

PROCESOS DIAGENETICOS EN LAS ROCAS CARBONATICAS  
DEL MUSCHELKALK DE LA CORDILLERA IBERICA

Por J. A. DE LA PEÑA \* y A. YÉBENES \*\*

RESUMEN

Se ha realizado el estudio de más de 500 muestras, correspondientes a 17 columnas, con el objeto de analizar detalladamente las transformaciones postsedimentarias y sus variaciones en el tiempo y en el espacio.

Fundamentalmente se ha tratado de esclarecer la situación temporal de la dolomitización que consideramos eo-mesogenética. Otros aspectos abordados son los referentes a los procesos de silicificación, brechificación, compactación, etc.

ABSTRACT

More than 500 samples corresponding to 17 lithological columns have been studied. Their analyses have permitted a detailed study of the post-sedimentary transformations and the variations in time and space.

Fundamentally, the appearance of the dolomitization, which we consider eo-mesogenetic has been dealt with. Other aspects, also studied, are those in relation to processes of silicification, brecciation, compaction, etc.

RÉSUMÉ

Plus de 500 échantillons, appartenant à 17 colonnes lithologiques, ont été étudiés afin d'établir en détail les transformations postsédimentaires et leurs variations dans le temps et dans l'espace.

On a essayé principalement de dilucider la situation temporelle de la dolomitisation, que l'on considère eo-mesogenétique. D'autres aspects abordés ont été la silicification, la bréchification, la compactation, etc.

---

\* Dpto. de Petrología. Facultad de Geología. Universidad Complutense. Madrid.

\*\* Dpto. de Petrología y Geoquímica. Instituto Lucas Mallada. C.S.I.C., Madrid.

## I. INTRODUCCIÓN

El Muschelkalk de la Cordillera Ibérica ha sido estudiado por diversos autores, pero son muy pocos los que se han planteado el problema del origen de sus dolomías.

MALLADA (1902) considera que éstas se generan por procesos de segregación causados por fuerzas electrotelúricas relacionadas con la aparición de las ofitas, que originarían un metasomatismo magnesiano de las calizas circundantes.

VIRGILI (1958) atribuye a las dolomías del Muschelkalk de los Catalánides, comparables a los de la Cordillera Ibérica, un origen por precipitación directa o por dolomitización contemporánea a la sedimentación.

MELÉNDEZ (1971) acepta también la idea de un origen primario o penecontemporáneo.

FREEMAN (1972), en un estudio monográfico, propone una nueva hipótesis, según la cual la dolomitización está controlada por fracturas, siendo, por tanto, «epigenética postectónica», anterior al desmantelamiento de la cobertura postríasica. Las cloritas del Keuper suprayacente, al ser lavadas por aguas meteóricas, proporcionarían el magnesio necesario para la dolomitización.

DE LA PEÑA (1972), en su tesis doctoral, llega a la conclusión de que el proceso fundamental causante de la dolomitización fue penecontemporáneo.

Existen, pues, ideas discrepantes en cuanto a su origen, ya que para unos autores son dolomías singenéticas o diagenéticas tempranas, mientras que para otros son epigenéticas.

En el presente trabajo se han estudiado mediante diversas técnicas más de 500 muestras, correspondientes a 17 columnas levantadas en el ámbito de la Cordillera Ibérica, desde el borde del Sistema Central hasta las proximidades de Teruel, figura 1, intentándose la reconstrucción de la historia diagenética de los materiales carbónicos que constituyen el Muschelkalk en dicha zona.

