

# Procesos metamórficos e hidrotermales Variscos en rocas carbonáticas del Cámbrico inferior (Montes de Toledo, Zona Centroibérica, España).

## *Variscan metamorphism and hydrothermalism recorded in lower Cambrian carbonates (Toledo Mountains, Central Iberian Zone, Spain).*

S. Menéndez<sup>1</sup>, L. González-Menéndez<sup>2</sup>, M. Rodríguez-Martínez<sup>3</sup> y F.J. Rubio Pascual<sup>4</sup>

1 Museo Geominero, Instituto Geológico y Minero de España (IGME), Ríos Rosas 23, 28003 Madrid, Spain. s.menendez@igme.es

2 Unidad de León, Instituto Geológico y Minero de España (IGME), Avda Real 1, 24006 León, Spain. l.gonzalez@igme.es

3 Departamento de Geodinámica, Estratigrafía y Paleontología, Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense de Madrid, C/José Antonio Nováis, 12, 28040 Madrid, Spain. martarm@geo.ucm.es

4 Área de Cartografía Geocientífica, Instituto Geológico y Minero de España (IGME), Ríos Rosas 23, 28003 Madrid. f.rubio@igme.es

**Resumen:** Las rocas carbonáticas del Cámbrico inferior de la Zona Centroibérica (Formación Calizas de Los Navalucillos) presentan en la localidad de Urda (Toledo) asociaciones minerales que pueden estar producidas por procesos metamórficos variscos. La textura y mineralogía observadas consisten en dominios siliciclásticos de cuarzo + sericita ± micrita en contacto con nódulos carbonáticos con bioclastos de arqueociatos. Los bordes de estos nódulos contienen biotita magnésiana ± clorita-clinocloro ± óxidos y sulfuros de hierro ± feldespato potásico. Fuera de los bordes y en la matriz siliciclástica suelen aparecer biotita magnésiana ± moscovita ± feldespato potásico ± clorita-clinocloro ± titanita ± plagioclasa cálcica y sulfuros de hierro. La modelización P-T-XCO<sub>2</sub> indica condiciones de baja presión, temperaturas de 310-355 °C y composición del fluido de 0.05-0.55 XCO<sub>2</sub> para producir las paragénesis minerales observadas. En base a estos datos se consideran dos hipótesis: 1) Un metamorfismo regional varisco que afectó a rocas compuestas por cuarzo + sericita + calcita/dolomita. 2) Un metamorfismo de contacto asociado al emplazamiento tardivarisco de un plutón granítico, que generó de forma puntual calor y fluidos hidrotermales de H<sub>2</sub>O ± CO<sub>2</sub>. Estos fluidos serían en parte magmáticos-graníticos (>H<sub>2</sub>O) y en parte metamórficos (>CO<sub>2</sub>) procedentes de los metasedimentos de contacto.

**Palabras clave:** Calizas de Los Navalucillos, rocas carbonáticas, metamorfismo, hidrotermalismo, biotita.

**Abstract:** The early Cambrian carbonate rocks of the Central Iberian Zone (Navalucillos Limestone Formation) show in Urda location (Toledo) a mineral paragenesis probably linked to Variscan metamorphic processes. The textures consist in quartz + sericite ± micrite domains that include calcite nodules with archaeocyathan bioclasts and silicate rims of Mg-biotite ± clinocllore ± iron-oxides and sulfides ± K-feldspar. Outside the rims, the silicate phases are Mg-biotite ± muscovite ± K-feldspar ± chlorite-clinocllore ± titanite ± calcic-plagioclase, and iron sulfides. P-T-XCO<sub>2</sub> modeling indicates low pressure conditions of metamorphism, low to moderate XCO<sub>2</sub> fluid (≈ 0.1-0.5) and a T range of ≈ 300-355 °C. Two hypothesis are considered: 1) Regional metamorphism of a quartz + sericite + calcite/dolomite assemblage. 2) Infiltration of the carbonate rocks by H<sub>2</sub>O ± CO<sub>2</sub> external fluids, magmatic/metamorphic derived. This consists in hydrothermal inputs from a local source (granite intrusions) and from dehydration of contact sediments. The high variability of the isotopic δ<sup>18</sup>O values in the carbonates supports this hypothesis.

