

## GENESIS DE NODULOS DE CUARZO EN EL PALEOZOICO DE LA IBERICA (RAMA ARAGONESA)

A. Navas y J. Tena (\*)

### RESUMEN

En formaciones samíticas y pelíticas del Paleozoico inferior de la Rama Aragonesa de la Cordillera Ibérica se generan nódulos de sílice que son apreciables a escala microscópica y mesoscópica. Con formas subesféricas y/o elipsoidales, tienen origen diagenético y están constituidos por asociaciones en mosaico de cristales de cuarzo de muy distinto tamaño y hábito cristalino. Se ha observado una relación bastante estrecha entre características tectónicas y alineaciones y orientación de los nódulos, y se han comprobado distintas etapas en su desarrollo, desde la formación de un mosaico microcristalino hasta la inferida reorientación y anastomosamiento de cristales preformados que dan lugar a un monocristal.

**Palabras clave:** *Ibérica. Paleozoico. Nódulos. Diagénesis. Sílice.*

### ABSTRACT

A particular feature in the paleozoic materials from Iberian Mountains (Spain) is the presence of diagenetic silica-nodules. The nodules, from microscopic to mesoscopic size and almost always constituted by a mosaic association of neofomed quartz-crystals, appear to have been originated in relation with tectonic processes. Three steps are differentiated, from early one, defined by a microcrystalline structure, to the nowadays one, formed occasionally by quartz monocrystals.

**Key words:** *Iberian Mountains. Paleozoic. Nodules. Diagenesis. Silica.*

### Introducción

La zona estudiada se encuentra situada al Suroeste de la provincia de Zaragoza, en la mitad occidental del cuadrante III de la hoja n.º 410 (La Almunia de Doña Godina) del M.T.N. E:1:50.000. Desde el punto de vista geológico, se emplaza en el borde Nororiental de la Rama Aragonesa de la Cordillera Ibérica, en lo que constituye el núcleo hercínico principal (Fig. 1).

En la zona se encuentran fundamentalmente materiales anteriores al Devónico, con una escasa representación del Mesozoico, y presentan la siguiente distribución areal: el Precámbrico aflora en las proximidades de Aluenda. El Cámbrico inferior y medio (Unidad de Badules de Lotze, 1929) ocupa la mayor parte de la superficie, situándose en el

sector Suroccidental. El Cámbrico superior, Ordovícico y Silúrico de la Unidad de Herrera (Lotze, 1929) se localizan en el sector Nororiental. El Triásico está representado por dos afloramientos de pequeña extensión, uno al Noroeste del Frasnó, y otro al Noreste, en río Grío, además, existe un pequeño pinzamiento en las proximidades de Santa Cruz de Grío, en el barranco de Valdeperales.

Las estructuras tectónicas de la región vienen determinadas, fundamentalmente, por la superposición de las orogénias Hercínica, que afectó a los materiales del zócalo, y Alpina, que implicó al zócalo y a la cobertera, reactivando las trazas de la anterior y proporcionando los rasgos característicos de la Cordillera, con marcada orientación NO-SE y NNO-SSE como direcciones fundamentales (Lotze, 1955).

(\*) Dpto. de Química Aplicada. Sección de C. del Medio Ambiente. Facultad de Química. Apdo. 1072. San Sebastián.