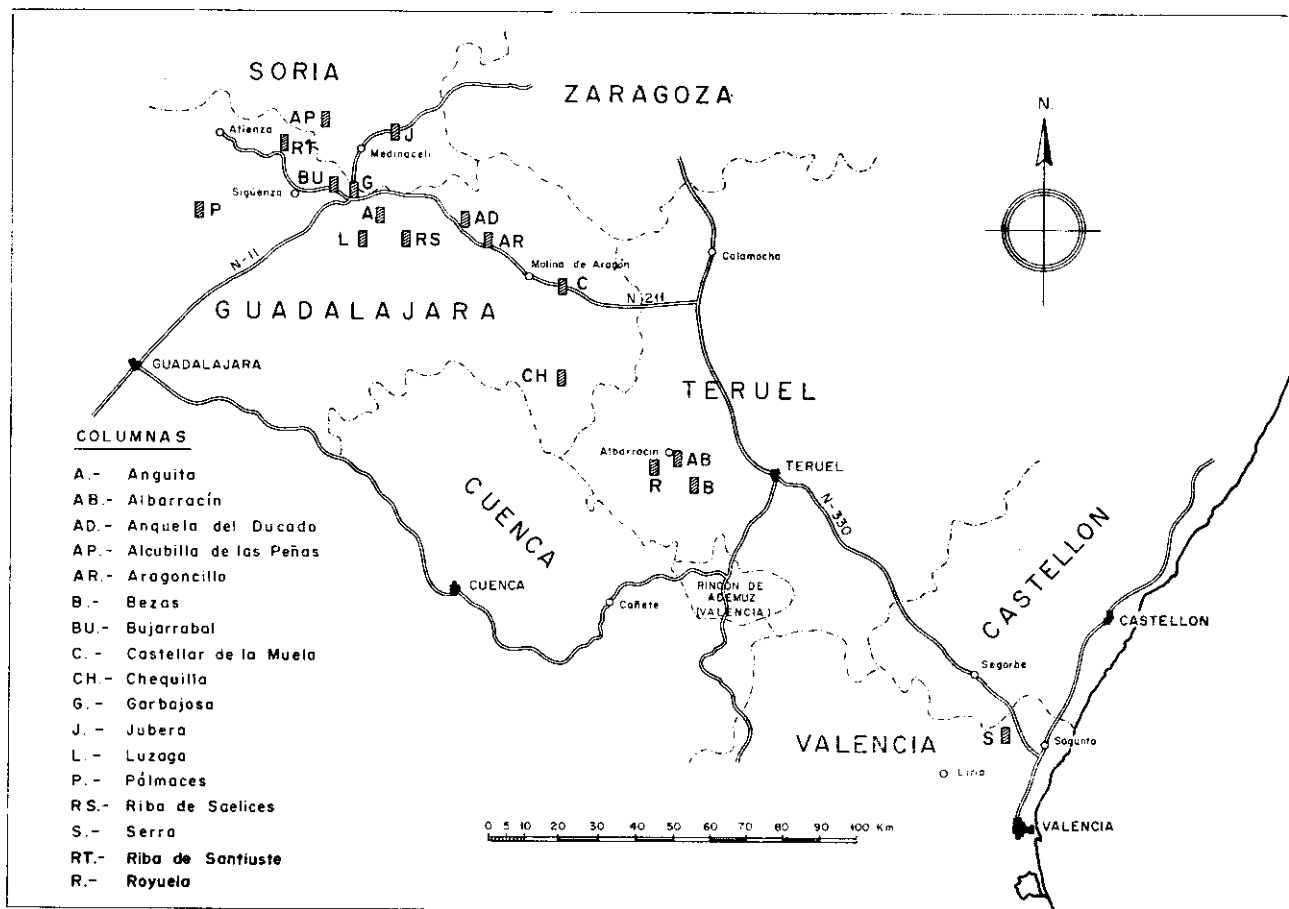
Para subdividir el Muschelkalk hemos utilizado los términos Muschelkalk-1, Muschelkalk-2 y Muschelkalk-3, para referirnos respectivamente a la unidad dolomítica inferior, a la unidad arcillosa intermedia y a la unidad dolomítica superior.

