasifi-

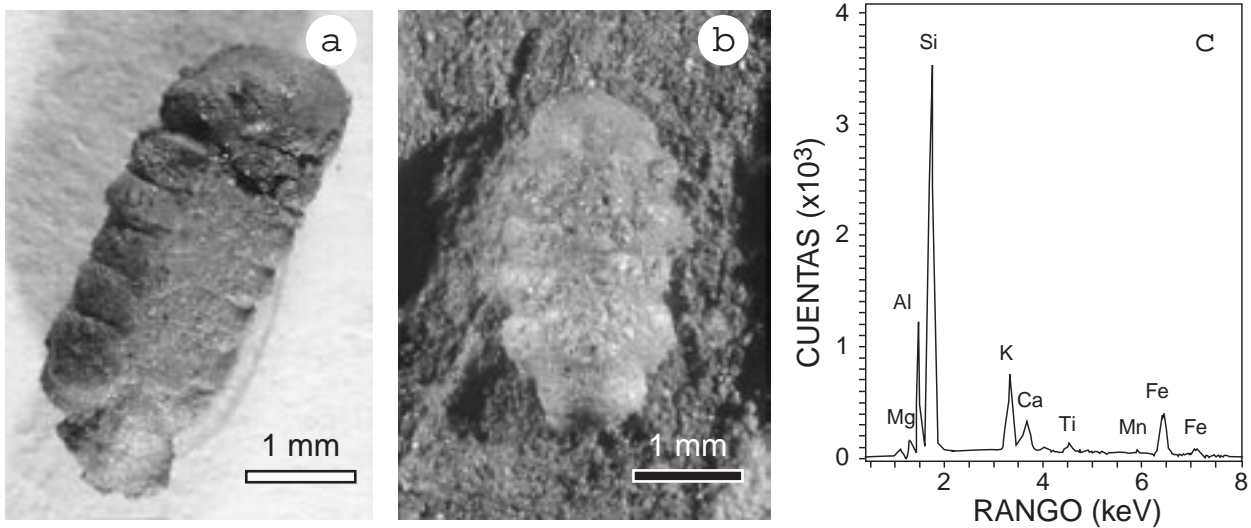


Figura 2: (a) y (b) ejemplares de proarticulados en la Caliza de Vegadeo, entre Ozuela y Santa Lucía, al SW de Ponferrada (León). (c) Diagrama de rayos X obtenido a partir de los ejemplares anteriores utilizando un analizador LINK, que indica su composición esencialmente silíceo.

cación de Fedonkin (1990), en donde distingue dos grandes grupos dentro de los metazoos más antiguos. Estos dos grupos son los Radiata y Bilateria, y cuyo nombre hace referencia al tipo de simetría de cada uno de ellos. De acuerdo con los caracteres morfológicos y tipo de simetría que muestran nuestros ejemplares, los incluimos dentro del grupo Bilateria. Este grupo reúne un conjunto de formas primitivas propias del Precámbrico Superior. Fedonkin (1990), destaca que algunas formas segmentadas tienen una estructura poco corriente, ya que la parte segmentada del cuerpo está constituida por semisegmentos situados a derecha e izquierda de manera alternante. Además indica que esta simetría bilateral axialmente asimétrica, no es propia de los Bilateria más modernos. Estos caracteres los encontramos tanto en formas polímeras como oligómeras, éstas últimas con un escaso número de partes anatómicas similares, propias de la familia Vendomiidae.

Según todas estas consideraciones y a la espera de nuevos estudios, nuestros ejemplares se pueden incluir provisionalmente dentro de la familia Vendomiidae que, de acuerdo con Fedonkin (1990), pertenece con toda probabilidad al filo Proarticulata. En este caso, nuestros ejemplares serían los más jóvenes con estas características y la distribución de la familia Vendomiidae se extendería hasta el Cámbrico Inferior.

Composición y dimensiones

La escasez de ejemplares condicionó la analítica exclusivamente a métodos no destructivos, por lo que se realizó un análisis de composición semicuantitativa en los proarticulados, mediante un detector de Silicio Pentafet de LINK modelo 6150 instalado en un SEM JEOL, con resolución de 137 eV a la energía de 5,9 keV, utilizando un voltaje de aceleración de 20 keV, intensidad de corriente de 1 nA y una distancia de trabajo de 35 mm.

