

OOIDS (Marins i Lacustres)

Eulàlia Gili i Folch
Departament de Geologia.
Universitat Autònoma de Barcelona

En aquest escrit, seguint el suggeriment fet per TEICHERT (1970), denominem ooid (de l'anglès *ooid*) les partícules que formen una oolita (de l'anglès *oolite*).

TEICHERT (1970), al petit resum que fa de la intrincada història d'aquest terme, indica que fou introduït per KALKOWKY (1908) per denominar els components esfèrics d'un *oolith* i que, inexplicablement, aquesta senzilla paraula, proposta fa més de mig segle, no fou immediatament i universalment acceptada. Segons aquest autor, l'ambigu terme anglès *oolithe*, emprat per molts geòlegs de llengua anglesa no per a denominar roques o sediments, sinó els grànuls individuals que la componen, és probablement una adaptació del francès *oolithe*, traducció del terme alemany *Rogenstein*, el qual fou altra vegada introduït a la llengua alemanya com *oolith*.

En francès, actualment, s'escriu *oolite*. En la literatura anglesa, la tendència actual és la d'usar la paraula *ooid* per denominar les partícules, i *oolite* per a la roca o sediment compost per aquestes; tot i això, podem trobar autors que, refractaris a la proposta feta per TEICHERT, continuïn emprant termes tals com *oolith*, *oolithe* o *oolite* amb les marques o sense les marques diacrítics a la segona, o bé, per a designar roques, components d'aquestes roques o ambdues coses alhora.

En castellà, la confusió regnant és bastant similar a la que acabem d'exposar, ja que el terme *oolita*, per exemple, és sovint emprat tant per a denominar un component com una roca.

Els ooids marins i lacustres són, típicament, partícules sedimentàries d'esfèriques a subesfèriques amb la superfície exterior polida i el diàmetre menor de 2 mm. Els ooids, no alterats, actuals, es caracteritzen perquè tenen un embolcall o crosta externa de làmines concèntriques d'aragonita. Dintre d'aquest embolcall, a vegades es pot reconèixer un nucli detrític, generalment un grànul de quars, un *pelloide* de carbonat micrític, un fragment esquelètic o, també, un tros d'ooid trencat. En alguns ooids actuals i en molts ooids fòssils, les làmines concèntriques són travessades per una estructura radial, més o menys ben desenrotllada, de fibres de calcita. Al microscopi, amb els nicols encreuats, els ooids no alterats d'aragonita donen una figura pseudo-uniàxica positiva (SORBY, 1879; ob. cit. BATHURST, 1971), mentre que els ooids de calcita radial són òpticament negatius. Dels ooids formats en llacs, se'n sap menys; els més ben coneguts són els de Great Salt Lake, Utah, i sembla que, en aquests, el 90 % de carbonat és aragonita disposada segons una estructura radial deposicional (KHALE, 1974).

Pel que fa a l'origen d'aquests grànuls, han estat diverses les teories pronunciades, basades les unes en la influència d'uns certs organismes, com les algues i bacteries, i les altres en processos físico-químics estrictament inorgànics; aquestes últimes són les més acceptades en l'actualitat, encara que no es descarta —per causa de la provada presència de matèria orgànica en els ooids—, la seva influència en el creixement d'aquests.

Els ooids es desenrotllen, predominantment, en ambients d'elevada energia, com ara les zones de ressaca litorals, i solen acumular-se en bancs o barres.

ESTRUCTURA DELS OIDS ACTUALS

La majoria dels ooids actuals són formats essencialment per làmines concèntriques d'aragonita orientada i làmines d'aragonita no orientada. Però sovint es localitzen no més en pegots més o menys grans interrompent l'estructura concèntrica. Les làmines d'aragonita orientada poden tenir a la vegada dos tipus d'estructura, segons que l'orientació dels cristalls sigui tangencial o radial a la superfície de l'ooid. A més a més, sembla que, intercalades amb aquestes làmines, es troben unes delicades membranes de matèria orgànica. Vegeu la figura 1.

ELEMENTS ESTRUCTURALS

a) *Làmines formades per cristalls orientats tangencialment.* A les Bahames (ILLING, 1954; ob. cit. BATHURST 1971), els ooids presenten dos tipus de làmines concèntriques: les unes, més o menys discontinües, formades per aragonita no orientada, i les altres, contínues, al voltant del grànul amb els cristalls orientats. L'estudi òptic de les últimes va mostrar que la direcció de vibració més lenta era normal, i la més ràpida tangencial a la superfície de l'ooid. Com que no es pogueren detectar els cristalls individualment, aquestes propietats òptiques foren atribuïdes a un agregat format per agulles d'aragonita orientades tangencialment a la superfície del grànul (eix c i eix òptic tangencial). L'embolcall oolític era lleugerament pleocroic i presentava coloracions brunes que augmentaven la intensitat segons la direcció de vibració més ràpida; les seccions tangencials eren isotròpiques.

