

MICROSTRUCTURES DELS FORAMINÍFERS

Josep Serra i Kiel
Depart. de Paleontologia de
la Universitat de Barcelona

Abans de començar amb les microstructures dels foraminífers farem una breu exposició de la història i els problemes de la classificació sistemàtica d'aquests animals, ja que aquests problemes estan molt relacionats amb els aspectes microestructurals.

La primera referència a la seva sistemàtica es deu a De Blainville qui, el 1825, basant-se en l'aspecte morfològic de la closca i des d'un punt de vista sistemàtic, els situa entre els cefalòpodes. Un any més tard D'Orbigny, desenvolupa una nova classificació en set ordres, basant-se en la morfologia externa i en la disposició de les cambres. El 1854, Schultze fa una distinció entre closques politàlames i monotàlames, és a dir, amb una sola cambra o amb diverses cambres.

No és fins a SCHROCH & TWENHOFEL (1953), que hom postula dos principis bàsics a tenir en compte en la classificació:

- 1) Cada grup d'organismes ha evolucionat a través del temps geològic sofrint modificacions acumulatives en el procés, i n'ha resultat així una successió de formes en el temps.
- 2) Hi ha dos tipus d'evolució:

Organisme simple-----	Organisme complex-----	Organisme especialitzat
Organisme simple-----	Organisme complex-----	Organisme degenerat

Segons aquests autors, les característiques més importants per a l'elaboració d'una classificació de foraminífers són:

- 1) La naturalesa de la paret de la closca, és a dir, la microestructura.
- 2) La morfologia de la closca.
- 3) La posició i tipus d'obertura.

Finalment LOEBLICH & TAPPAN (1964), per fer una classificació de foraminífers, es fonamenten tant en el contingut cel·lular com en les característiques de la closca. La classificació d'aquests autors es basa, doncs, en la microestructura de la paret, perquè aquesta depèn directament del citoplasma secretor.

La importància d'aquest caràcter utilitzat per Loeblich i Tappan radica en el fet que és poc adaptatiu i es troba directament condicionat per un sistema de gens.

L'adaptivitat de la morfologia grollera i, per tant, la seva manca de valor sistemàtic per a les categories superiors dels foraminífers, va ser provada per LIPPS (1966), en els foraminífers planctònics, en veure que la resistència que presenta l'animal a enfonsar-se està en funció de la densitat de l'organisme i de l'aigua i de la resistència que presenta ell mateix. Aquesta resistència està en funció del quocient de la superfície de l'animal per la seva massa total. Alehores uns certs caràcters, així com el volum, l'ornamentació i el gruix de la closca, igual que el nombre de porus per unitat de superfície, són variables segons la seva adaptació a la flotació.

Així, per exemple, l'increment de la salinitat que implica una major densitat, provoca en l'animal una disminució del nombre de foràmens i redueix la superfície de massa citoplasmàtica externa (pseudòpodes) pel fet que poden disminuir la seva resistència a enfonsar-se. La classificació de grups taxonòmics a través dels caràcters externs ha conduït a confondre i barrejar grups taxonòmics de foraminífers planctònics (sobretot a nivell de família) diferents, però que poden presentar una convergència morfològica quan varien les condicions ambientals. En canvi, es poden agrupar molt bé per microstructures.

Veiem, doncs, que els caràcters utilitzats fins ara en la sistemàtica del grup són molt adaptatius i ens obliguen a recórrer directament a caràcters relacionats amb el citoplasma i amb tota la independència possible de l'ambient. Aquest és el cas de la microestructura de la closca.

En funció d'aquestes microstructures, LOEBLICH & TAPPAN (1964) varen definir els següents ordres:

- Allogromiina*.....closques membranoses i pseudoquitinoses
- Textulariina*.....aglutinades
- Fusulinina*.....calcàries microgranulars
- Miliolina*.....calcàries aporcellanades
- Rotaliina*.....calcàries hialines perforades

Passem a continuació a la descripció dels diversos tipus de closques establerts per aquests autors, segons la seva composició química i la microestructura de la paret:

Tipus 1er. Closques pseudoquitinoses

El trobem en les formes més primitives, i és format per compostos cornis molt anàlegs a la quitina en comportament, si bé químicament no hi tinguin res a veure. Quasi sempre es tracta de mucoproteïnes, és a dir, proteïnes en què el grup prostètic és un sacàrid. Es troba una capa basal semblant en closques hialines, aporcellanades i aglutinades que veurem més endavant.