El resultado de este análisis (Fig. 2c) muestra una composición predominantemente silíceo, en la que se identifican de forma residual los picos de Al, Ca, Mg y Fe que probablemente corresponden a algún filosilicato generado por alteración hidrotermal tardía. También se detecta la presencia de Ti y Mn.

Respecto a su geometría destacan, como ya se ha indicado, el aspecto en apariencia indeformado y su volumen.

Descripción de las características microestructurales de las calizas

Las muestras seleccionadas de la Caliza de Vegadeo (DB96-6, 11, 12 y 18) se sitúan en las inmediaciones de la Falla de Villavieja (Fig. 3), y en los mismos niveles en los que se encontraron los fósiles. El análisis textural se ha hecho sobre láminas

delgadas cortadas paralelas a la lineación de estiramiento y perpendicular a las superficies de foliación (secciones xz). Estas secciones presentan una fábrica milonítica de tipo $L-S$ (plano-linear), interpretada como consecuencia de la deformación D_1 y D_2 . Aunque las calizas están intensamente deformadas no pueden considerarse milonitas puesto que éstas se definen como rocas que presentan una intensa fábrica tectónica constituida por cristales recrystalizados en una proporción del 50 al 90 % (Sibson, 1977), y en este trabajo, a pesar de que las rocas calcáreas presentan una intensa fábrica plano-linear constituida por cristales deformados plásticamente, no se han nucleado nuevos cristales a partir de los cristales originales deformados, es decir hay deformación plástica pero no recrystalización dinámica.

Análisis de texturas

El análisis textural se ha abordado tanto desde un punto de vista geométrico como dinámico.

El análisis geométrico se realizó mediante el cálculo de tamaños de grano, composición modal y deformación finita en 2D. El análisis dinámico se hizo mediante el uso de la platina universal con la estimación de las orientaciones cristalográficas preferentes (OCPs) de los ejes c y planos de macla de las calcitas.

Análisis geométrico. Las texturas fueron analizadas a partir de la digitalización de los bordes de los cristales y la identificación mineralógica de cada uno de los polígonos definidos. La manipulación de los mapas texturales a través de un Sistema de Información Geográfica (SIG) sirvió para obtener de forma automática la composición modal, tanto en % de frecuencia como en % areal, el tamaño de los cristales en área y perímetro, así como el centroide del polígono definido. Además, el GIS que es una herramienta informática ideada para gestión cartográfica, se completó mediante la programación en aml (arcinfo macro language) de los métodos de análisis de la deformación de Fry (1979) normalizado (Erslev and Ge, 1990) y un nuevo método basado en los segmentos yuxtapuestos y que se ha denominado “método de las aspas”, lo que permitió cuantificar la deformación interna y comparar los resultados obtenidos por ambos métodos. Así, en

ausencia de recrystalización dinámica y asumiendo que la deformación fué plana, según el método de Fry (1979), la distribución areal de los centros de los cristales deformados es cuantitativamente proporcional a la relación entre ejes de la elipse de la deformación (parámetro R). El método de las aspas calcula R a partir de la estimación de las longitudes medias de los cristales que definen la fábricas, a lo largo de secciones rectas. Dichas secciones se rotan a intervalos de 2° desde el centro de la sección analizada, por lo que ese ángulo determina la precisión de la elipse calculada. Así, los bordes de los segmentos calculados definen una elipse o un círculo, según que la textura analizada esté deformada o no respectivamente. Aunque en ambos métodos la elipse de la deformación se ha ajustado por el método de los mínimos cuadrados (Erslev and Ge, 1990). El método de las aspas utiliza también los valores máximos y mínimos de los ejes obtenidos cada 2° de rotación, puesto que en este caso el ajuste se hace mediante el cálculo de longitudes medias para cada orientación y el método de los mínimos cuadrados supone un segundo ajuste para aproximar los valores de los nodos, obtenidos para cada segmento y orientación, a una elipse. Por lo que de los dos ajustes se coge el valor que da una relación más aproximada a la obtenida por el método de Fry.