## II. MICROFACIES DEPOSICIONALES

Aunque el objeto de nuestro trabajo no ha sido el estudio de las características del medio deposicional del Muschelkalk, haremos algunas consideraciones generales sobre su naturaleza, basadas fundamentalmente en los datos aportados por las microfacies. Hay que destacar, sin embargo, que los procesos diagenéticos, y de forma especial la dolomitización, han oscurecido de tal forma las texturas deposicionales que, en muchos casos, su reconocimiento es imposible. Por ello es muy difícil realizar un estudio secuencial de detalle. Las microfacies más frecuentes corresponden, en general, a las encontradas por FREEMAN (1972).

a) «Wackstones» y «mudstones» dolomíticos o calcáreos con fósiles y peloides. Aparecen restos de bivalvos, gasterópodos y crinoides, poco accionados mecánicamente, siendo frecuente la existencia de estructuras biogénicas.

Fig. 1. Esquema de situación de las columnas muestreadas



Se interpretan como sedimentos subtidales depositados en un medio restringido, de baja energía y poca profundidad. En ocasiones presentan cantidades variables de cuarzo y feldespato detríticos, que podrían ser indicadores de una mayor proximidad a la línea de costa.

b) Dolomicritas con laminaciones de origen algar que a veces presentan láminas ricas en cuarzo aleurítico. En ocasiones aparecen grietas de desecación y «bird-eyes». Pueden considerarse como «algal-mats» supratidales o intertidales altos. Hacia el Este, y en el tramo superior del Muschelkalk-3, puede presentarse esta microfacies con composición calcítica.

c) Dolomicritas. A veces presentan poros alargados, que probablemente correspondan a moldes de cristales de sulfatos preexistentes. FREEMAN (1972) los considera sedimentos de llanura intertidal.

d) Dolomicritas con láminas arcillosas irregulares. Su interpretación es difícil, puesto que la irregularidad de las láminas puede considerarse debida bien a efectos de compactación, o bien a deposición sobre superficies irregulares.

e) «Grainstones». Son poco frecuentes, dominando sobre todo los niveles oolíticos que indican condiciones locales de mayor energía.

Estas microfacies aparecen a lo largo de toda la columna, aunque ya hemos señalado la dificultad de su estudio secuencial detallado. Por tanto, creemos que el análisis de facies debe realizarse con gran precaución, ya que, por ejemplo, las alternancias margo-dolomíticas (y/o calcáreas) del tramo superior del Muschelkalk, que aparecen a primera vista como facies típicamente subtidales, presentan, sin embargo, intercalaciones de dolomicritas algares y grietas de desecación que indicarían condiciones supratidales, que alternarían con las subtidales.

Así, pues, podemos considerar que las rocas carbonáticas del Muschelkalk corresponden a sedimentos depositados en un medio poco energético, confinado, en el que se desarrollaron facies subtidales, intertidales y supratidales de distribución espacial y temporal compleja.

### III. DOLOMITIZACIÓN

Las dolomías predominan netamente sobre las calizas en todo el Muschelkalk, únicamente en las zonas más orientales las intercalaciones calcáreas cobran una gradual importancia, principalmente en el tramo superior del Muschelkalk-3.

Los procesos de dolomitización han afectado a los materiales del Muschelkalk en diferentes momentos de su evolución diagenética, aunque la importancia cuantitativa de cada uno de ellos es distinta. El análisis petrográfico nos ha permitido distinguir tres etapas, que se discuten a continuación.

#### a) *Primera etapa de dolomitización*

... El ambiente altamente magnesiano y el carácter alcalino de la cuenca de sedimentación durante la deposición de los materiales del Muschelkalk produciría una dolomitización casi inmediata (eogenética temprana o penecontemporánea) de parte de los fangos calcáreos. Como resultado se originarían los diferentes tipos dolomíticos, según las microfacies deposicionales. Este

proceso sería selectivo, afectando fundamentalmente a la matriz micrítica, que sería la primera en dolomitizarse. Los cristales de dolomita resultantes tienen composición estequiométrica o ligeramente magnesiana ( $\text{Ca}_{0,50}\text{Mg}_{0,50}$  a  $\text{Ca}_{0,48}\text{Mg}_{0,52}$ ), lo que según las ideas de FÜCHTBAUER y GOLDSCHMIDT (1965) indicaría que se originaron en condiciones climáticas de gran aridez.