Tipus 2on. Closques aglutinades

El foraminífer va atrapar materials, estranys a ell, que es troben en el fons i els va aglutinant mitjançant un ciment. El gra depèn, en part, del substracte on viu l'organisme, així com de la selecció que en fa aquest, segons la densitat dels grans, la textura de la superfície dels mateixos, etc. El quars i els materials pesants són molt utilitzats. Tanmateix, aquesta selecció pot ésser variable, i no sembla aconsellable utilitzar-la com un element sistemàtic. Moltes vegades l'animal utilitza llim carbonàtic que arriba a ésser molt difícil de distingir del seu propi ciment. Alguns foraminífers seleccionen els grans segons la forma. Així, per exemple, algunes espècies agafen espícules d'esponges. Unes altres espècies orienten els grans de maneres característiques; per exemple, *Batisiphon* orienta fibres de rutil aliniades perpendicularment. També es poden trobar en el mateix biòtop diferents selectivitats; és el cas de *Textularia* en el cretaci. Quant a la naturalesa del ciment, pot ésser orgànic, calcari, silícic, ferruginós, etc. Hom ha vist que aquest ciment té tubuladures fines de 1 a 4 micres de diàmetre. Experimentalment també s'ha comprovat que una espècie pot aglutinar grans de substàncies artificials.

Tipus 3er. Closques aporcellanades

Es tracta de parets calcàries opaques, amb aspecte de porcellana, de color àmbar o marró, que quan les mirem amb llum reflectida es veu que, generalment, tenen la paret imperforada. Una excepció n'és *Peneroplis*, que té la cambra embrionària perforada i la part adulta imperforada. Per difracció de raigs X, hom ha demostrat que és una estructura formada per calcita, amb una petita proporció de carbonat magnèsic que augmenta progressivament en aigües càlides. La fixació del magnesi sembla que depèn de la mineralogia de l'esquelet, la temperatura de l'aigua i el nivell filogènic de l'organisme. La paret aporcellanada és formada per cristalls equidimensionals sense orientacions gaire definides i que són fàcilment recristallitzables i augmenten dèbilment el volum. Uns exemples de foraminífers amb aquesta microestructura són els de l'ordre *Miliolina* (miliòlids, alveolines, etc.).

Tipus 4art. Closques microgranulars

Aquest tipus de microestructura és pròpia de les superfamílies paleozoiques de closca calcària. Són cristalls de calcita molt petits, equidimensionals, subrectangulars i compactes. Aquests cristalls són del mateix volum en formes procedents de diferents localitats en què la matriu carbonàtica és de dimensions diferents, cosa que sembla indicar que la closca no es forma per aglutinació d'aquesta matriu. Pot haver-hi una pseudo-fibrositat resultant d'una alineació regular dels grans. La paret pot ésser formada per més d'una capa en què s'alternen els aspectes microgranulars amb els pseudofibrosos.

Els microforaminífers paleozoics s'han dividit en sis grups d'acord amb aquestes microestructures:

- 1) Parets fosques microgranulars amb grans molt petits i perforacions molt fines.
- 2) Parets grogues amb grans allargats i petits; donen fibrositats que alternen amb capes de grans grossos, a vegades angulosos.
- 3) Parets granulars amb ciment calcari.
- 4) Parets força perforades amb porus simples o dendrítics i amb la possible existència de material aglutinant.
- 5) Parets perforades hialines amb estructura radial que a vegades pot tenir una capa interna fosca.
- 6) Parets microgranulars grises, groguenques o tirant a marró.

Els tipus 1,5 i 6 són interpretats com de segregació, i els tipus 2,3 i 4 com una barreja de material segregat i aglutinat.

Tipus 5è. Closques hialino-calcàries amb parets d'estructura radial perforada.

En aquest tipus de closques, els cristalls de calcita són perpendiculars a la superfície; els eixos C són els perpendiculars a dita superfície.

En les globigerines, cada espícula és un únic cristall de calcita. Aquestes closques són hialines només si les parets són primes i els porus fins. Dintre d'aquest grup també s'han observat parets aragòniques.