Las texturas analizadas no muestran diferencias significativas entre ellas. Se trata de calizas marmóreas, de tamaño de grano grueso, que varía entre 2179 y 22088 μm^2 y cuya composición modal media varía entre 80-99 % calcita, 1-18 % cuarzo y 2 % filosilicatos (Fig. 3b), el carácter planar de los filosilicatos hace que la estimación areal según secciones xz represente siempre un valor mínimo para las micas. Microestructuralmente, los cristales de calcita muestran una gran elongación como consecuencia de la deformación plástica intracristalina (Fig. 4), aunque no se observó la presencia de nuevos cristales como consecuencia de recrystalización dinámica. La estimación de la deformación para estas calizas muestra valores medios de $R=2,32\pm 0,31$ y un q' medio = 4° , entendiendo por q' el ángulo que forma la línea definida por el plano de foliación en una sección xz y el eje mayor de la elipse de la deformación calculada para esa sección. El valor R es ligeramente menor por el método de Fry, $R=2,16\pm 0,56$, que por el método de las

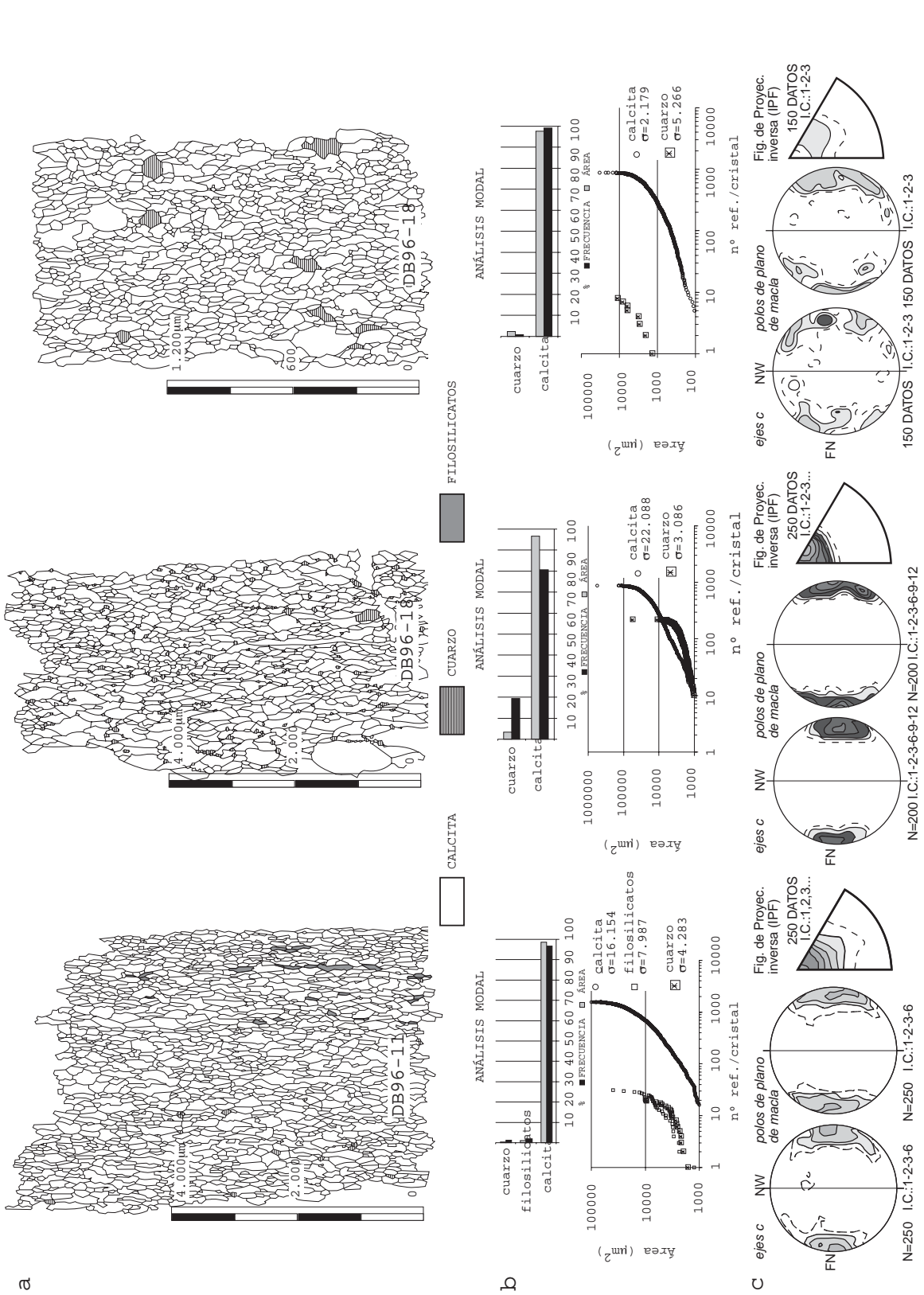


Figura 3: Características texturales de las Calizas de Vegadeo. (a) imagen digitalizada mostrando las diferentes fases minerales diferenciadas y la geometría de los cristales. (b) Histogramas mostrando la distribución de frecuencias y áreas en secciones cortadas paralelas a la dirección de elongación y perpendiculares a la superficie de foliación. (c) Orientación cristalográfica preferente de ejes *c* y planos de macla, representados en proyección estereográfica convencional y de polos inversa.

aspas, $R=2,49\pm 0,18$, debido a un valor anómalamente bajo obtenido en la muestra DB96-18, que interpretamos debido a que el tamaño de calcitas de esta muestra (Fig. 3b) es 10 veces inferior a las otras muestras. En este sentido interpretamos que el método de las aspas aporta valores más homogéneos que el método de Fry. La