**Keywords:** Navalucillos Limestones, carbonate rocks, metamorphism, hydrothermalism, biotite.

## INTRODUCCIÓN

En el Macizo Varisco Ibérico (España y Portugal) tuvo lugar deformación, metamorfismo y magmatismo durante gran parte del periodo Carbonífero. En las partes internas de este orógeno (Zona Centroibérica) se registraron estos procesos de manera desigual. En bastantes zonas el metamorfismo regional fue de bajo o muy bajo grado. Superpuesto a este metamorfismo, intrusiones graníticas generaron aureolas térmicas de mayor grado (facies esquistos verdes - anfíbolitas) y carácter más local.

En el sureste de la Zona Centroibérica, en la localidad de Urda y sus alrededores, aflora una sucesión de rocas car-

bonáticas, con diversas intercalaciones siliciclásticas, perteneciente a la Fm. Calizas de Los Navalucillos de edad Cámbrico, Serie 2, Piso 3 (última tabla cronoestratigráfica internacional de la IUGS) (Fig. 1). Se trata de calizas ± dolomías impuras junto con niveles pizarrosos/arenosos. Todo este conjunto de litologías se encuentra afectado por la deformación Varisca y presenta un metamorfismo cuya característica más destacable es la blastesis de biotita. Aun así, en esta localidad se registra una asociación de fauna de arqueociatos que destaca por su buena preservación (Menéndez *et al.*, 2010).

En este trabajo se estudia el metamorfismo que afectó a estas rocas carbonáticas para averiguar si se trató de un

evento regional o pudo estar relacionado con intrusiones ígneas graníticas e hidrotermalismo asociado. Para ello, se investigó el posible efecto térmico en diversas formaciones de la zona de estudio mediante trabajo de campo y petrografía. Posteriormente se realizó una modelización numérica para averiguar las condiciones de P-T-XCO<sub>2</sub> necesarias para reproducir la mineralogía observada. Los datos disponibles y su interpretación parecen ser más favorables a procesos de metamorfismo de contacto.

## CONTEXTO GEOLÓGICO

En la zona de estudio afloran diversas unidades litoestratigráficas del Paleozoico inferior (Cámbrico-Ordovícico; Fig. 1). La estructura del conjunto está formada por un anticlinal en forma de domo con un eje de dirección aproximada OSO-ENE y en cuyo núcleo afloran las rocas carbonáticas impuras de la Fm. Calizas de Los Navalucillos (localidad de Urda). Esta misma formación aflora también más hacia el Este, (Consuegra) donde muestra una dirección aproximada NO-SE (Fig. 1). Sobre las Calizas de los Navalucillos, el resto de la sucesión paleozoica corresponde principalmente a rocas siliciclásticas con diverso grado de metamorfismo. Respecto a las rocas ígneas graníticas, no se han identificado en este entorno, ni siquiera en las zonas más orientales donde se describen pequeños afloramientos del granito biotítico de Madrideojos (Ramírez Merino, 2000). Por tanto, el contacto de este granito con las rocas del Paleozoico inferior debe estar más desplazado hacia el Este y oculto bajo la cobertera de materiales terciarios.

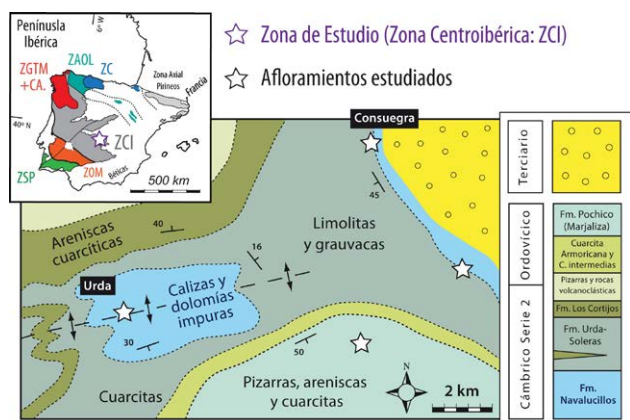


FIGURA 1. Mapa geológico con las principales unidades litoestratigráficas que afloran en la zona. Simplificado y modificado de Ramírez Merino (2000). Las diferentes localidades de estudio y muestreo están señaladas en el mapa (estrellas).