LIPPS (1966) va efectuar una nova classificació dels foraminífers planctònics terciaris en funció de tres estructures principals:

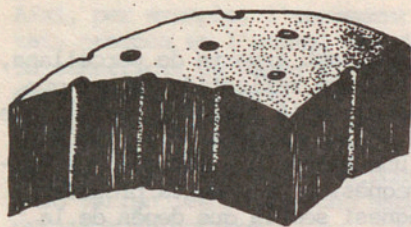


Fig. 1 - Paret composta de gran quantitat de cristalls fins de calcita; Superfície llisa.



Fig. 2 - Paret composta per cristalls prominents rodejats a la seva base per cristalls fins; superfície no espinosa, mamil·lar.

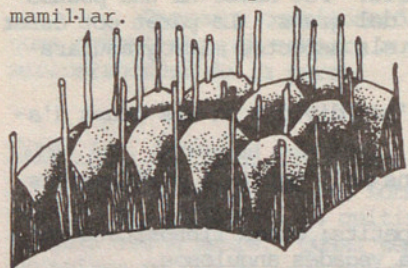


Fig. 3 - Paret de tipus espinós.

Tipus 1) Parets construïdes de cristalls radials molt fins, idèntics i quasi paral·lels entre ells; els porus es troben més o menys escampats a l'atzar. Superfície primària llisa (figura 1).

Tipus 2) Parets formades per cristalls sortits (en forma d'espina), que acaben en un extrem lleugerament per sobre de la superfície de la closca, però mai allargats en espines, i rodejats d'una paret de cristalls radials fins. Superfície no espinosa i granular. Superfície mamil·lar (figura 2).

Tipus 3) Parets formades per cristalls radials estesos com unes espines que fan 2 o 3 vegades el diàmetre de la closca, rodejats, en la paret, per cristalls fins (figura 3)

Tenint en compte aquestes estructures, Lipps distribueix els *Globigerinacea* en quatre famílies:

- Família *Globorotaliidae*.....Tipus 1 trocospiral
- Família *Hantkeninidae*.....Tipus 1 planispiral
- Família *Catapsydracidae*.....Tipus 2 planispiral
- Família *Globogerinidae*.....Tipus 3

Tipus 6è. Closques hialino-calcàries amb parets monocristal·lines.

La closca és formada per un únic cristall de calcita o per diversos de grans separats per límits irregulars; els porus travessen el cristall únic.

Tipus 7è. Closques hialino-calcàries amb parets granulars perforades.

Tenen les mateixes característiques que les del tipus 5è, però s'observa que són formades per granets equidimensionals.

Tipus 8è. Closques espiculars.

Només hi ha un gènere (*carterina*) que construeix la closca amb espícules que són cristalls de calcita; l'eix C es disposa paral·lel a la

longitud total de l'espícula.

Quant a la mineralogia de les closques, hom ha vist que quasi tots els gèneres són de calcita i pocs gèneres d'aragonita. Al contrari dels bivalves, on una mateixa espècie pot segregar aragonita i calcita, els foraminífers segregen una sola espècie mineralògica, i les espècies aragòniques s'agrupen en pocs gèneres.

Les modernes tècniques de la microscòpia electrònica han conduït a la comprensió de molts aspectes microestructurals de la paret dels foraminífers.

Segons TOWE & CIFELLI (1967), per a l'estudi de les parets radials, granular i aporcellanada és imprescindible el microscopi electrònic, ja que existeix un dualisme entre morfologia i propietats òptiques, i diferents morfologies poden presentar les mateixes propietats òptiques i viceversa. Els problemes que es plantegen són aquests: saber si és un cristall únic i la qüestió de la calcificació, de la qual ja en parla De Renzi en aquestes mateixes pàgines. El concepte de cristall únic ve donat pel poder de l'instrumental que s'utilitza; així, allò que apareix com a cristalls ben delimitats sota llum polaritzada se'ns converteix en un mosaic quan ho estudiem per mitjà del microscopi electrònic. La forma externa del cristall serà influïda fonamentalment per l'ambient de l'entorn en què s'ha format el cristall, així com per l'espai aprofitable per al creixement en relació a la quantitat present de solució cristallitzant i al grau de sobresaturació.