característica reológica más destacable de las Calizas de Vegadeo en la localidad estudiada es que la morfología alargada de los cristales de calcita y filosilicatos, contrasta fuertemente con el aspecto indeformado de los cristales de cuarzo, cuya elongación de $R=1,2$ es mínima (Fig. 4b).

Análisis dinámico. Las calizas deformadas de las muestras recogidas de la Caliza de Vegadeo, presentan una fuerte orientación óptica de los ejes c y los planos de macla, lo que indica que la DPI es el mecanismo dominante en la formación de estas fábricas (Fig. 3c). La asimetría de las fábricas, más claramente visible en los estereogramas de los polos de planos de macla, muestra una rotación con desplazamiento del bloque de techo hacia el NNE y sugiere una relación genética de las fábricas con las fases D_1 y D_2 variscas. En la proximidad de la falla de Villavieja estas fábricas se intensifican por lo que se interpretan como $D_1 + D_2$. Las figuras de polos inversas permiten identificar los planos e y r como planos de deslizamiento dominantes que junto con los estereogramas de ejes c con un único máximo, indican que estas fábricas fueron desarrolladas en condiciones de baja temperatura (Wenk *et al.*, 1973; Spier, 1979; Schmid *et al.*, 1987).

La deformación de los fósiles y su matriz: modelo de contraste reológico y discusión

El contraste reológico entre dos materiales implica un comportamiento mecánico diferente de ambos al ser afectados por un mismo proceso. Cuando este contraste se produce en un material formado por alternancia de láminas competentes e incompetentes, las capas más competentes desarrollan boudinage y/o fracturan mientras que las incompetentes se acomodan a la deformación de las anteriores de forma dúctil (Donath and Parker, 1964; Ramsay, 1967). Sin embargo, cuando la heterogeneidad reológica está definida por la presencia de cuerpos aislados competentes rodeados por una matriz incom-

