

## Nanofacies de los sedimentos terciarios de las béticas

J.A. CURTO e I. MATÍAS

Departament de Geologia Dinàmica, Geofísica i Paleontologia, Universitat de Barcelona. 08028 Barcelona

### RESUMEN

Diferenciamos en los sedimentos marinos del Oligoceno superior-Mioceno superior de las Béticas («moronitas») cinco nanofacies: de diatomeas aciculares, biogénica, coccolítico-detritica, espicular-coccolítico-detritica y detritica. Establecemos las relaciones existentes entre ellas discutiendo su origen y formación.

*Palabras clave:* Nanofacies. Laminación. Fitoplancton. Cenozoico. Béticas.

### ABSTRACT

The marine sedimentation during the late Oligocene and Miocene at the Nord-Betic Strait was characterized by its high biogenic content. We have established five nanofacies: of aciculate diatoms, biogenic, coccolithic-detritic, spiculithic-coccolithic-detritic and detritic. The origin of these nanofacies and of the laminated sediments produced by alternating diatomitic and biogenic laminae is discussed. We postulate that the arrhythmic non seasonal productivity changes and the anoxic depositional environment were the most important factors controlling the formation of the laminated sediments.

*Key Words:* Nannofacies. Lamination. Phytoplankton. Cenozoic. Beticas.

### INTRODUCCIÓN

Los sedimentos marinos del Oligoceno y Mioceno de las cuencas intramontañosas de las Béticas y del Guadalquivir presentan en algunas zonas la peculiaridad de contener gran cantidad de diatomeas. Estos materiales de color blanquecino-amarillento se conocen con el término de moronitas o albarizas, siendo en general este término interpretado como marga diatomífera. Sin embargo ha sido asignado tanto a margas blanquecinas con

gran contenido de microfósiles como a margas del mismo color pero sin microfósiles silícicos o estériles (Robaux, 1938; Colom y Gamundí, 1951). San Miguel (1976) propuso rectificar la definición del término moronita y restringirlo a la alternancia de diatomitas, margas con coccolitos y arenas de grano muy fino. El presente trabajo se ha concebido con la idea de aportar nuevos datos sobre la textura y composición de los sedimentos blanquecinos terciarios de las cuencas Béticas. Para este fin se ha procedido al estudio de la naturaleza y disposición íntima de los elementos constitutivos de los sedimentos a escala de micrones (nanofacies, Noël, 1967).

### SITUACIÓN GEOGRÁFICA Y GEOLÓGICA

Se han estudiado 400 muestras recogidas de 126 afloramientos distribuidos desde Sanlúcar de Barrameda (Cádiz) hasta Pollença (Mallorca), abarcando desde el Oligoceno Superior al Mioceno Superior.

La asignación cronoestratigráfica de las muestras se ha realizado a partir del estudio sistemático de los silicoflagelados. Esta y la localización geográfica de los afloramientos se encuentran detallados en Curto (1986).

### METODOLOGÍA

A partir del análisis de todas las muestras en microscópio óptico se han seleccionado las más representativas para el estudio de la nanofacies. Esta se ha de estudiar con microscopio electrónico sobre una fractura fresca

de la muestra obtenida por golpe seco. La superficie así resultante no ha de ser manipulada a fin de evitar su contaminación. Asimismo se ha de procurar que sea lo más plana posible, ya que si queda muy irregular la muestra se sobrecarga eléctricamente en las partes más elevadas, dificultando su observación. Se han obtenido superficies bastante planas por criofracturación. Para ello se coloca la muestra sobre dos soportes dentro de un recipiente de porex lleno de nitrógeno líquido y se fractura en él una vez congelada. Posteriormente se deposita la muestra en un recipiente con un medio deshidratante y se cierra herméticamente hasta su completa descongelación.

## NANOFACIES

Se han podido diferenciar los siguientes tipos de nanofacies: de diatomeas aciculares, biogénica, cocolítico-detrítica, espicular-cocolítico-detrítica, detrítica.