## PETROGRAFÍA DE LAS ROCAS CARBONÁTICAS / SILICICLÁSTICAS

Las rocas carbonáticas y niveles siliciclásticos de la Fm. Calizas de Los Navalucillos que afloran en la localidad de Urda presentan algunas singularidades. Se trata de limolitas y lutitas masivas con nódulos carbonáticos intercalados (litofacies B1 y B3 en Menéndez *et al.*, 2010). Los nódulos

carbonáticos, de tamaño decimétrico a centimétrico, aparecen parcial o totalmente rodeados de matriz siliciclástica (pelítica ± micrítica).

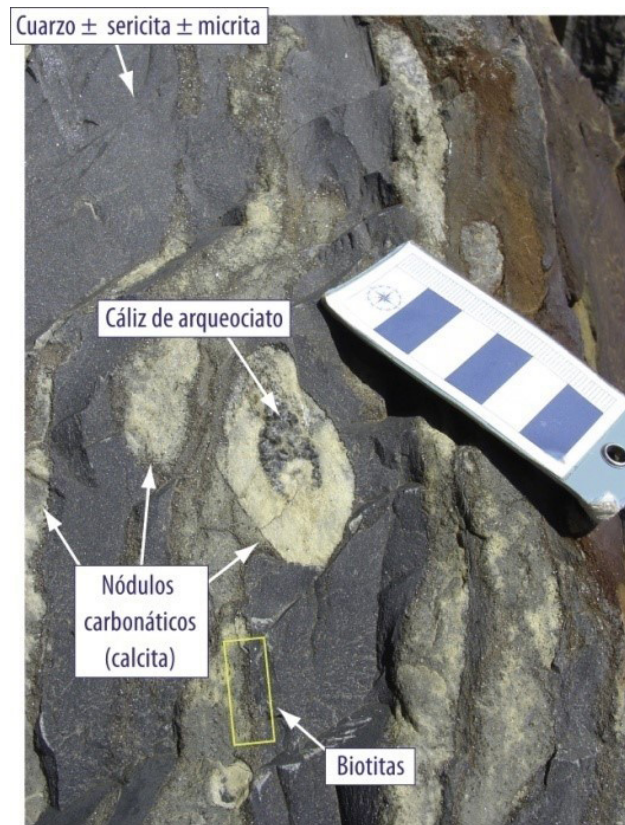


FIGURA 2. Matriz siliciclástica ± micrítica y nódulos carbonáticos esparíticos en los afloramientos de la Fm. Calizas de Los Navalucillos en Urda. A simple vista se pueden identificar restos de cálices de arqueociatos y blastos de biotita.

Las partes carbonáticas y en algunos casos las siliciclásticas suelen tener abundantes blastos de biotitas subhedrales, muchas con hábito poiquiloblástico y sin orientaciones preferentes (Figs. 2 y 3). En los dominios de matriz siliciclástica, las biotitas pueden alcanzar tamaños próximos a los 100 μm. En los dominios de nódulos carbonáticos, especialmente en los bordes, las biotitas alcanzan tamaños próximos a 1 mm (Fig. 3). Las biotitas observadas no presentan en general inclusiones de óxidos de hierro o apatito aunque sí contienen algunos halos pleocroicos rodeando a minerales accesorios ricos en uranio (circón y/o monacita). El crecimiento y desarrollo de estas biotitas se interpreta por metamorfismo/metasomatismo.