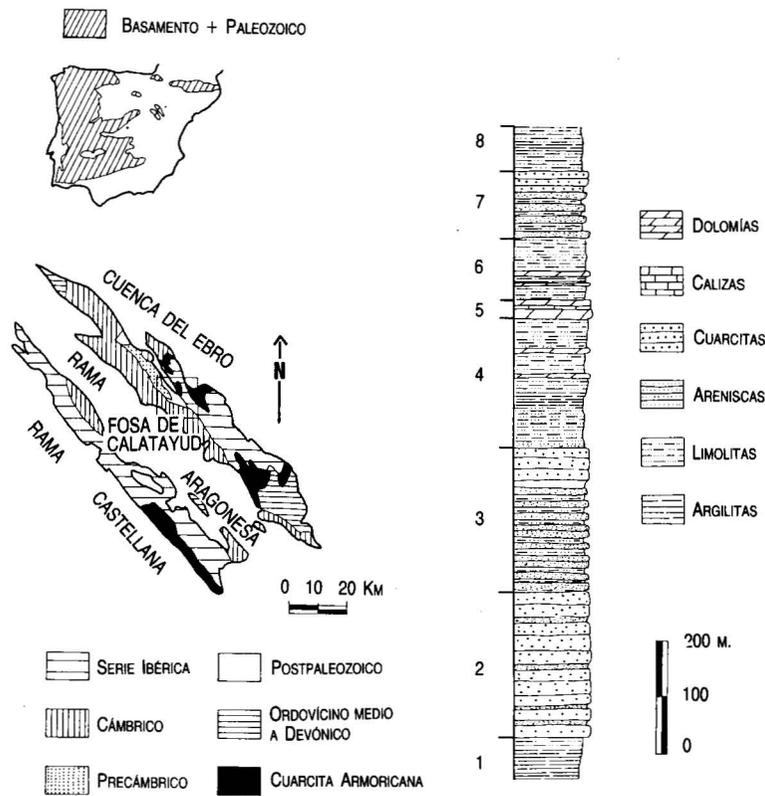


Fig. 1.—Situación y marco geológico del área estudiada. Columna litoestratigráfica síntesis de los materiales aflorantes: 1) Fm. Pizarras de Paracuellos (Precámbrico); 2) Fm. Cuarcita de Bámbola; 3) Fm. Capas de Embid; 4) Fm. Abigarrada del Jalón; 5) Fm. Dolomía de Ribota; 6) Fm. Pizarras de Huérmeda; 7) Fm. Arenisca de Daroca (Cámbrico inferior); 8) Fm. Pizarras de Murero (Cámbrico medio-superior). Denominación de Formaciones según Lotze (1929).

### Caracteres litológicos y grado evolutivo

Las litologías existentes en la región se han sistematizado en tres grandes grupos petrológicos: samitas y pelitas para las rocas detríticas, y rocas carbonáticas. Dentro de las samitas se han diferenciado, en función de características de composición mineralógica, los siguientes tipos petrográficos: cuarcitas, areniscas y grauwacas. En lo que respecta a las pelitas y en base a criterios de tamaño de grano, se han diferenciado dos tipos: limolitas y argilitas. Finalmente, dentro de las rocas carbonáticas se han diferenciado calizas y dolomías, con términos intermedios que corresponden a dolomías calcáreas.

No se han identificado minerales metamórficos, ni siquiera los de más bajo grado, y la interpretación de datos de cristalinidades en las ilitas (Navas, 1986) señala que a excepción de las rocas del Silúrico, que aparecen situadas en la anquizona, las restantes litologías del Paleozoico se encuentran ubicadas en la zona de tránsito anquizo-

na-epizona; no obstante, se observa la existencia de esquistosidad de flujo e incluso de crenulación muy marcada en las pelitas.

La incidencia de algunos procesos diagenéticos es común para todos los tipos de rocas, siendo remarkable los que guardan relación con la removilización y depósito de la sílice. En general, todas las litologías han sufrido un proceso de silicificación que se traduce en la existencia de cuarzo micro y criptocristalino, recrecimientos sintaxiales y epitaxiales (son frecuentes sobre piritas o micas), neoformación de calcedonia, cementos intergranulares, cuarzos idiomorfos-subidiomorfos y como rasgo característico que es el objeto de este trabajo, la neoformación de nódulos silíceos.

### Neoformación de nódulos de cuarzo

La neoformación de nódulos de cuarzo se limita a las formaciones de rocas detríticas del Precámbrico, Cámbrico y Ordovícico inferior, siendo

especialmente abundantes en la Formación Cuarcita de Bámbola del Cámbrico inferior. Constituye uno de los procesos diagenéticos más específicos y peculiares de todos los observados, y no hemos encontrado referencias de él en la exhaustiva revisión de antecedentes. Este proceso se encuentra tanto en las rocas detríticas de grano fino (argilitas y limolitas) como en las samitas (grauwacas y cuarcitas s.l.), desarrollándose especialmente en las grauwacas.