### *Nanofacies de diatomeas aciculares*

Se compone en un 80-90% de diatomeas planctónicas pennales, prácticamente monoespecíficas, de forma acicular de gran longitud. Se han podido medir fragmentos de más de 150  $\mu$  (fig. 1). El resto lo constituyen algunos cocolitos, silicoflagelados y en menor cantidad restos de diatomeas centrales y radiolarios. Macroscópicamente se presentan en láminas y lentejones, siendo las primeras las más abundantes.

Las diatomeas están colocadas siguiendo la superficie de deposición, que puede ser netamente horizontal o presentar diferentes tipos de abombamientos y ondulaciones. Su espesor puede oscilar entre unos pocos milímetros y una decena de centímetros. La textura es muy porosa y debido al entrelazado de las tecas los niveles presentan una gran consistencia y ductilidad, reflejándose estas características en el campo por un mayor resalte respecto a los otros niveles.

Las láminas más finas pueden presentar diferentes variaciones geométricas, adelgazamientos, desapariciones laterales, inclusiones lentiformes de otros niveles, etc. En algunos casos se intercalan acumulaciones ferrosas que dan un color salmón a los niveles diatomíticos.

De las localidades estudiadas, las de Sanlúcar de Barrameda (Cádiz) y Sierra Columbares (Murcia) son las que contienen mayor cantidad de niveles de diatomitas en un afloramiento reducido, siendo en la primera donde existen los mayores grosores. También se encuentran

en Aguilar (Córdoba), Porcuna (Jaén), Jerez de la Frontera (Cádiz), perteneciendo todos ellos al Mioceno Superior.

### *Nanofacies biogénica*

Se componen en un 70-90% de restos esqueléticos pertenecientes en su mayoría a diatomeas centrales, diatomeas pennales, nanoplacton calcáreo, radiolarios, espículas de esponja, dinoflagelados silícicos, silicoflagelados, ebríaceas, arqueomonas, fitolitos, foraminíferos. Las láminas de arcilla constituyen principalmente la parte inorgánica, si bien algunas veces es importante la presencia de cristales de yeso. Todos estos componentes pueden agruparse en tres fracciones: la más pequeña está formada por nanoplacton calcáreo, fragmentos esqueléticos comprendidos aproximadamente entre 1 y 25  $\mu$ , y en poca proporción láminas de arcilla. La fracción intermedia está integrada por diatomeas pequeñas, silicoflagelados, microscleras y fragmentos esqueléticos comprendidos entre 25 y 100  $\mu$ . La fracción de mayor tamaño se compone de las diatomeas grandes, radiolarios, megascleras y foraminíferos (figs. 2, 3).

Cada una de estas fracciones engloba a la siguiente, siendo la fracción más pequeña la más abundante. Normalmente estas tres fracciones constituyen la totalidad del sedimento, si bien pueden actuar a su vez de matriz de elementos de mayor tamaño más o menos dispersos.

Hemos encontrado acumulaciones diferenciales: de una fracción determinada, de un tipo de microfósiles (diatomeas centrales grandes, perpendiculares a la superficie de deposición), o de una conservación preferencial (cocosferas). Los límites son poco precisos y de difícil correlación con variaciones macroestructurales.

La nanofacies biogénica constituye sedimentos de color blanquecino-amarillento, laminados o masivos. Se encuentran muy extendidos en toda la zona estudiada: Morón de la Frontera (Sevilla), Pego (Alacant), Baeln (Córdoba), entre otros, y se distribuyen desde el Oligoceno Superior hasta el Mioceno Superior.

### *Nanofacies cocolítico-detrítica*

Esta nanofacies se caracteriza por la ausencia de cualquier tipo de elemento biogénico silíceo (fig. 5). Está compuesta principalmente por nanoplacton calcáreo y partículas detríticas, encontrándose ambos en proporciones muy variadas, desde constituir el nanoplacton

calcáreo la exclusividad del sedimento (Vera, Almería) a ser casi accesorio (Sineu, Mallorca). Esta nanofacies forma depósitos masivos y laminados de color grisáceo claro con una amplia distribución.