Las dolomías así formadas tienen bastante importancia cuantitativa.

#### b) *Segunda etapa de dolomitización*

Durante esta fase se originan cementos de dolomita «limpia» que rellenan poros eogenéticos («birds-eyes», grietas de desecación, etc.). Asimismo, creemos que se puede atribuir a esta etapa la dolomitización de zonas y componentes, principalmente aloquímicos, «supervivientes» de la fase anterior, dando lugar a un mosaico xenotópico de cristales con numerosas inclusiones que en algunas ocasiones permiten la identificación de los aloquímicos. Estas dolomías tienen un exceso de calcio en la red ( $\text{Ca}_{0,54}\text{Mg}_{0,46}$  a  $\text{Ca}_{0,56}\text{Mg}_{0,44}$ ) característico, por ejemplo, de nuestras microfacies de «grainstones» oolíticos dolomitizados.

Esta etapa probablemente se pueda atribuir a la acción de aguas meteóricas que, procedentes de zonas continentales, se deslizarían sobre el «Röt», y en la zona de mezcla con aguas marinas ricas en Mg producirían la dolomitización (BADIOZAMANI, 1973) durante el tránsito eogénesis-mesogénesis. Sería también responsable de las recrystalizaciones de las dolomías, como se verá más adelante.

#### c) *Tercera etapa de dolomitización*

FREEMAN (1972) afirma que en el Muschelkalk de la Cordillera Ibérica la dolomitización está controlada por fracturas posttectónicas. Nosotros no aceptamos la idea de que el conjunto de las dolomías estudiadas estén controladas estructuralmente; sin embargo, creemos que pueden existir fenómenos locales de dolomitización telogenética. La aparición en algunas fracturas y moldes de sulfatos de un primer revestimiento de cemento dolomítico «drusy», que en ocasiones presenta un zonado alternante de dolomita y calcita, indica la existencia de una dolomitización posttectónica.

El mecanismo de este proceso de dolomitización telogenética es difícil de establecer, pero creemos que podría ser atribuido a la acción de aguas del Keuper (cuya composición recuerda a la del mar), que al interaccionar con aguas meteóricas normales crearían, en zonas restringidas, condiciones favorables a la precipitación muy localizada de dolomita. La presencia de cristales zonados parece apoyar esta idea, ya que indicaría que el sistema químico se encontraba próximo al punto de equilibrio calcita-dolomita, quedando alternativamente dentro de uno u otro campo de estabilidad.

Los procesos de recrystalización son muy frecuentes en las dolomías de todo el Muschelkalk, aunque su distribución, tanto espacial como temporal, parece muy irregular. Las dolomías recrystalizadas presentan una textura en mosaico, xenotópica inequigranular porfirotópica, aunque no es rara la presencia de mosaicos equigranulares. Se observa, por una parte, una recrystalización de dolomicritas a dolomías microcristalinas y, por otra, la transformación de éstas en dolomías mesocristalinas. El proceso de recrystalización,

en general de tipo porfiroide, se ha podido realizar, por tanto, en más de una etapa. Estas dolomías tienen una composición estequiométrica ( $\text{Ca}_{0,50} - \text{Mg}_{0,50}$ ).

Existen muy pocos datos en la bibliografía sobre el mecanismo de recristalización en las dolomías. Podemos suponer como hipótesis que los frentes de dolomitización al afectar a dolomías pueden producir su recristalización. Si esto fuera cierto podríamos atribuir a las etapas segunda y tercera de dolomitización la recristalización de las dolomías, la cual por sus características textuales parece haberse realizado al menos en dos fases.