La neoformación de cuarzos en asociaciones de mosaicos cristalinos adopta para el conjunto un aspecto nodular. La formación de estos nódulos es resultado de un complejo proceso que, según hemos observado, termina conduciendo a un grano monomineral esférico o subsférico, siendo en ocasiones prácticamente imposible diferenciarlos (salvo por el tamaño anómalo o por las relaciones de bordes de grano) de los que serían granos detríticos o de los neoformados de su entorno. El desarrollo de los mosaicos cristalinos que constituyen los nódulos es muy variable y se pueden observar tanto a escala mesoscópica como a microscópica. (Figuras 2 y 3).

En el campo (Figura 2), en la mayoría de las rocas detríticas se observan lineaciones subparalelas de longitud que alcanza algunos centímetros e incluso decímetros, constituídas por "granos" de cuarzo de tamaños muy heterogéneos (desde milimétricos a centimétricos), con un espaciado irregular. Con frecuencia se observa una cierta correlación con fracturas, y siempre la dirección de estas lineaciones es coincidente con la orientación general de la esquistosidad en el área (Vilchez, 1984), aunque ésta pueda no ser aparente en la roca que las alberga. Igualmente, hemos observado que las lineaciones son más abundantes en las litologías en las que existen preferentemente pequeños filones de cuarzo, y en las proximidades de las fracturas. También a escala mesoscópica puede observarse que, aparentemente, los bordes de los "granos" son netos, que es normal la existencia de formas aisladas a veces de tamaño considerable, y que en la mayoría de las ocasiones éste no guarda relación con la granulometría de la roca donde se alojan, constituyendo su presencia una notable anomalía en cuanto a las condiciones hidrodinámicas y sedimentológicas del medio en que presumiblemente se formó la roca.

La observación microscópica nos ha mostrado que estos granos corresponden a la neoformación de cristales de cuarzo que adoptan finalmente formas nodulares. El desarrollo del proceso puede verse con detalle en las Figuras 3, 4, 5 y 6. El proceso puede comenzar de muy diversas formas,



Fig. 2.—Aspecto "pseudoconglomerático" de la base de la Formación Cuarcita de Bámbola (Cámbrico inferior), tras haber soportado un proceso de nodulización. El bandeado constituido por los nódulos de mayor tamaño es oblicuo a la estratificación.

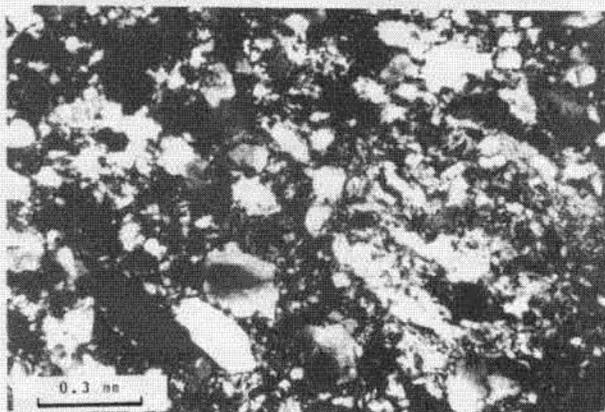


Fig. 3.—Etapa 1.ª del proceso de nodulización en una ortocuarcita con un escaso porcentaje de ortomatrix arcillosa. El nódulo está constituido por calcedonia y cuarzo alotriomorfo, quedando remarcado el borde por la interposición de arcillas. Obsérvese la neoformación de cuarzo con hábitos euhedrales-anhedrales, no incluidos en nódulos. (Serie Ibérica indiferenciada, Cámbrico superior a Ordovícico inferior).