#### *Nanofacies espicular-cocolítica-detrítica*

Se diferencia del nivel anterior por la presencia en cantidades variables de espículas de esponja, siendo éste el único elemento biogénico silícico importante (fig. 8).

Forma principalmente depósitos masivos de color grisáceo. Su distribución es más restringida que la de las nanofacies anteriores (Moixent, Alacant).

#### *Nanofacies detrítica*

Se caracteriza por la ausencia de elementos biogénicos. Puede estar compuesta de arcillas (Sierra Columbares, Murcia, fig. 6) cristales pequeños de calcita (Cacin, Murcia) entre otros. El color del sedimento varía de blanco a gris oscuro y su disposición tanto puede ser masiva como laminada.

### SUCESIÓN DE NANOFACIES

Estas nanofacies constituyen en general sedimentos blanquecinos de granulometría muy fina de difícil diferenciación en el campo. Solamente se han encontrado sucesiones de materiales claros amarillentos (nanofacies biogénica) con niveles porosos completamente blancos (nanofacies de diatomeas aciculares), siendo ocasional la aparición de pasadas más oscuras (nanofacies detrítica). Las alternancias, de 1 a 3 metros de espesor, se encuentran depositadas sobre sedimentos de nanofacies biogénica (Sanlúcar de Barrameda) o espicular-cocolítica-detrítica (Sierra Columbares), estando compuesto sus techos por la nanofacies biogénica. A su vez todo este conjunto se encontraría dentro de una sedimentación margosa (Montenat, 1973; Rouchy, 1982) que posiblemente estaría constituida por una nanofacies cocolítica-detrítica.

La nanofacies de diatomeas aciculares es la única que siempre se encuentra asociada a otra nanofacies (n. biogénica), el resto se presentan normalmente formando paquetes de una misma composición.

Las asociaciones de silicoflagelados encontradas en los niveles de las alternancias no presentan diferencias excesivas, solamente en Sierra Columbares los silico-

flagelados de las diatomitas reflejan una paleotemperatura inferior a los del nivel biogénico (Curto, 1986).

Si comparamos las asociaciones de nanoplancton de las nanofacies biogénicas, espicular-cocolítico-detrítica y cocolítico-detrítica, no se aprecian diferencias claras respecto a diversidad y abundancia. Siendo la nanofacies biogénica (Sanlúcar de Barrameda) tan rica y diversificada en nanoplancton calcáreo como la nanofacies cocolítico-detrítica (Vera, Almería).

### GÉNESIS DE LAS NANOFACIES

Las asociaciones micropaleontológicas en las distintas nanofacies son predominantemente planctónicas. En el caso de las nanofacies biogénicas y espicular-cocolítico-detrítica el componente bentónico siempre está presente siendo las espículas de esponja las más continuamente representadas. En la nanofacies de diatomeas aciculares y en aquellas cocolítico-detríticas en que el nanoplancton calcáreo constituyen más del 90% del sedimento, el transporte gravitacional es el factor predominante en la deposición. En el resto de las nanofacies se encuentra una pequeña fracción procedente de variados ambientes: terrestres (fitolitos), aguas dulces (diatomeas), etc., que indicarían la intervención ocasional de otros tipos de transporte.

La gran abundancia y amplia distribución de las asociaciones fitoplanctónicas silícicas en el área estudiada permiten suponer que las biocenosis que representan vivían en aguas de gran productividad, hecho que quedaría reflejado tanto en la formación de la nanofacies biogénica como en los niveles alternantes. En las zonas alejadas del aporte masivo de nutrientes las asociaciones fitoplanctónicas estarían compuestas por nanoplancton calcáreo que formarían las nanofacies espicular-cocolítico-detrítica, cocolítico-detrítica y detrítica dependiendo de la profundidad del fondo, disolución del componente calcáreo, etc.