Hemos encontrado magnesita en pequeñas cantidades en numerosas muestras. En las proximidades del techo del Muschelkalk-3, por debajo de las facies evaporíticas del Keuper, aparecen en ocasiones niveles muy ricos en magnesita (hasta un 80 %) asociada a dolomita. También han sido encontradas capas muy ricas en la base del Muschelkalk-1 de Albarracín. Aunque su estudio detallado no se aborda en este trabajo, consideramos que su existencia es una consecuencia más de la riqueza en Mg del medio sedimentario.

#### IV. SILICIFICACIÓN

Los procesos de silicificación han actuado sobre los materiales del Muschelkalk originando cuatro tipos de sílice diagenética, que difieren tanto en sus características textuales y estructurales como en sus condiciones de génesis.

##### a) *Nódulos y niveles de sílex*

Es frecuente la aparición de nódulos y niveles estratiformes de sílex asociados fundamentalmente a las dolomías de la base del Muschelkalk-3. Desde el punto de vista petrográfico están constituidos por cuarzo microcristalino y ocasionales esferulitos de calcedonita.

A veces aparecen huecos rellenos por una primera generación de cemento de calcedonita, al que sigue otra posterior de megacuarzo. En ocasiones presentan inclusiones de forma rómbica constituidos por cuarzina, que probablemente sean resultado de la silificación de cristales de sulfatos incluidos en las dolomías preexistentes.

En los nódulos pueden aparecer cristales euhedrales de dolomita que contrastan con los anhedrales del entorno del sílex. Ello podría indicar que la silicificación comenzó con posterioridad a la iniciación de la dolomitización, pero antes de que ésta concluyera. Este hecho, unido a la disposición estratiforme de los nódulos, permite asignar un origen eogenético a estos niveles.

##### b) *Cuarzos euhedrales*

Aparecen cuarzos euhedrales asociados, en general, a niveles de brechas de disolución y zonas dedolomitizadas.

Presentan inclusiones de sulfatos y carbonatos, diferenciándose de los del Keuper por su menor tamaño y por estar fuertemente corroídos. Aparecen asociados a texturas y estructuras telogenéticas, lo que induce a pensar que su origen también debe ser telogenético, relacionado con la disolución por aguas meteóricas de posibles niveles de sulfatos intercalados en las dolomías. Así, pues, aunque los cuarzos idiomorfos sean indicadores de facies salinas (GRIMM, 1962), su origen no tiene por qué ser siempre eogenético.

### c) *Masas irregulares de cuarcina y cuarzo*

Con una asociación muy similar a la de los cuarzoes euhedrales aparecen rara vez masas irregulares de cuarcina y cuarzo, pudiendo representar las primeras, según FOLK y PITTMAN (1971), sulfatos preexistentes silicificados. Por razones similares a las del apartado anterior les asignamos un origen telogenético.

### d) *Crecimientos sintaxiales*

Tanto en los niveles detríticos intercalados en el Muschelkalk, como en los de tránsito al Buntsandstein, los granos detríticos de cuarzo presentan frecuentes crecimientos secundarios sintaxiales del mismo mineral. Posteriormente los granos han sido cementados por dolomita ferrosa. El recrecimiento lo consideramos eogenético, probablemente coetáneo con la formación de los nódulos de sílex.

## V. OTROS PROCESOS DIAGENÉTICOS

### a) *Procesos eogenéticos*

Los sedimentos del Muschelkalk presentan características que indican la existencia de procesos eogenéticos muy tempranos debidos a la actividad orgánica.

Son bastante frecuentes las estructuras biogénicas (fósiles traza) en general intraestratales, tanto de nutrición (fodinichnia) como de habitación (domichnia).

Muchos de los fósiles traza horizontales presentan secciones casi circulares, lo que parece indicar que los procesos postdeposicionales de compactación tuvieron poca importancia.

La bioturbación se manifiesta también por la aparición de un moteado difuso, visible fundamentalmente en los materiales calcáreos.

La existencia de pellets fecales en ciertos estratos constituye también una prueba indirecta de la existencia de actividad orgánica.