Las asociaciones minerales observadas, tanto en la matriz como en los nódulos carbonáticos, consisten en:

a) Matriz siliciclástica: cuarzo + sericita ± calcita. Otras fases que aparecen en la matriz, aunque de forma más heterogénea son: biotita rica en magnesio ± moscovita ± feldespato potásico ± clorita (clinocloro) ± titanita ± plagioclasa cálcica y sulfuros de hierro.



b) Nódulos carbonáticos: calcita ± dolomita ± biotita y bioclastos de arqueociatos. Los bordes de estos nódulos contienen diversos silicatos y óxidos: biotita rica en magnesio ± clorita (clinocloro) ± sulfuros y óxidos de hierro ± feldespato potásico (Fig. 3).

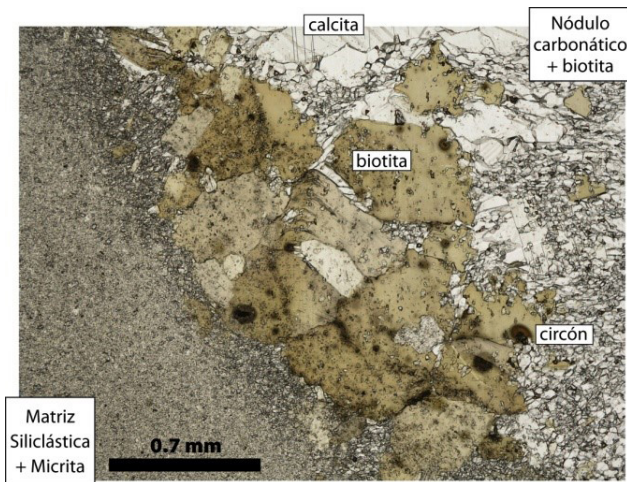


FIGURA 3. Fotomicrografía de la zona de contacto entre un nódulo carbonático y la matriz siliciclástica ± micrítica. Algunas de las biotitas muestran hábito poiquiloblástico y contienen inclusiones de circón.

Las rocas carbonáticas de la Fm. Calizas de Los Navalucillos situadas más al Este (Fig. 1: Consuegra) muestran importantes recrystalizaciones, pero una blastesis de minerales metamórficos muy escasa: ± biotita rica en Mg ± moscovita.

Las pizarras del Ordovícico de la Formación Pochico al S-SE de la localidad de Urda (Fig. 1) no presentan minerales índice que indiquen que han llegado a la anquizona.

**MODELIZACIÓN P-T-XCO<sub>2</sub>**

Con objeto de intentar reproducir la asociación mineral observada, en especial la blastesis de biotitas, se ha realizado un modelo termodinámico de temperatura-composición de fluido (H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub>) para una presión de 1 kbar (≈ 3.3 km). La composición de roca total sobre la que se realizaron los cálculos es una estimación aproximada de la interfase matriz siliciclástica-nódulo carbonático (Si:70, Ca:85 atom. mol prop. ± cantidades menores de Al, Mg, Fe y K; Fig. 4).

La pseudosección T-X<sub>CO<sub>2</sub></sub> calculada (Fig. 4) muestra que la asociación mineral teórica coincide con la observada (calcita + cuarzo + biotita + clorita ± moscovita ± feldespato potásico) para unas condiciones de baja presión (1 kbar), contenido moderado a bajo en CO<sub>2</sub> del fluido (XCO<sub>2</sub> ≈ 0.05-0.55) y temperaturas comprendidas entre 310-355 °C aproximadamente. A mayores temperaturas o mayor contenido de CO<sub>2</sub> en el fluido, la clorita no sería estable. Con menor proporción de CO<sub>2</sub> en el fluido, otras fases estarían en la asociación estable: zoisita/clinozoisita, anfíbol. Además, el campo de estabilidad de la clorita sería

muy reducido. Es posible que en este intervalo de XCO<sub>2</sub> la temperatura haya podido ser ligeramente mayor de 355 °C y mantenerse la clorita de forma metaestable debido a la cinética de las reacciones.