La clara diferenciación entre la nanofacies de alternancias indica además que intervinieron otros factores. Estos pudieron ser debidos a transportes preferenciales o variaciones en la productividad, si bien no creemos que el primero sea predominante ya que las diatomeas de la diatomita se encuentran abundantemente en la nanofacies biogénica.

Las alternancias podrían ser originadas por dos tipos de variaciones en la productividad:

— Que el par de niveles, nanofacies de diatomeas aciculares-nanofacies biogénica, refleje la sucesión de comunidades planctónicas observadas en los «bloom»

actuales. En este caso cada par se habría depositado en un tiempo corto. Si éste fuera el origen de la alternancia creemos que tendría que existir una mayor regularidad en el espesor de los niveles, mientras que éste es muy variable.

— Que la nanofacies de diatomeas aciculares refleje un «bloom» excepcional mientras que la nanofacies biogénica corresponda a la productividad normal de la cuenca. El hecho de que la diatomita sea monoespecífica podría explicarse de dos maneras: a) Que en ella hayan desaparecido los componentes calcáreos debido a la alta productividad, que favoreciera su disolución en el fondo de la cubeta. (Schrader *et al.*, 1983). b) Que la diatomita indique el desarrollo de una especie oportunista (máxima cantidad de nutrientes), mientras que la sucesión de comunidades planctónicas posteriores a esta explosión quedarían englobadas dentro del nivel biogénico (acumulaciones de cocosferas, acumulaciones de diatomeas centrales y radiolarios).

El tiempo de deposición de la diatomita sería corto y el de la nanofacies biogénica podría reflejar lapsos de tiempo mayores.

La existencia de sedimentos compuestos por nanofacies biogénica sin niveles diatomíticos o con pasadas ocasionales (sedimentos no alternantes) nos indicaría: una ausencia más o menos prolongada de los aportes extraordinarios de nutrientes o una removilización biogénica o mecánica de la hipotética alternancia. Estos sedimentos pueden presentarse perfectamente laminados o masivos siendo la disposición de los elementos, en los dos casos, bastante anárquica, quizás favorecida por una mayor presencia de fragmentos esqueléticos.

La coexistencia de laminación y mezcla de los componentes se podría explicar por la simple deposición de los esqueletos. Así, los coccolitos tienen una rápida velocidad de deposición (150 m/día; Honjo, 1976) mientras que los silicoflagelados caen más lentamente (1 km/año, Poelchau, 1974). Esto se traduciría en el sedimento por una mezcla total de los componentes, alterando las posibles sucesiones biocenóticas. El esquema quedaría aún más reforzado de existir un transporte importante por pelets fecales (deposición rápida y mezcla digestiva).

En realidad los sedimentos biogénicos originados en las áreas actuales de afloramiento de nutrientes tienen una constitución muy parecida a la nanofacies biogénica aquí definida (Schrader *et al.*, 1986). Posiblemente por esta causa y por la abundancia de diatomeas de aguas frías (diatomeas aciculares), Beggren *et al.* (1976) al estudiar los microfósiles de los sedimentos del Cervo (Cádiz) dedujeron que la génesis de estos materiales serían parecidos a los de la costa californiana («upwelling»). Pero este modelo sólo sería correcto para explicar la génesis de la nanofacies biogénica, ya que las alternancias allí encontradas corresponden a sucesiones varváticas de niveles orgánicos/inorgánicos (Calvert, 1966).

El modelo de formación de la alternancia sería más semejante al descrito por Pedersen (1981) en el Paleógeno de Dinamarca, donde los niveles están constituidos por diatomitas centrales, niveles ricos en todo tipo de microfósiles silíceos y niveles de cenizas volcánicas.

La presencia de diatomitas monoespecíficas en las Béticas no es única en el área mediterránea. Se han en-

#### LAMINA I

Figura 1. - Nanofacies de diatomeas aciculares Sanlúcar de Barrameda, 84S1B (Cádiz).

Figuras 2 y 3. - Nanofacies biogénica, Sanlúcar de Barrameda, 70S1B 6-7 (detalle mostrando las tres fracciones).