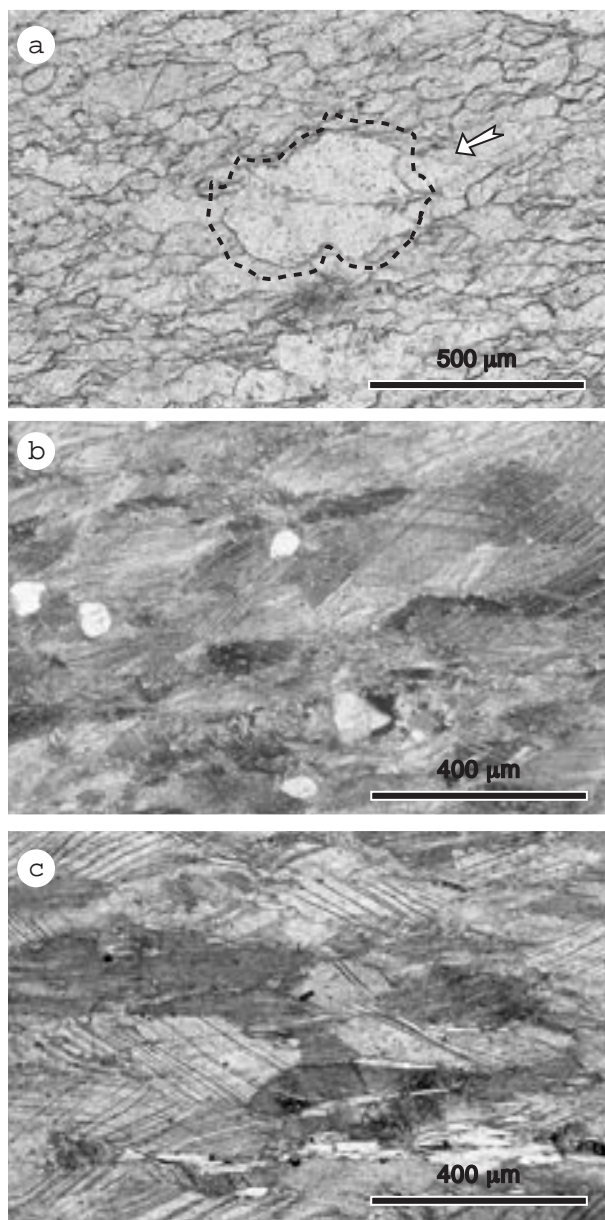


Figura 4: microfotografías mostrando la textura de la Caliza de Vegadeo. En (a) y (b) se observa la escasa deformación de los granos de cuarzo frente a los de calcita y el hábito nematoblástico de los filossilicatos en (c). En algunos casos (a), los granos silíceos poseen formas que sugieren que se trata de fósiles. (a, b, c) muestras DB96-6, DB96-18 y DB96-12.

petente, la deformación tiende a acomodarse principalmente en la matriz mientras que los cuerpos tienden a comportarse como sólidos rígidos (Ghosh and Ramberg, 1976; Paschier, 1987). Las Calizas de Vegadeo son comparables a este segundo tipo de material, en las que los fósiles silicificados pueden actuar como cuerpos sólidos rígidos frente a la deformación plástica de la matriz carbonatada.

Por otra parte, el contraste reológico también se puede producir por diferencias texturales, principalmente por diferencias en el tamaño de grano; así, en rocas con igual composición, las de grano grueso son más resistentes a la deformación que las de grano más fino (Rutter, 1974; Rutter, 1984; Tullis and Yund, 1985). En las Calizas de Vegadeo, los fósiles presentan tamaños ligeramente superiores a los tamaños de los cristales medios de calcita en la matriz carbonatada y cuando aparecen cristales de cuarzo detríticos distribuidos por la matriz carbonatada, a pesar del menor tamaño de los cuarzos respecto a los cristales de calcita, aquellos se comportan prácticamente como cuerpos sólidos rígidos frente a la deformación dúctil de la matriz. Así, el contraste reológico por diferencias de tamaño de grano en las Calizas de Vegadeo no parece efectivo puesto que su efecto sería contrario al predecible, es decir, mayor deformación en los cristales de mayor tamaño. En nuestra opinión esto es debido a que a bajas temperaturas prevalece el criterio de la composición diferente entre matriz y cuerpo sólido, frente al de diferencias en el tamaño de grano en el desarrollo de texturas que muestren contraste de competencia.

De forma complementaria fué realizado un análisis textural comparando las Calizas de Vegadeo y otras litologías predominantemente silíceas e igualmente próximas a la Falla de Villavieja en el que se comprueba que la deformación plástica intracrystalina no fué un mecanismo dominante en las cuarcitas y conglomerados silíceos analizados, en los cuales dominó la disolución por presión como mecanismo de deformación en unas condiciones propias de la transición frágil-dúctil.