La mayoría de las partículas esqueléticas encontradas presentan envueltas micríticas que deben su origen a la actividad de algas (y/o hongos) endolíticas. La anchura de estas envueltas es escasa, no sobrepasando en general las 10 micras. En muchos casos las envueltas micríticas han conservado su textura después de los procesos de dolomitización y recristalización, permitiendo reconocer el contorno de las primitivas partículas esqueléticas.

Dentro de los procesos eogenéticos tempranos podemos incluir la formación de grietas de desecación, de «bird-eyes» y de minerales evaporíticos (yeso, anhidrita y halita).

Son poco frecuentes las superficies endurecidas y ferruginizadas, habiéndose observado únicamente en las zonas de borde.

El estudio de los restos esqueléticos de gasterópodos, muy frecuentes en algunos niveles de la base del Muschelkalk-3, indica que en dichos restos la transformación de aragonito se realizó por disolución y posterior relleno de la cavidad por un cemento, dominando el tipo 2 de la terminología de DOOP (1966), lo cual implica la existencia de un cierto grado de litificación en el

sedimento en el momento de producirse la transformación. El cemento que rellena las cavidades es dolomítico y muestra el típico aumento de tamaño de los cristales de las paredes al centro.

#### b) *Procesos mesogenéticos*

Estos procesos son los menos conocidos, aunque entre ellos podemos incluir la cementación por calcita ferrosa que muestran algunos poros eogenéticos, cuyas paredes presentan una primera generación de cemento dolomítico atribuible a la segunda etapa de dolomitización.

La formación de microestilolitos, en general no muy numerosos, puede considerarse como otro proceso de esta etapa mesogenética.

#### c) *Procesos telogenéticos*

El proceso telogenético más frecuente es el de la dedolomitización, que afecta principalmente a los estratos situados en las proximidades del Keuper o del Muchelkalk-2, aunque su importancia cuantitativa es pequeña. Como consecuencia se originan fundamentalmente texturas pseudoesparíticas de dedolomitización centrípeta producidas por la acción de soluciones sulfatadas.

Ocasionalmente aparecen zonas de brechas relacionadas posiblemente con la disolución por aguas meteóricas de niveles evaporíticos preexistentes intercalados en los carbonatos. En Albarracín, al techo del Muschelkalk-3, existe un nivel bastante potente de estas brechas (HINKELBEIN, 1969), que por lo general van acompañadas de texturas de dedolomitización y silicificaciones tardías.

La disolución de cristales de sulfatos incluidos en las dolomías origina la aparición de una porosidad de tipo móldico, modificada por disolución, bastante desarrollada en estos materiales.

En algunos moldes y fracturas aparece un sedimento interno arcilloso, geopetal postectónico, que es posterior al cemento dolomítico telogenético y anterior al último cemento encontrado, que es de naturaleza calcítica. Este cemento se presenta rellenando diferentes tipos de poros.

## VI. DIAGÉNESIS DE LOS NIVELES DETRÍTICOS

Hacia la base del Muschelkalk-1 de la zona estudiada aparecen intercalaciones de areniscas cementadas por carbonatos. Asimismo, en el Muschelkalk-3, en la parte inferior dolomítica, y en menor proporción en la superior margo-dolomítica, existen niveles de esta misma naturaleza, siendo más frecuentes hacia las áreas más occidentales (zonas de borde).

Se trata de areniscas feldespáticas similares a las del Buntsandstein (GARCÍA et al., 1976), de las que se diferencian básicamente por la ausencia de película ferruginosa alrededor de los granos.

El primer proceso diagenético reconocido en estos materiales es el recrecimiento sintaxial de los granos de cuarzo y feldespato, que originan texturas de contactos en general rectos entre los cristales. Estas silicificaciones y feldespatizaciones debieron ser eogenéticas, como lo prueban las relaciones texturales.