Figura 4. - Nanofacies de diatomeas centrales El Ghomri, cuenca del Chelif, A70 (Argelia)\*

Figura 5. - Nanofacies coccolítico-detrítica El Ghomri, cuenca del Chelif, A71 (Argelia)\*.

Figura 6. - Nanofacies detrítica Sierra Columbares, 10Sc (Murcia).

Figura 7. - Zona de contacto entre la nanofacies de diatomeas aciculares con la nanofacies biogénica Sanlúcar de Barrameda, 70S1B 9-10.

Figura 8. - Nanofacies espicular-coccolítico-detrítica (microscópico óptico), Moixent 208 M×B (Alacant).

(Barra fig. 1,2 aprox. 20  $\mu$ ; fig. 3, 4, 8 aprox. 10  $\mu$  fig. 5, 6, 7 aprox. 5  $\mu$ )

\* Muestras cedidas por el Dr. J.M. Rouchy.

#### PLATE I

Figure 1. - Nannofacies of aciculate diatoms.

Figures 2 and 3. - Biogenic nannofacies (detail showing the three fractions).

Figure 4. - Nannofacies of centric diatoms.

Figure 5. - Coccolithic-detrritic nannofacies.

Figure 6. - Detritical nannofacies.

Figure 7. - Contact zone between nannofacies of aciculate diatoms and biogenic nannofacies.

Figure 8. - Spiculithic-coccolithic-detritic nannofacies.

(Some 20  $\mu$  scale in figs. 1, 2; some 10  $\mu$  scale in figs. 3, 4, 8; some 5  $\mu$  in figs. 5 to 7)

\* Samples delivered by Dr. J. M. Rouchy.



1



2



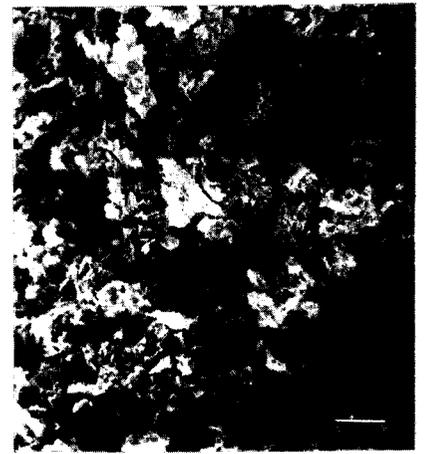
3



4



5



6



7



8

contrado diatomitas compuestas de diatomeas centrales en Argelia (Rouchy, 1982; El Ghomri, cuenca del Chelif, observación personal, fig. 4) y de diatomeas penales, en la cuenca de Psematismenos, Chipre (Rouchy, 1982). Esta amplia distribución geográfica en una cuenca como el Mediterráneo refuerza la idea de incrementos poligenéticos de nutrientes (turbulencia, aportes fluviales, topografía de la cuenca, etc., Rouchy 1982).

La conservación de la alternancia podría ser debida a una baja densidad de la infauna o a las condiciones anóxicas del fondo de la cubeta. La existencia de niveles finos de límites muy precisos (fig. 7), junto con la presencia de nódulos oxidados de sulfuro de hierro nos inclina por la segunda posibilidad. El mismo depósito masivo del fitoplancton ocasionaría una gran acumulación de materia orgánica favoreciendo la anoxia de la cubeta. Las corrientes de fondo serían inexistentes o insignificantes. La presencia de espículas de esponja se explicaría por corrientes situadas en capas de aguas superiores depositándose posteriormente por gravedad.