Sembla que aquest tipus de làmines és el que amb més freqüència es troba en els

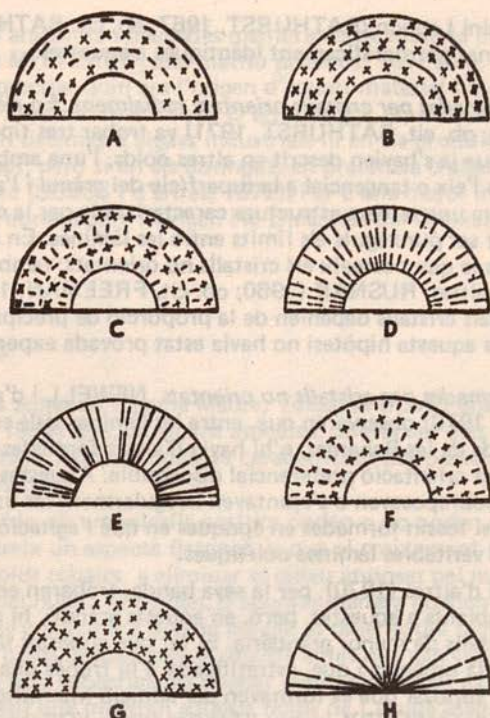


Fig. 1. Prototipus esquematitzats d'estructura d'ooids segons KAHLE (1974). Les línies, ja siguin contínues o discontinúes, representen els cristalls de carbonat i la seva orientació excepte a B, que subsisteixen el mucílag. La x els cristalls de carbonat no orientats.

A) Ooid de les Bahames. Holocé. Clau: C-T/U

B) Ooid del golf Pèrsic. Holocé. Clau: C-U/M

C) Ooid trobat a Laguna Madre i a Baffin Bay, Texas. Holocé. Clau: C-T/U/R

D) Ooid trobat a Great Salt Lake. Holocé. Clau: CR-Rd

E) Ooid trobat a Great Salt Lake. Holocé. Clau: CdRd-Rcd

F) Ooid trobat en diferents roques calcàries. Clau: CR-Rd/U

G) Ooid trobat en diferents roques calcàries. Clau: C-U

H) Esferulit. Clau: RdCd-Rcd

Per a l'explicació de la figura s'ha utilitzat la clau proposada per l'autor, que es detalla a continuació:

C = concèntric

R = radial

T = tangencial

U = no orientat

M = mucílag i/o d'altres substàncies orgàniques

d = discontinu

c = continu

/ = s'usa per a separar grànuls de diferents orientacions.

La primera part de la clau indica la disposició de les làmines, i la segona, l'orientació dels cristalls dins d'elles mateixes.

ooids. Els ooids de Bimini Lagoon (BATHURST, 1967; ob. cit. BATHURST, 1971), entre d'altres, presenten làmines petrogràficament idèntiques a aquestes.

b) *Làmines formades per cristalls orientats radialment.* En els ooids de Laguna Madre RUSNAK (1960; ob. cit. BATHURST, 1971) va trobar tres tipus de làmines. A més a més de les dues que ja s'havien descrit en altres ooids, l'una amb els cristalls preferentment orientats amb l'eix *c* tangencial a la superfície del grànul i l'altra amb els cristalls no orientats, va descriure una tercera estructura caracteritzada per la disposició radial de l'eix *c* dels cristalls i per ser punxeguts els límits entre les làmines. En aquests grànuls, la làmina més abundosa és la que posseeix els cristalls no orientats; també conté argila, i sol ésser més densa que les altres. RUSNAK (1960; ob. cit. FREEMAN, 1962) deduí que les diferents disposicions dels cristalls depenien de la proporció de precipitació de carbonat; tot i això, va indicar que aquesta hipòtesi no havia estat provada experimentalment.

c) *Làmines formades per cristalls no orientats.* NEWELL i d'altres (1960; ob. cit. SHEARMAN i d'altres, 1970) observaren que, entre les làmines dels cristalls tangencialment orientats dels ooids de les Bahames, n'hi havia d'altres formades per cristalls d'aragonita que no posseïen una orientació preferencial discernible. Aquestes làmines eren discontinües i lenticulars i se sobreposaven o s'ajuntaven irregularment les unes amb les altres. Es van interpretar com si fossin formades en èpoques en què l'agitació del medi no era suficient per a produir les veritables làmines oolítiques.