A la luz de los resultados obtenidos se ha podido construir un modelo reológico para la deformación de las Calizas de Vegadeo en las inmediaciones de la falla de Villavieja que se caracteriza por un dominio de la deformación plástica intracrystalina para las calizas, con un contraste de competencia que queda reflejado por una relación media de $R_{calcita}/R_{cuarzo} = 2,32 \pm 0,31 / 1,2$, en donde los cristales de cuarzo se comportan en la matriz calcárea como cuerpos sólidos rígidos. La abundancia de estructuras frágil/dúctiles a escala microscópica y de afloramiento sugiere que estas condiciones son consecuencia de una alta presión de fluidos en la

proximidad a la falla de Villavieja. Este hecho produjo la disminución efectiva de la presión litostática en la zona y por lo tanto desplazó el comportamiento reológico de los materiales desde condiciones dúctiles, hacia condiciones en la transición frágil/dúctil. En estas condiciones, las Calizas de Vegadeo muestran un claro contraste de competencias, sin que en apariencia haya influido las diferencias en el tamaño de grano, por lo que la única explicación posible para la conservación de los Proarticulados es que el proceso de silicificación sea previo a la deformación varisca.

Conclusiones

Los fósiles localizados en el nivel inferior de las Calizas de Vegadeo presentan gran similitud morfológica con ejemplares de la familia Vendomiidae y con toda probabilidad pertenecen al filo Proarticulata. La presencia de rasgos morfológicos similares a los pigidios de los Trilobites, sugiere que los Proarticulados encontrados son los más evolucionados de los Bilateria encontrados hasta la fecha y, por lo tanto, están de acuerdo con su edad Cámbrico Inferior.

La deformación interna de los materiales donde se localizaron los fósiles es fuertemente heterogénea, con un contraste de competencia entre los fósiles y la matriz que queda reflejado por una relación media de $R_{calcita}/R_{cuarzo} = 2,32 \pm 0,31 / 1,2$. Los mecanismos de deformación dominantes en las calizas fué la deformación plástica intracrystalina, mientras que en los materiales silíceos fué la disolución por presión. El contraste reológico fósiles/matriz carbonatada fué debido a la silicificación de los Proarticulados previa a la deformación. La elevada presión de fluidos que debió existir en las inmediaciones de la falla de Villavieja sugiere una disminución de la presión litostática efectiva y un mantenimiento de las temperaturas que se alcanzaron durante el pico metamórfico en la facies de los esquistos verdes, lo que probablemente incrementó el contraste reológico entre cuarzo y calcita.

Agradecimientos

Los autores de este trabajo quieren expresar su agradecimiento a los Dr. A. Marcos y F. Bastida por ayudar a mejorar en contenido y forma este trabajo que ha sido financiado con los proyectos DGICYT PB95-1052 y PB94-1330.