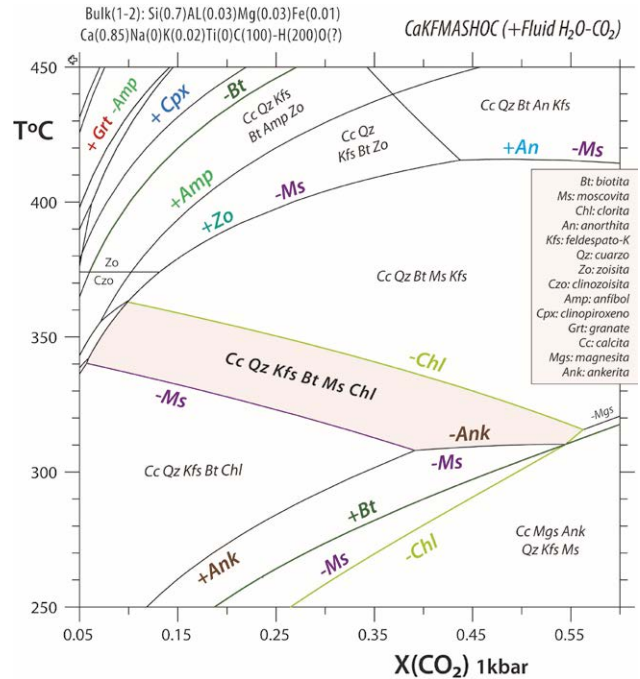


FIGURA 4. Pseudosección T-XCO<sub>2</sub> para una presión de 1 kbar y composición estimada: nódulo carbonático + matriz siliciclástica (Bulk 1-2). Se utilizó el software Theriak-Domino (De Capitani y Petrakakis, 2010) junto con la base de datos ds.55 de Holland y Powell (1998). El campo en gris corresponde a la asociación mineral teórica más coincidente con la observada.

**METAMORFISMO: ¿REGIONAL O DE CONTACTO?**

La asociación mineralógica observada en las rocas carbonáticas de la Fm. Calizas de Los Navalucillos en Urda se debe explicar mediante un incremento de la temperatura y una producción de fluidos de H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub>. Se pueden plantear dos hipótesis diferentes:

- 1) Un metamorfismo regional de grado bajo afectando a una asociación mixta de rocas siliciclásticas + carbonáticas. El incremento de temperatura produciría deshidratación de fluidos procedentes de las arcillas en las rocas siliciclásticas/carbonáticas y estos fluidos de H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub> favorecerían la blastesis de biotita y el desarrollo de la asociación mineral observada. El problema con esta hipótesis es que un metamorfismo regional debería ser efectivo en toda la zona y en especial en las litologías pizarrosas. Sin embargo, fuera de algunas localidades puntuales (especialmente Urda), no se aprecian efectos importantes de metamorfismo.
- 2) Un hidrotermalismo asociado a intrusiones ígneas graníticas puede transferir calor, fluidos (H<sub>2</sub>O > CO<sub>2</sub>) y componentes químicos (Si, K) que favorezcan la blastesis de biotitas en los materiales estudiados: rocas carbonáticas y siliciclásticas. Los magmas graníticos predominan en

todo el cinturón Varisco y, hacia el Este de la zona de estudio (Este de Consuegra), se emplaza el granito biotítico de Madridejos. Su situación parece demasiado alejada de Urda como para causar algún efecto (Bergamín y González Casado, 1986). Tan solo podría llegar a afectar a las rocas carbonáticas en la zona de Consuegra donde se observan recristalizaciones y escasas blastesis. En Urda sería necesario suponer una intrusión granítica local y no aflorante que causaría el metamorfismo observado, elevando la temperatura e introduciendo fluidos hidrotermales.