SHEARMAN i d'altres (1970), per la seva banda, trobaren en els ooids de Trucial Coast làmines molt semblants a aquestes, però, en aquests grànuls, hi solien ésser contínues i formades per cristalls de menor grandària. El fet que aquestes làmines tinguessin un gran contingut de matèria orgànica i que, estratificada, s'hi trobés una pel·lícula de material mucilaginos, els féu suposar que es formaven per addició intermitent dels cristalls d'aragonita, com va proposar SORBY (vegeu "Teories sobre l'Origen i Dinàmica del Creixement dels Ooids"). Allò que no saberen explicar és com influïa aquest material mucilaginos en la formació de les altres làmines, les que tenien els cristalls tangencialment orientats.

Una altra estructura semblant a aquesta, però que travessa les làmines d'aragonita orientada en comptes d'alternar-les, ha estat descrita en tots dos grups d'ooids. Per la seva disposició sembla que són produïdes per l'alteració del material orientat preexistent (SHEARMAN i d'altres, 1970).

Per en BATHURST (1971) i FRIEDMAN (1964; ob. cit. BATHURST, 1971) ambdues estructures tenen el mateix origen: el d'una alteració superficial deguda a l'activitat de les algues perforants. Van dir que aquestes estructures són semblants als embolcalls "micrífics" que s'observen en d'altres grànuls de carbonat *skeletal* i *no-skeletal*.

d) *Matèria orgànica.* La majoria dels autors que han treballat en ooids actuals i fòssils, n'han obtingut una certa quantitat de matèria orgànica dissolent-los lentament en àcid clorhídric diluït. A vegades s'ha pogut observar que aquesta massa mucilaginosa conté uns filaments l'estructura dels quals és similar a la que presenten les colònies algals. La procedència d'aquesta matèria orgànica és un dels problemes que encara no han estat pràcticament resolts. De fet s'ha observat que hi ha algues que viuen incrustades a la superfície dels ooids (NEWELL i d'altres, 1960; ob. cit. BATHURST, 1971), però n'hi ha d'altres que s'han vist a tal profunditat del grànul, que és improbable que hagin pogut penetrar-hi des de la superfície, i se suposa que colonitzaren l'ooid en una primitiva etapa del seu desenvolupament. Així, doncs, per a molts autors, sembla que no hi ha dubte que una part, almenys, d'aquesta matèria orgànica, prové d'organismes estranys a l'ooid, que hi viuen de la mateixa manera que ho podrien fer en qualsevol grànul de carbonat.

Però, segons SHEARMAN i d'altres (1970) i MITTERER (1968; ob. cit. SUESS i d'altres, 1972), a tots els ooids estudiats per ells apareix, a més a més, una alternança de

capcs concèntriques d'aragonita i delicades membranes de matèria orgànica; concretament, en el cas dels ooids de MITTERER, una matriu protèica. Tot i això, ni aquest autor ni aquells no van poder precisar quin era l'origen d'aquest material i quina la seva influència en el desenrotllament i l'estructura d'ooid. D'altra banda, aquesta alternança no s'aprecia en els ooids formats en sistemes d'aigües industrials ni en els produïts artificialment en condicions inorgàniques, però sí en els obtinguts en presència d'algun compost químic orgànic, com l'àcid hùmic (SUESS i d'altres, 1972). Per a una major informació, vegeu l'apartat dedicat a les "Teories sobre l'Origen i la Dinàmica del Creixement dels Ooids".

OOIDS ASIMÈTRICS

A unes certes zones de Laguna Madre, Texas, es troben uns ooids (*quiet-water ooids* de FREEMAN, 1962) que, en alguns aspectes, difereixen dels que podríem denominar normals o ooid clàssic. Aquests ooids es caracteritzen per posseir (1) un nucli excèntric i (2) una superfície mat.

En aquests ooids, els embolcalls oolítics poden o no poden rodejar el nucli. En el segon cas l'ooid adquireix un aspecte fisonat, ja que el creixement oolític no tendeix, com succeeix en els ooids clàssics, a eliminar el relleu imposat pel nucli. En el segon cas, els embolcalls surten del nucli i hi tornen; d'aquesta manera queden parcialment exterioritzats. Aquest tipus de creixement oolític parcial es desenrotlla també en alguns agregats. La asimetria d'aquests ooids sembla que és deguda al fet que van créixer en un ambient de baixa energia, i així la seva superfície va quedar incompletament exposada a la precipitació. La falta de poliment que mostren aquests ooids de Laguna Madre ha estat atribuïda a la mateixa circumstància que en provoca la asimetria, ja que hi ha proves que indiquen que el poliment que posseeixen els ooids clàssics és originat per l'abrasió mecànica, provocada per l'agitació de l'aigua en un ambient d'alta energia. Vegeu figura 2.