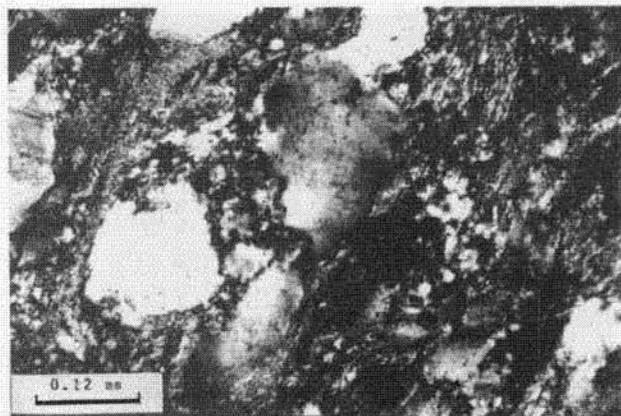


Fig. 4.—Proceso de nodulización en una roca grauwaquica. Se observa la neoformación de distintos nódulos, algunos de los cuales tienen ya una parte constituida por un monocristal de cuarzo (etapa 3<sup>a</sup>), en tanto que el resto es un mosaico microcrystalino (etapa 2<sup>a</sup>). De acuerdo con el proceso evolutivo propuesto, el conjunto central en el que se aprecian tres unidades, una de ellas constituida por un mosaico microcrystalino, desembocará en la constitución de un solo nódulo y como resultado final, un monocristal. (Formación Capas de Embid, Cámbrico inferior).

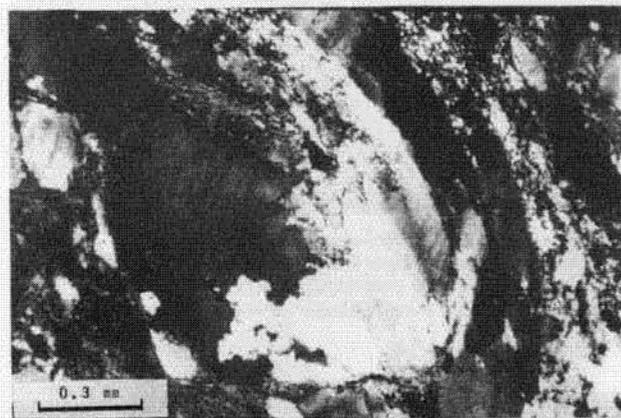


Fig. 5.—Etapas 1<sup>a</sup>, 2<sup>a</sup> y 3<sup>a</sup> de formación de un nódulo en una roca grauwaquica. Se observa que la zona central ha evolucionado hasta constituir dos monocristales (etapa 3<sup>a</sup>). Alrededor de este núcleo central, la neoformación de cuarzo ha dado lugar a la adquisición de "envueltas" (de las que se llegan a identificar hasta cuatro), la última de las cuales tiene carácter micro y cristalino. Puede verse que el crecimiento del nódulo se ve dificultado por la existencia de cuarzoes detríticos o de neoformación anterior, pero no es detenido, quedando en este caso englobados en aquel. (Formación Cuarcita de Bámbola, Cámbrico inferior).

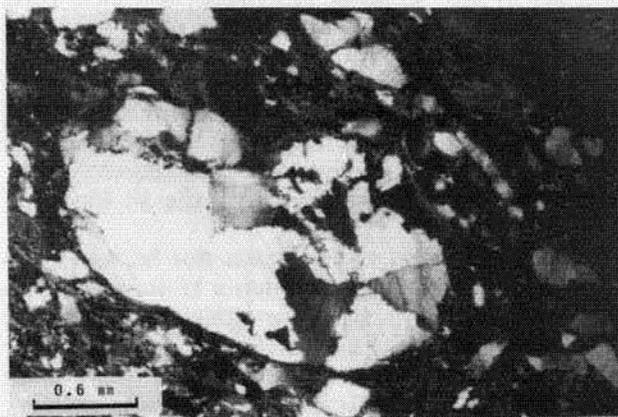
Fig. 6.—Etapas 2<sup>a</sup> y 3<sup>a</sup> del proceso de nodulización. El crecimiento y reordenación del cuarzo da lugar a la formación de un mosaico macrocrystalino en el que los cristales neoformados presentan contactos suturados. Cantos detríticos de cuarzo (o autigénicos de etapas anteriores) son asimilados en el conjunto noduliforme. (Formación Cuarcita de Bámbola, Cámbrico inferior).

pero generalmente el inicio es la génesis de un cemento en los espacios intergranulares, el recrecimiento sintaxial de clastos de cuarzo preexistentes (que pueden ser detríticos o neoformados en una etapa previa), o la neoformación de cuarzo por evolución y transformación de los minerales de las arcillas o de feldespatos.