Així tindrem cristalls i grans; els primers presentaran cares reflectint l'estructura reticular, i els segons hauran crescut en un espai delimitat, sense poder desenvolupar cares. D'aquesta manera, l'estudi de les parets dels foraminífers mitjançant el microscopi electrònic ens mostra que és molt difícil veure si es tracta de cristalls únics de calcita o mosaics per via òptica; i les descripcions han d'ésser dutes a terme mitjançant restriccions molt concretes.

Un altre aspecte estructural important de les parets dels foraminífers és escatir si són homogènies o lamel·lars. Les estructures lamel·lars

són pròpies de les closques calcàries hialines, mentre que les homogènies són pròpies de la resta, entre les quals, tota cambra és afegida a les restants de manera totalment independent.

L'estructura lamel·lar fa que, quan es forma una nova cambra o làmina sobre la part externa de la closca ja anteriorment formada, les primeres cambres siguin més gruixudes que les últimes (figura 4).

La cavitat observada entre dues làmines septals en el tipus rotalioides forma part del sistema de canals. Els foraminífers planctònics són del tipus bilamel·lar. HANSEN, REISS & SCHNEIDERMANN (1970), han mostrat la presència de tres capes en un septe bilamel·lar; dues capes calcàries, una d'externa i una al-

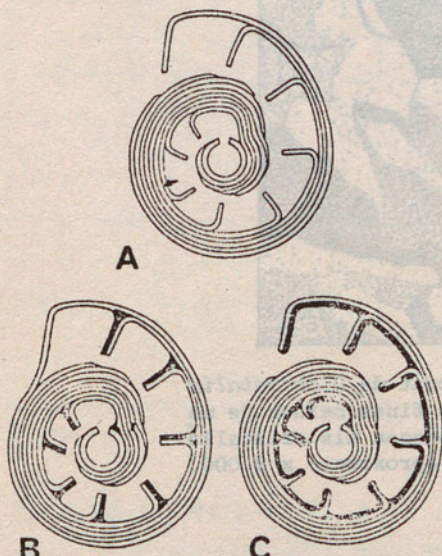


Fig.4 - Tres tipus d'estructura lamel·lar. A, Monolamel·lar. B, Rotalioides. C, Bilamel·lar.

tra d'interna, i una capa intermèdia prima, formada per una estructura pro-teica íntimament lligada als nuclis orgànics que envolten cada unitat cris-tal·lina. Els espesseïments proximals de la closca es deuen a la laminació del material, que s'afegeix per capes entre les quals se situa la matèria orgànica (figures 5 i 6).



Fig. 5 - Estructura fina dels prismes de calcita de la paret de *Lenticulina calcar*: Adaptat d'una micrografia electrònica (TOWE & CIFELLI, 1967). Les estries són interpretades com a línies de creixement dels cristalls i fenòmens d'exfoliació. Augment aproximat: x 19.000.



Fig. 6 - Septe seccionat de *Globorotalia menardii* mostrant les fines beines de ma-teria orgànica que rodegen els cristalls de calcita. Augment aproximat: x 8.000.

B I B L I O G R A F I A

- HANSEN, H.J., REISS, Z., & SCHNEIDERMANN, N. 1966. Ultramicrostructure of bilamellar walls in foraminiferida. *Rev. Esp. Microp.*, 1 (3): 293-316.
- HOFKER, J. 1971. Wall structure of Globigerine and Globorotalia Foraminifera. *Rev. Esp. Microp.*, 3 (1): 35-60.
- LIPPS, J.H. 1966. Studies of cenozoic planktonic foraminifera. *J. Paleontology*, 40 (6): 1257-1274.
- LOEBLICH, A.R. (Jr.) & TAPPAN, H. 1964. Foraminiferida-Morphology and Biology. In: *Treatise on Invertebrate Paleontology* (R.C. MOORE, ed.), C, Protista 2 (1). Geol. Soc. of America and University of Kansas Press, : C55-C119.
- MURRAY, J. & WRIHT, C.A. 1970. Surface textures of calcareous foraminiferida. *Paleontology*, 13 (2): 184-187.
- REISS, Z. & LUZ, B. 1970. Test formation pattern in Planktonic foraminiferida. *Rev. Esp. Microp.*, 2(1): 85-96 .
- TOWE, K.M. & CIFELLI, R. 1967. Wall ultrastructure in the calcareous foraminiferida: crystallographic aspects and a model for calcification. *J. Paleontology*, 41 (3): 742-762.