Ooids molt semblants a aquests han estat citats en l'Ordovicià de Shakopee Formation al sud-oest de Minnesota (DAVIS, 1966). Vegeu figura 3.

OOIDS AMB FIBRES DE CALCITA (?) RADIAL

EARDLEY (1938; ob. cit. BATHURST, 1971) va descriure, per primera vegada, uns ooids actuals en els quals l'estructura concèntrica típica es trobava travessada per cristalls de calcita en disposició radial. Aquests ooids foren recollits a Great Salt Lake, i, tot i éssent lacustres, són importants per les analogies que presenten amb d'altres ooids actuals i fòssils d'origen marí. Aquests grànuls són formats per làmines concèntriques d'aragonita criptocristalina barrejades amb argila, que, amb la llum transmesa, apareixen obscures. Tallant radialment aquestes làmines, s'hi troben uns cristalls transparents, més grans, els índexs de refracció dels quals foren atribuïts a la calcita. Els cristalls radials poden travessar tot l'embolcall oolític, algunes làmines o bé estar confinats només en una.

Posteriorment, KAHLE (1974) realitzà un detallat estudi de mineralogia d'aquests ooids, i arribà a la conclusió que totes o gairebé totes les fibres radials eren d'aragonita i no de calcita i que la recristal·lització dels ooids de Great Salt Lake estava típicament associada a la recristal·lització d'aragonita a aragonita i no d'aragonita a calcita com va proposar EARDLEY. Tenint en compte aquest fet i la gran semblança que existeix entre aquests ooids i molts ooids fòssils, va indicar que potser la hipòtesi que és la diagènesi

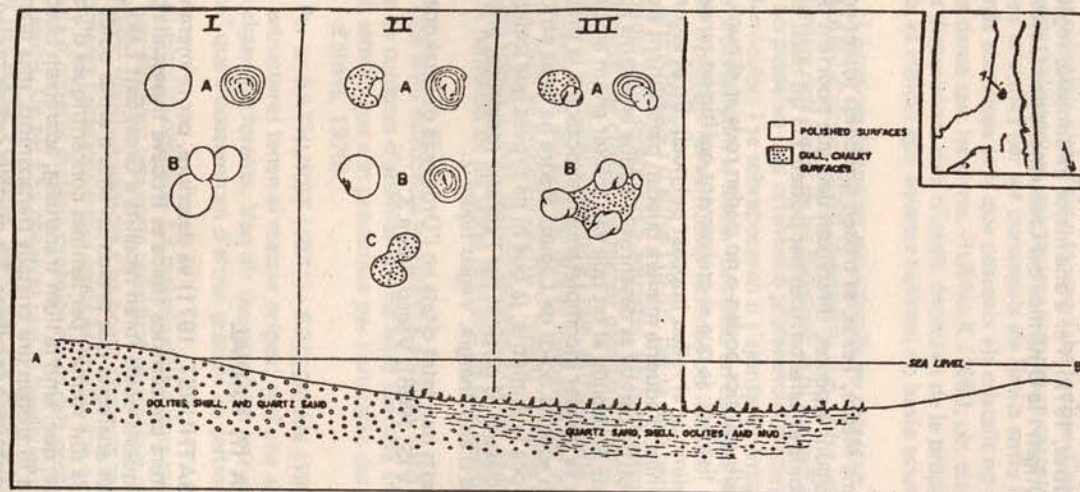


Fig. 2.— Perfil diagramàtic d'ambients mostrant d'una manera característica els sediments oolítics afins, segons FREEMAN (1962).

I A. Grànul i secció d'ooid d'aigües agitada —shorline—; polit, simètric.

B. Agregat oolític de l'àrea de shorline; polit.

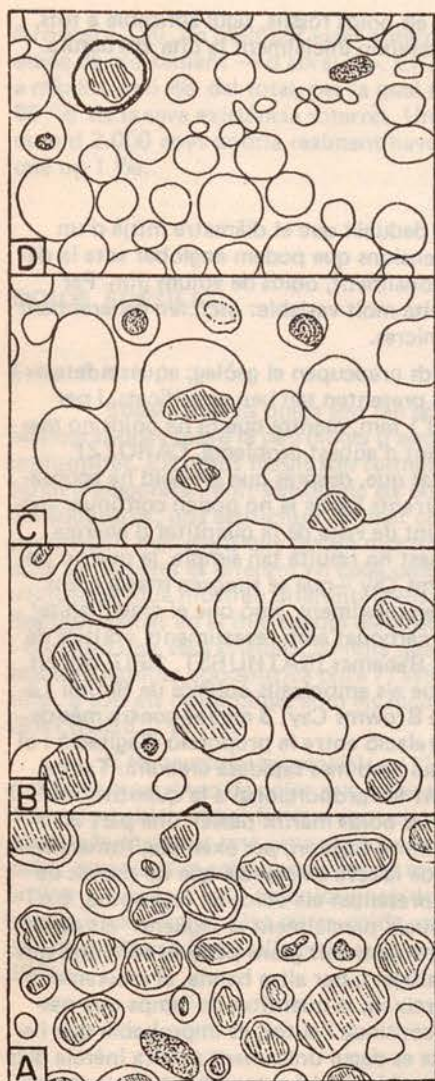
II A. Grànul i secció d'ooid de la zona intermèdia entre aigües agitada i aigües tranquil·les. Originalment formats en l'agitada shorline i posteriorment introduïts en un nínxol de baixa energia; revestiment mat cobrint incompletament la superfície polida anterior.