## CONCLUSIONES

El estudio del sedimento con microscopio electrónico de barrido y microscopio óptico se ha revelado particularmente útil en el reconocimiento de la disposición y composición de las nanofacies cenozoicas de las Béticas. Sobre este punto se propone restringir el término de moronitas o albarizas a los sedimentos constituidos casi exclusivamente por esqueletos silíceos y calcáreos pertenecientes al fitoplancton. De aceptar esta premisa la distribución de las moronitas abarcaría desde el Oligoceno Superior hasta el Mioceno Superior mientras que las diatomitas podrían estar más localizadas en el Mioceno Superior. En todo caso ambas nanofacies reflejan la gran productividad que tuvieron estas cuencas durante el Oligoceno y Mioceno. En las áreas más alejadas del «bloom» se depositarían los sedimentos constituidos por las nanofacies espicular-cocolítico-detrítica, cocolítico-detrítica y detrítica. El origen de las diatomitas reflejaría aún condiciones más excepcionales de productividad (turbulencia, aportes fluviales, etc.) mientras que los sedimentos constituidos por la nanofacies biogénica se habrían originado debido a la rica productividad de la zona (*upwelling*).

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos la colaboración del Servicio de Microscopía Electrónica de la Universidad de Barcelona, sin la cual no se hubiera podido llevar a término este trabajo y también a la Srta. M. Mora por la mecanografía de este manuscrito.

## BIBLIOGRAFÍA

- BERGGREN, W.A., BENSON, R.H., HAQ, B.U., RIEDEL, W.R., SANFILIPPO, A., SCHRADER, H. y TJALSMA, R.C., 1976: The El Cuervo section (Andalusia, Spain): Micropaleontologic anatomy of an early late Miocene lower bathyal deposit. *Marine Micropal.*, 1 (3): 195-262.
- CALVERT, S.E., 1966: Origine of diatom rich varved sediments from the Gulf of California. *Journal Geol.*, 74 (5-1): 546-565.
- COLOM, G. y GAMUNDI, J., 1951: Sobre la extensión e importancia de las «moronitas» a lo largo de las formaciones aquitano-burdigalienses del estrecho nort-bético. *Estudios Geológicos*, 14: 331-386.
- CURTO, J.A., 1986: *Els Silicoflagel·lats del Terciari de les Bètiques*: Tesis Doc. Univ. de Barcelona (ined), 640 p.
- HONJO, S., 1976: Production, transportation and sedimentation of coccolith. *Marine Micropal.*, 1 (1): 65-81.
- MONTENAT, C., 1973: *Les formations néogènes et quaternaires du Levant espagnol*. Thèse Doc. État. Univ. Paris-Sud (ined), 1170 p.
- NOËL, D., 1967: Étude des coccolithes *in situ* dans les roches: La notion de nanofacies. in Brönnimann et Renz, eds. *Proc. of the First International Conference of Planktonic Microfossils*, V. II, pp. 486-491.
- PEDERSEN, G.K., 1981: Anoxic events during sedimentation of a paleogene diatomite in Denmark. *Sedimentology*, 28: 487-504.
- POELCHAU, H.S., 1974: Holocene silicoflagellates of the North Pacific. Their distribution and use for paleotemperature determination. Ph. D. dissertation. Univ. California San Diego, Scripps Inst. Oceanogr., 165 p.
- ROUCHY, J.M., 1982: La genèse des évaporites messiniennes de Méditerranée. *Mémoires du Muséum Nat. d'Hist. Naturelle Nov. Sér. S.C.*, 50: 265 p.
- ROBAUX, A., 1938: Les marnes blanches aquitanniennes de Sanlúcar de Barrameda (prov. de Cádiz). *Bull. Soc. Geol. France*, 5<sup>ème</sup> sér., 8: 697-718.
- SAN MIGUEL, M., 1976: *Estudio del Nanoplancton Calcáreo del Estrecho Nort-Bético*. Tesis Doc. Univ. Complutense de Madrid (ined), 333 p.
- SCHRADER, H., CHENG, G., MAHOOD, R., 1983: Preservation and dissolution of foraminiferal carbonate in an anoxic slope environment, Southern Gulf of California. *Utrecht Micropaleontological Bulletins*, 30: 205-227.
- SCHRADER, H., PISIAS, N., CHENG, G., 1986: Seasonal variation of silicoflagellates in phytoplankton and varved sediments in the Gulf of California. *Marine Micropaleontology*, 10 (1-3): 207-233.