En general, los fundidos graníticos y sus fluidos hidrotermales derivados son ricos en H<sub>2</sub>O con respecto al CO<sub>2</sub>, máxime en condiciones de baja presión (King y White, 2003). En comparación, los fluidos producidos a partir de metasedimentos suelen tener mayores cantidades de CO<sub>2</sub>, especialmente si parte de las litologías son carbonáticas como el caso estudiado. El rango de XCO<sub>2</sub> estimado a partir de la modelización indica valores de H<sub>2</sub>O algo mayores en relación al CO<sub>2</sub> lo que apoyaría una procedencia mixta magmática/metasedimentaria. El incremento de temperatura asociado a la intrusión podría producir deshidratación de los metasedimentos de contacto (corneanas) cuyos fluidos se mezclarían con los magmáticos, pudiendo elevar el contenido en CO<sub>2</sub> de estos.

La composición isotópica δ<sup>18</sup>O de los carbonatos estudiada por Menéndez *et al.* (2010) muestra una considerable variabilidad (con rangos de hasta un 6 ‰) lo que apoyaría una procedencia externa y mixta, en parte magmática y en parte metamórfica.

## CONCLUSIONES

Las rocas carbonáticas-siliciclásticas de la Fm. Calizas de los Navalucillos en el entorno de la localidad de Urda, presentan texturas no registradas en otras áreas para estos materiales. Son nódulos carbonáticos con numerosos restos de arqueociatos muy bien conservados, en una matriz siliciclástica rica en cuarzo. En los límites de estas litologías diferenciadas hay una importante blastesis de biotitas. Además, también existe un desarrollo de otras fases silicatadas. Los datos de campo, petrográficos y los resultados de la modelización favorecen la hipótesis de una fuente de calor y fluidos localizada y no regional que explicaría este metamorfismo. Podría tratarse de un efecto térmico producido por intrusiones ígneas graníticas más próximas al área de estudio y no aflorantes. Estas, además de aportar calor y fluidos ricos en H<sub>2</sub>O, podrían inducir deshidrataciones en sus encajantes sedimentarios que explicarían la fracción de CO<sub>2</sub> de los fluidos calculada en el modelo.

## AGRADECIMIENTOS

Trabajo financiado por el Plan Estatal de Investigación Científica y Técnica del Ministerio de Economía, Competitividad e Industria a través de los proyectos CGL2013-48877-P (IVECGO) y CGL2017-87631-P (ECO-CAM-OR). Agradecemos a Rafael Pablo Lozano (Museo Geominero-IGME) su ayuda para utilizar el equipo de microsonda electrónica de dispersión de longitud de onda de la UCM, así como el microscopio electrónico de barrido del IGME.

## REFERENCIAS

- Bergamín, J.F. y González Casado, J.M. (1986): Avance de la interpretación geotectónica del emplazamiento del plutón granítico de Madridejos (Toledo), basada en determinaciones gravimétricas. *Estudios Geológicos*, 42: 301-306.
- De Capitani, C. y Petrakakis, K. (2010): The computation of equilibrium assemblage diagrams with Theriak/Domino software. *American Mineralogist*, 95(7): 1006-1016.
- Holland, T.J.B. y Powell, R. (1998): An internally-consistent thermodynamic dataset for phases of petrological interest. *Journal of Metamorphic Geology*, 16: 309-344.
- King, P.L. y White, A.R.J. (2003): Granites, volatile solubility and tracking the formation of magmatic fluids. En: *The Ishihara Symposium: Granites and Associated Metamorphism*. Abstract volume, 85-88.
- Menéndez, S., Rodríguez-Martínez, M., Moreno-Eiris, E., Perejón, A. y Reitner, J. (2010): Palaeoenvironmental and geochemical approach of archaeocyath-rich facies from Lower Cambrian of Western Gondwana margin at Central Iberian Zone (Urda, Toledo Mountains, Spain). En: *EGU General Assembly Conference*. Abstracts 12: 9359.
- Ramírez Merino, J.I. (2000): *Hoja y Memoria explicativa del Mapa Geológico de España a E. 1: 50.000 n° 712 (Madridejos)*. Segunda Serie MAGNA, Primera edición. ITGE, Madrid, 67 p.