B. Grànul i secció d'ooid d'una segona zona intermèdia. Originalment formats en un nínxol de baixa energia però posteriorment retreballat en un ambient més agitat; en els entrants protegits del grànul, poden observar-se les restes de la superfície mat.

C. Agregat oolític de la zona intermèdia; revestiment mat.

III A. Grànul i secció d'ooid d'aigües tranquil·les —offshore—; revestiment mat, alta asimetria.

B. "Lump" d'offshore; grànuls de quars units per una crosta de carbonat d'aspecte guixós, mat.



Ooids esfèrics sense nucli de quars, tret d'un que potser prové d'un nivell energètic inferior. Aquest ooid és igual als de la figura C; excetuant-ne el "nucli", és un ooid d'aigües tranquil·les, el qual posseeix un embolcall micrític (dolomititzat) (FRIEDMAN, 1961) delineant l'ooid original.

Predominantment ooids d'aigües tranquil·les i alguns grànuls indeterminats.

Barreja d'ooids normals i ooids d'aigües tranquil·les.

Ooids normals i superficials.

● - QUARS / - MICRÍTIC

Fig. 3.— Successió dels diferents tipus d'ooids en un interval oolític de Minnesota (Location V) segons DAVIS (1966).

Generalment els ooids són:

- 1) Essencialment esfèrics;
- 2) ben classificats; i
- 3) els embolcalls oolítics són concèntrics a l'entorn del nucli.

Al contrari, els ooids d'aigües tranquil·les són:

- 1) de poc a moderadament esfèrics;
- 2) de moderadament a més ben classificats; i
- 3) el nucli no està centrat.

la que produeix l'estructura radial que s'observa en els ooids fòssils, sigui aplicable a tots, ja que existeix la possibilitat que alguns grànuls posseeixin inicialment la dita estructura.

MIDES DE L'OOID: PROBLEMÀTICA

De les dades existents a la bibliografia, es dedueix que el diàmetre mitjà d'un ooid marí oscil·la entre 1,5 mm i 0,065 mm, dimensions que podem englobar sota la denominació del volum arena. També s'ha citat, ocasionalment, ooids de volum llim. Per altra banda la grossària dels embolcalls oolítics resulta molt variable: oscil·len generalment entre 1 micra i poden arribar a aconseguir les 100 micres.