Referencias

- Barrois, Ch. (1877): Relación de un viaje geológico por España: leída en la Sociedad geológica del Norte. *Bol. Com. Map. Geol. España*. IV: 373-382.
- Bastida, F., Martínez Catalán, J. R. and Pulgar, J. A. (1986): Structural, metamorphic and magmatic history of the Mondoñedo nappe (Hercynian belt, NW Spain). *J. Struct. Geol.* **8**, 415-430.
- Crimes, T. P., Legg, I., Marcos, A., and Arbolaya, M. L. (1977): ¿ Late Precambrian-Low lower Cambrian trace fossils from Spain. In: *Trace fossils 2* (T. P. Crimes and J.C. Harper Edit.). *Geol. Journ. Special Issue*, **9**: 91-138.
- Donath, F. A. and Parker, R. B. (1964): Folds and Folding. *Gelo. Soc. of Am. Bull.*, **75**: 45-62.
- Erlev, E. A. and Ge, H. (1990): Least squares center-to-center and mean object ellipse fabric analysis. *J. Struct. Geol.*, **12**: 1047-1059.
- Farber, A. and Jaritz, W. (1964): Die Geologie des westasturischen Küstengebietes zwischen San Esteban de Pravia und Ribadeo (NW-Spanien). *Geol. Jb.*, **81**: 679-783.
- Fedonkin, M. A. (1990): Precambrian Metazoans. In: *Palaobiology a synthesis*. Edit. D. E.G. Briggs and P.R. Crowther. Blackwell scientific Publications, 17-24.
- Fry, N. (1979): Random point distributions and strain measurement in rocks. *Tectonophysics*, **60**, 806-807.
- Ghosh, S. K. and Ramberg, H. (1976): Reorientation of inclusion by combination of pure shear and simple shear. *Tectonophysics*, **34**: 1-70.
- Glaessner, M. H. (1979): Biogeography and Biostratigraphy: Precambrian. *Treatise on Invert. Pal.*, (A) Introduction, 79-118.
- Lotze, F. (1961): Das Kambrium Spaniens. Teil I: Stratigraphie. *Akad. Wiss. Lit. Abh. Math. Naturw. K1.*, **6**: 1-216.
- Marcos, A. (1973): Las series del Paleozoico Inferior y la estructura herciniana del occidente de Asturias (NW de España). *Trabajos de Geología*, **6**: 1-107.
- Martínez Catalán, J. R., Pérez Estaún, A., Bastida, F., Pulgar, J. A. and Marcos, A. (1990): West Asturian-Leonese zone: structure. In: *Pre-Mesozoic geology on the Iberia* (edited by Dallmeyer, R. and Martínez García, E.). Springer, Berlín, 103-114.
- Matte, Ph. (1968): La structure de la virgation hercynienne de Galice (Espagne). *Geol. Alpine*, **44**: 1-128.
- Passchier, C. W. (1987): Stable positions of rigid objects in non-coaxial flow: an study in vorticity analysis. *J. Struct. Geol.*, **9**: 679-690.
- Pérez Estaún, A. (1978): *Estratigrafía y estructura de la rama S de la zona Asturoccidental Leonesa*. Memoria del Instituto Geológico y Minero de España. **92**, 149 p.
- Pérez Estaún, A., Martínez Catalán, J. R. and Bastida, F. (1991): Crustal thickening and deformation sequence in the footwall to the suture of the Variscan belt of northwest Spain. *Tectonophysics* **191**, 243-253.
- Pulgar, J. (1981): La disolución por presión y el desarrollo del bandeo tectónico meso y microscópico en rocas metapelíticas de bajo grado del NW de España. *Trabajos de Geología*. Univ. de Oviedo, **11**, 147-190.
- Ramsay, J. (1967): *Folding and fracturing of rocks*. McGraw-Hill Book Co., New York. 568 p.
- Rutter, E. H. (1974): The influence of temperature, strain rate and interstitial water in the experimental deformation of calcite rocks. *Tectonophysics*, **22**: 311-334.
- Rutter, E. H. (1984): The kinetics of grain coarsening in calcite rocks. *Prog. Exp. Petrol.*, **D25**: 245-249.
- Schmid, S. M., Panozzo, R. and Bauer, S. (1987): Simple shear experiments on calcite rocks: reology and microfabrics. *J. Struct. Geol.*, **9**, 747-778.
- Sibson, R. H. (1977): Fault rocks and fault mechanisms. *J. Geol. Soc. London*, **133**: 191-213.
- Spiers, C. J. (1979): Fabrics development in polycrystals deformed at 400° C. *Bull. Mineral.*, **102**, 282-289.
- Tullis, J. and Yund, R. A. (1985): Dynamics recrystallization of feldspar: a mechanism for ductile shear zone formation. *Geology*, **13**: 238-241.
- Walter, R. (1963): Beitrag zur stratigraphie des Kambriums in Galicien (Nordwest-Spanien). *Neues Jb. Geol. Paläont. Abh.*, **117**: 360-371.
- Wenk, H., Venkitesubramanian, C. W., Baker, D. W. and Turner, F. J. (1973): Preferred orientation in experimentally deformed limestone. *Contr. Mineral. Petrol.* **38**, 81-114.
- Zamarreño, I., Hermosa, J. L., Bellamy, J. y Rabu, D. (1975): Litofacies del nivel carbonatado del Cámbrico de la región de Ponferrada (Zona Asturoccidental-Leonesa, NW de España). *Breviora Geol. Astúrica*, **19(3)**: 40-48.
- Zamarreño, I. y Perejón, A. (1976): El nivel carbonatado del Cámbrico de Piedrafita (Zona Asturoccidental-Leonesa, NW de España): tipos de facies y faunas de Arqueociatos. *Breviora Geol. Astúrica*, **20(2)**: 17-32.