El resultado de esta primera etapa es la formación de un "aglomerado" de muy distintas formas de cuarzo, en el que están representados, a modo de mosaico, diversas formas de calcedonia, cuarzo microcrystalino y cuarzoes bien formados, en ocasiones idiomorfos o subidiomorfos, pudiendo también quedar incluidos en el conjunto algunos granos heredados. (Figuras 3 y 5).

La etapa siguiente es el envejecimiento de las formas jóvenes de la sílice hacia conjuntos microcrystalinos y el crecimiento de los cristales hasta constituir un mosaico muy heterométrico. A la vez que se produce este proceso en lo que podríamos llamar núcleo del nódulo, en la zona externa continúa la que se ha señalado como primera etapa, observándose que en ocasiones el crecimiento adopta una cierta semejanza con la formación de "envueltas" análogas a las oosferas, que aunque sean imperfectas, están remarcadas por la inclusión de zonas menos evolucionadas (calcedonia y cuarzo microcrystalino) o la interposición de minerales de la arcilla que quedan como relictos del material original. (Figuras 4, 5 y 6).

La tercera fase es la reordenación de los cristales del mosaico y su constitución como monocristal. Es evidente que el proceso en sí, es imposible de observar, pero se ha comprobado la existencia de características que permiten asegurarlo. Así, se aprecian "fantasmas" de bordes de granos que se han soldado y que en la actualidad mantienen la misma orientación cristalográfica originando por tanto monocristales, que se localizan tanto en el centro como en el borde del nódulo y que pue-



den presentarse en un solo punto de éste o en varios; en este último caso se ha comprobado asimismo que los monocristales formados tienden a adoptar, en muchos casos, una orientación semejante a pesar de estar separados por la interposición de matriz arcillosa o cuarzo criptocristalino (Figuras 4, 5 y 6).

La constitución de nódulos estrictamente monocristalinos tampoco ha sido observada como tal proceso, pero hay que suponer que, llevada la etapa anterior a su último extremo, se alcanzaría la constitución de un monocristal o un grano formado por escasos cristales en un mosaico macro, aspectos éstos que sí se han comprobado. En estos casos puede verse que los bordes de los granos del nódulo son netos, presentando como máximo pequeños bordes de reacción con el material constituyente de la roca de caja; frecuentemente, y en especial si ésta es una pelita, se observa el "avance" de los bordes del nódulo englobando pequeños cristales de cuarzo generados en etapas anteriores manteniéndose los minerales de las arcillas ajenos al proceso de nodulización.

El aspecto que presentan los nódulos que han alcanzado las últimas etapas del proceso de formación es análogo al de cantos detríticos redondeados de los que solamente un detallado estudio, tanto del propio grano como de las relaciones que mantiene con el entorno, permite diferenciarlos.

Hay que señalar que la neoformación de mosaicos microcristalinos y la posterior evolución hacia otros de mayor tamaño de grano (en los que pueden quedar incluidos cristales ya formados anteriormente o cantos de indudable origen detrítico, recrecidos sintaxialmente o no) y finalmente monocristales no es privativa de las formas nodulares, sino que es frecuente encontrarla también como agregados con el entorno absolutamente irregular, y en granos alotriomorfos en los que todavía pueden identificarse los "fantasmas" de los bordes de grano precursores.

## Discusión y conclusiones

En la neoformación de nódulos de cuarzo se encuentra involucrada la removilización de sílice, y la abundancia existente de formas no detríticas obliga a pensar en cual es su origen y cual ha sido la forma de transporte (Navas, 1986). En muchas ocasiones el origen de la sílice es una cuestión de difícil solución, pero en nuestro caso no existe este problema en cuanto que se han observado procesos distintos y frecuentes que indudablemente son más que suficientes para proporcionar

toda la necesaria para los procesos observados y para la neoformación de nódulos de cuarzo.