Dos fets relacionats amb el volum dels ooids preocupen el geòleg; aquests fets són: ¿perquè, com gairebé una norma, els ooids es presenten tan ben classificats, i per què el diàmetre màxim d'un ooid és comunament d'1 mm, mentre que hi ha ooids no marins (perles de cova) que aconseguixen 1 cm? Davant d'aquest problema, CAROZZI (1960; ob. cit. BATHURST, 1971) donà per assentat que, després que un ooid ha aconseguit un volum crític, cessa de créixer, perquè els corrents locals ja no poden continuar moviment-lo. Ara bé, si enfoquem el problema des del punt de vista de la quantitat d'energia que cal perquè l'ooid pugui continuar creixent, aquest no resulta tan simple, ja que no podem ignorar el fet que els ooids més grans de Browns Cay —que se suposen massa grans per a continuar creixent— no tan sols estan encara en moviment, sinó que el grau d'agitació que suporten és més gran que el dels grànuls de carbonat amb revestiments oolítics de Bimini Lagoon o de la costa oest de l'illa d'Andros, Bahames (BATHURST, 1967; ob. cit. BATHURST, 1971). BATHURST (1971), veient que els embolcalls oolítics de Bimini Lagoon i de l'oest d'Andros eren més prims que els de Browns Cay, 3 micres contra més de 100 micres, va insinuar que potser hi havia una correlació entre la proporció d'agitació i el creixement: com més ràpidament es mogui un grànul amb més rapidesa creixerà. També va dir que era probable que la mitjana de creixement fos proporcional a la quantitat de temps passat per l'ooid en moviment, i, ja que tots els ooids marins passen una part de la seva vida en movició i l'altra enterrats, els ooids de Bimini Lagoon, per exemple, romandrien en aquestes condicions en una proporció més gran de la seva existència que no pas els de Browns Cay. Pel que fa a la bona classificació que presenten els ooids en una oolita, BATHURST (1968; ob. cit. BATHURST, 1971) l'atribueix parcialment al següent: els ooids petits, per una banda, aconseguixen ràpidament el volum dels grans perquè, com que són més movibles, passen més temps en movició que els altres; i, per altra banda, el creixement dels ooids grans és més lent, ja que, a mesura que creixen, la quantitat de temps que passen en moviment decreix progressivament. Ara bé, continua l'autor, és improbable que l'existència d'un volum-límit en els ooids d'una oolita es degui únicament a l'alta inèrcia dels ooids grans o que hagi deixat de créixer com a conseqüència del soterrament. Si observem el creixement dels ooids mitjans, veurem que aquest continua, perquè un augment de la massa equivalent al creixement del volum no en perjudica la mobilitat, ja que la massa augmenta segons la tercera potència del radi, mentre que la resistència de l'aigua al moviment va augmentant, només, segons el quadrat d'aquest. Els ooids d'aquest volum obeiran curosament la llei impulsiva (RUBEY, 1933; ob. cit. BATHURST, 1971). D'altra banda, a mesura que creix l'ooid s'aniran incrementant les forces exercides en les col·lisions dels uns contra els altres, ja que són funció de la massa i l'acceleració (BATHURST, 1969; ob. cit. BATHURST, 1971), i com que l'àrea de la superfície afectada depèn de l'encontre tangencial de les dues esferes, sembla lògic de pensar que la quantitat de massa que es pugui perdre per abracció sigui igual a l'adquirida pel creixement oolític; d'aquesta manera el creixement net fóra zero. Segons aquesta teoria, el volum màxim de l'ooid fóra determinat pel grau de turbulència local. Finalment, com a consideració important en l'estima del temps que un ooid tarda a créixer, BATHURST (1971) va indicar que, en els banes oolítics de

Browns Cay, un ooid pot estar enterrat durant unes quantes dècades entre l'una i l'altra etapa de creixement —i d'abasió—. En aquestes oolites, els grànuls mòbils comprenen com a màxim un 5 % del total, per la qual cosa un ooid, en aquesta àrea, pot passar-se més del 95 % de la seva existència soterrat. Una crosta oolítica que hagi anat creixent a intervals durant 2.000 anys podria realment haver estat en actiu una fracció de temps més petita que un 1 %.

OOIDS FÒSSILS

Estructura

Encara que els ooids són tan antics com el Precàmbric, existeixen poques dades bibliogràfiques sobre la petrologia d'aquests grànuls, potser per causa de la seva relativa uniformitat. Els ooids fòssils són formats per calcita, però és lògic de suposar que abans foren d'aragonita. Molt semblants als ooids de Great Salt Lake, poden presentar una secció equatorial, una estructura laminar concèntrica formada per micrita fosca travessada per cristalls més grans que poden mostrar una elongació radial. La proporció d'aquestes dues estructures és diferent en cada ooid i en cada oolita. Les làmines concèntriques s'identifiquen perquè mostren diferents graus d'opacitat, determinats, com mostren les fotografies obtingudes en el microscopi electrònic per LOREAU (1969), per la diferent orientació i el volum dels seus cristalls. Sembla que existeixen totes les gradacions possibles entre l'estructura laminar concèntrica pura i l'estructura radial totalment desenrotllada. Aquesta última, a tots els ooids dona, amb els nicols encreuats, una figura pseudo-uniàxica negativa (BATHURST, 1971).

A les seccions tangencials no s'observen làmines. Quasi tots els ooids, amb llum ordinària, apareixen de color gris, però n'hi ha alguns que mostren un color marró daurat degut probablement al fet que contenen substàncies orgàniques, i s'hi troben, a vegades, grànuls formats per una capa externa de calcita d'aquest color i amb una forta orientació radial repenjan-se sobre una altra de micrita gris. Tot i això, aquesta estructura radial pot arribar a travessar tot l'embolcall oolític, i mostrar, en ocasions, senyals de l'estructura concèntrica original. Uns altres ooids, menys freqüents, són constituïts per un mosaic de calcita espàtica els cristalls de la qual no tenen cap orientació determinada (BATHURST, 1971).

Mètode diagenètic de Shearman

A les roques calcàries juràssiques d'Ambléon, al departament d'Ain, al sud del Jura francès, els ooids mostren senyals de la seva estructura concèntrica original alhora d'una estructura fibroso-radial. També el nucli d'aquests grànuls, primitivament d'aragonita, ara és de calcita càstica. El problema que es plantejà fou: ¿com explicar-se que els embolcalls oolítics no haguessin sofert una etapa de cavitat real, de la mateixa manera que hagué de fer-ho el nucli, i com fou possible que aquests grànuls passessin d'una etapa aragonítica a una de calcita sense perdre la seva primitiva estructura?