Desde el momento en que se depositan los componentes detríticos, los elementos más lábiles comienzan a alterarse y originan una epimatriz que se



suma a la escasa matriz primaria. Este proceso puede continuar hasta que se produce la cementación total de la roca.

El cemento de estos materiales está constituido por dolomita, en ocasiones ferrosa, que corroe tanto los granos detríticos como sus crecimientos secundarios. Por último, se forma calcita en procesos de dedolomitización telogénica.

Como resumen, y para una mejor visualización, en la figura 2 hemos representado la distribución temporal de los procesos y resultados de la diagénesis.

PROCESOS Y RESULTADOS	EOGENESIS	MESOGENESIS	TELOGENESIS
Estructuras biogénicas	-----		
Grietas desecación	-----		
Microestilolitos		-----	
Brechas disolución			-----
Micritización	-----		
Trans. aragonito gasterópodos	-----		
Formación minerales evaporíticos	-----		
Formación epimatriz	-----	-----	
Sedimento interno			-----
Dolomitización	-----	-----	-----
Cemento dolomita		-----	-----
Cemento dolomita ferrosa		-----	
Cemento dolomita zonada			-----
Cemento calcita "blocky"			-----
Cemento calcita ferrosa		-----	
Recristalización dolomita		-----	-----
Dedolomitización			-----
Nódulos sílex	-----		
Cuarzos euhedrales		-----	-----
Masas cuarcino-cuarzo			-----
Recrecimiento cuarzo	-----	-----	
Recrecimiento feldespato	-----	-----	

Fig. 2. Distribución temporal de los procesos y resultados diagénéticos

## BIBLIOGRAFIA

- BADIOZAMANI, K. (1973): The Dorag dolomitization model-application to the Middle Ordovician of Wisconsin. *J. Sed. Petrol.*, 43: 715-723.
- DODD, J. R. (1966): Processes of conversion of aragonite to calcite with examples from the Cretaceous of Texas. *J. Sed. Petrol.*, 36: 733-741.
- FOLK, R. L. and PITTMAN (1971): Length-slow chalcedony: a new testament for vanished evaporites. *J. Sed. Petrol.*, 41: 1045-1058.
- FREEMAN, T. (1972): Sedimentology and dolomitization of Muschelkalk carbonates (Triassic), Iberian Range, Spain. *Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull.*, 56: 434-453.
- FÜCHTBAUER, H. and GOLDSCHIMIDT, H. (1965): Beziehungen zwischen Calciumgehalt und Bildungsbedingungen der Dolomite. *Geol. Rundsch.*, 55: 29-40.
- GARCÍA, M. C.; LUCAS, J., DE LA PEÑA, J. A. y MARFIL, R. (1976): La cuenca Triásica de la rama castellana de la Cordillera Ibérica. I Petrografía y Mineralogía. *I Coloquio de Estratigrafía y Paleografía del Trias y Pérmico en España*.
- GRIMM, W. D. (1962): Idiomorphe quarze als Leitminerale für saline Fazies. *Erdöl und Kohle-erdgas-petrochemie*, 15 Jahrg, 11: 880-887.
- HINKELBEIN, K. (1969): El Triásico y Jurásico de los alrededores de Albarracín. *Separata de Teruel*, 41: 36-75.
- MALLADA, A. (1902): Explicación del Mapa Geológico de España. *Mem. Com. Map. Geol. España*, t. IV. Sistemas Permiano, Triásico, Liásico.
- MELÉNDEZ, F. (1971): Estudio geológico de la Serranía de Cuenca en relación a sus posibilidades petrolíferas. *Publicaciones de la Facultad de Ciencias*, Madrid. Serie A, números 153-154: 245.
- PEÑA, J. A. DE LA (1972): Estudio petrogenético del Muschelkalk de la Cordillera Ibérica. *Est. Geol.*, 28: 219-266.
- VIRGLI, C. (1958): El Triásico de los Catalánides. *Bol. del Inst. Geol. Min. Esp.*, t. LXIX: 856.