Las principales fuentes de sílice, con las causas de liberación observadas son: a) liberación de sílice por procesos de disolución por presión, que constituye la fuente más importante, al menos en la etapa principal de litificación; b) sílice liberada en los procesos de reorganización de los minerales de la arcilla, habiéndose observado la íntima relación existente entre el cuarzo y las arcillas, especialmente comprobada en la transformación de los fragmentos de roca; c) alteración mineral, pudiéndose destacar la de feldespatos, cuya transformación y sustitución por sílice y minerales de la arcilla se ha observado reiteradamente; d) aportes exógenos, en los que cabe incluir tanto la sílice que ha podido ser expulsada por compactación desde los estratos inferiores, como la que podría tener un origen absolutamente extraño al sistema sedimentario.

En relación con el posible aporte alóctono de sílice, existen múltiples argumentos que parecen indicar que, efectivamente, ha habido importantes aportes de este tipo. La presencia de grandes filones de cuarzo mantenidos durante cientos de metros y localizados en fallas a rumbo de los estratos, las frecuentes mineralizaciones y anomalías de características filonianas (de barita, hierro, minerales radiactivos) que se encuentran en el entorno inmediato de la zona de estudio, la feldespaticización de algunas cuarcitas, etc., unido a especulaciones de tipo paleogeográfico (situación y tipo de roca del área fuente), sugieren un aporte mediante procesos hidrotermales o neumatolíticos como reflejo externo de posibles cambios en zonas profundas. Sin embargo, el estudio de este aspecto no ha sido contemplado en este trabajo y por tanto no nos encontramos en disposición de poder identificar la sílice con distintos orígenes, limitándonos a indicar esta última posibilidad como muy probable.

En la región estudiada, la neoformación de nódulos de cuarzo desarrollada con especial intensidad en grauwacas afecta a la generalidad de las rocas detríticas de las Formaciones Pizarras de Paracuellos, Cuarcita de Bámbola y a las de la Serie Ibérica correspondientes al Precámbrico, Cámbrico y Ordovícico inferior respectivamente.

La hipótesis enunciada para el desarrollo de nódulos según las etapas citadas ha sido deducida exclusivamente a partir de la observación microscópica en láminas delgadas, por lo que para su confirmación sería preciso realizar otro tipo de estudios que en la actualidad se están ensayando. Sin embargo, la reiterada observación del proceso y el comprobado escalonamiento de las etapas,

permite ya en la actualidad presentarlo como el mecanismo más probable de formación de granos, cuya presencia, tal como se ha señalado al principio, supone una anomalía de difícil explicación atendiendo a criterios estrictamente sedimentológicos.

Las causas de la adopción de formas nodulares de los conjuntos de cuarzo neoformados no son conocidas, pero probablemente se encuentran íntimamente ligadas a los esfuerzos dirigidos de origen tectónico y a la formación de esquistosidades. En relación con estas últimas, ya hemos señalado que la observación macroscópica muestra que las direcciones de las alineaciones de nódulos y la esquistosidad son acordes, e igualmente se ha comprobado que las líneas de foliación más marcadas sirven frecuentemente de separación a distintos "niveles" de lineaciones nodulares.

También se ha comprobado que no es raro el encontrar boudinage en los rellenos de fracturas

por cuarzo, que en el caso de inducir a la separación de conjuntos por rotura de los adelgazamientos adoptan asimismo aspectos nodulares al ser observados en lámina delgada.

### Referencias

- Lotze, F. (1929). Stratigraphie und Tektonik des Keltiberischen Grundgebirges (Spanien). Abh. Ges. Wiss. Göttingen math. phys. K., n.º., 14, 2.
- Lotze, F. (1955). Estratigrafía y tectónica de las Cadenas paleozoicas Celtibéricas. Pub. sobre Geol. de España. Inst. Inv. Geol. Lucas Mallada. 8.
- Navas, A. (1986). *Estudio geológico y petrológico de los materiales paleozoicos aflorantes en un sector de las Sierras de Vicort y Algairén (Prov. de Zaragoza)*. Tesis de Licenciatura. Universidad de Zaragoza. 357 págs.
- Vilchez, J. (1984). *Rasgos geológicos y estructurales de la Unidad de Herrera (Cadena Ibérica)*. Tesis de Licenciatura. Universidad de Zaragoza.

Recibido el 5 de Mayo de 1987  
Aceptado el 30 de Diciembre de 1987