En una secció prima, s'observaren unes línies fines obscures, en disposició concèntrica, formades per una alineació de cristalls micromètrics. L'estructura radial es manifesta a la llum ordinària, per la presència de línies de "Becke", contigües i espaiades, en disposició radial, dividint les zones concèntriques sense passar de la zona que ocupen a la contigua. Aquestes línies radials no es troben als ooids marins actuals, i no es deuen a dife-

rents índexs de refracció de cristalls adjacents, ja que en aquests casos la seva distribució no fóra perfecta.

La hipòtesi que SHEARMAN i d'altres (1970) sostenen és que la matèria orgànica continguda en aquests oïds actua com un patró, el qual permet que el detall intern del grànul es preservi durant el reemplaçament diagenètic d'aragonita per calcita, i que la destrucció del mucíl·lag abans que aquest es realitzi condueix a la pèrdua de l'estructura primitiva durant la diagènesi. El desenrotllament dels nous cristalls de calcita fóra simultani a la dissolució dels de d'aragonita, en presència d'aigües congènites. A més a més, els petits cristalls que formen el ciment de calcita devien créixer a partir dels nuclis cristallins formats en la làmina de mucíl·lag, amb la típica orientació que acompanya el creixement competitiu, i, a causa de la disposició concèntrica de les principals superfícies del substrat orgànic, fou fibroso-radial. Vegeu figura 4.

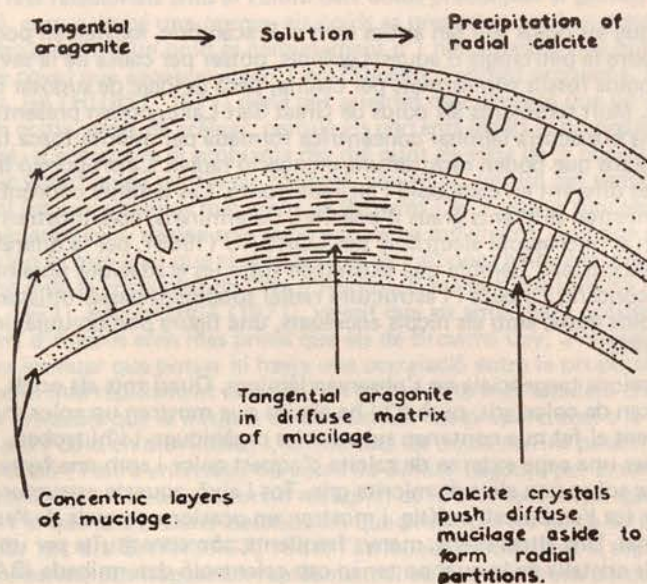


Fig. 4.— Diagrama de la substitució dels cristalls radials de calcita entre capes mucilaginoses, concèntriques, d'un oïd, segons SHEARMAN i d'altres (1970).

Per provar la seva hipòtesi, aquests autors realitzaren les següents experiències: van tenyir les calcàries amb una solució aquosa de malaquita verda, el tint fou captat per la matèria orgànica continguda a l'embolcall oolític, però no pel ciment, i es va observar clarament que s'havia distribuït per tot l'embolcall. A més, poliren una mostra, l'atacaren amb àcid, la rentaren amb aigua i la immergiren en H_2O_2 calent per dissoldre la matèria orgànica que contingués, la rentaren una altra vegada i finalment l'eixugaren. Així, preparada d'aquesta manera, en tragueren una rèplica, en la qual quedaren unes agulles aciculars distribuïdes en capes concèntriques. Aquestes agulles de menys d'1 micra de gruix i fins i tot de 10 micres de llarg, mostraren tenir uns colors de polarització grisos de primer ordre i ésser òpticament ràpides. Un oïd va donar 39 zones de calcita acicular d'una mitjanja de 10 micres de gruix. Vegeu la figura 5.

Per altra banda, no és rar de trobar, a les calcàries marines, oïds amb una làmina o més d'una, externes parcialment o totalment despreses del grànul, com a conseqüència

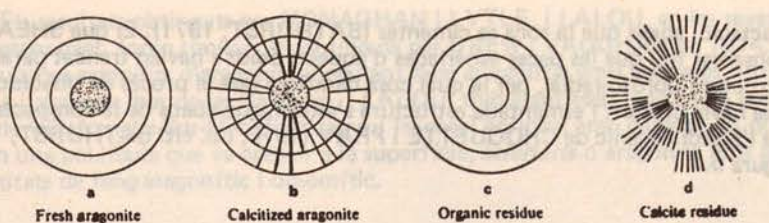
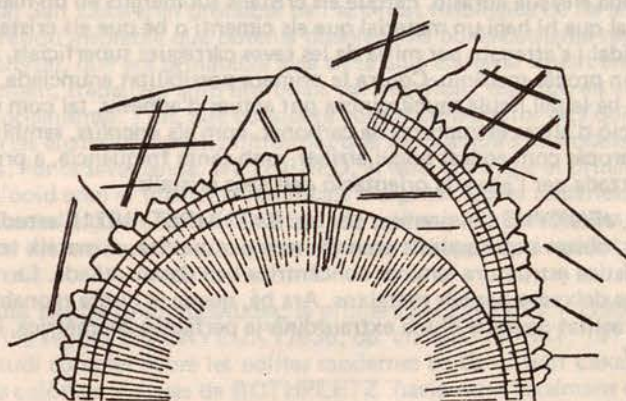


Fig. 5.— Diagrama de BATHURST (1971) que il·lustra els assaigs de SHEARMAN i d'altres (1970).

- a) Ooid d'aragonita amb distribució tangencial dels eixos òptics —les línies obscures representen les capes abundoses en matèria orgànica—.
- b) Model concèntric parcialment reemplaçat per calcita fibroso-radial.
- c) Residu orgànic després del rentament amb ClH.
- d) Residu de calcita després de la dissolució de la matèria orgànica amb H_2O_2 .



Oolite with concentric layer spalled off during compaction

Stages in the formation of a fractured oolite.

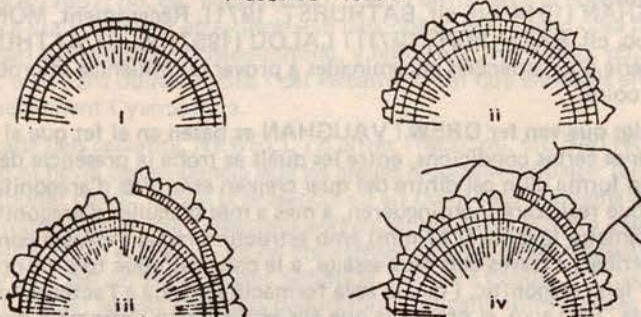


Fig. 6.— Diferents estadis de la fractura d'un ooid entre la primera i les últimes fases de la cimentació, segons SHEARMAN i d'altres (1970).

de la compactació, abans que la roca se cimentés (BATHURST, 1971). El que SHEARMAN (1970) va observar fou que les peces esberlades d'aquests ooids s'havien trencat paral·lelament a l'estructura fibroso-radial, per la qual cosa deduíren que el procés de dissolució-precipitació que havia produït l'esmentada estructura s'esdevingué abans de la compactació de la roca, a l'estadi eogènic de CHOQUETTE i PRAY (1970; ob. cit. BATHURST, 1971). Vegeu la figura 6.

TEORIES SOBRE L'ORIGEN I DINÀMICA DEL CREIXEMENT DELS OIDS

Teoria del procés d'acreixement de Sorby

Segons SORBY (1879; ob. cit. BATHURST, 1971), els ooids creixerien en virtut d'un procés mecànic d'adhesió, per contacte amb la superfície de l'ooid. Els cristalls provindrien del fang aragonític local. Segons BATHURST (1971), si s'aprofundeix una mica en aquesta teoria, s'arriba a la conclusió que una adhesió d'aquest tipus no pot proporcionar a l'ooid la provada coherència (TWYMAN, 1963; ob. cit. BATHURST, 1971) que li permet suportar una elevada abrasió. Perquè els cristalls submergits en un medi aquós arribin a adherir-se, cal que hi hagi un material que els cimenti o bé que els cristalls estiguin en un estat col·loidal i s'atreguin per mitjà de les seves càrregues superficials, cas en el qual no es tractaria d'un procés mecànic. Contra la primera possibilitat enunciada, s'ha de tenir en compte que, si bé la pel·lícula mucilagínosa pot actuar d'adhesiu, tal com en realitat actua en la formació d'altres estructures de carbonat, com els *oncolits*, sembla molt poc probable que un procés com aquest pugui arribar, amb tanta freqüència, a produir una estructura caracteritzada per l'elevada orientació dels seus cristalls.

En canvi, JENKYNs (en premsa; ob. cit. BATHURST, 1971), estudiant uns ooids juràssecs de Sicília, observà que aquests eren formats per micrita, al mateix temps que mostren la característica estructura laminar concèntrica ben desenrotllada. La micrita inclou *coccolits* i restes deixades per ells mateixos. Ara bé, queda el dubte raonable que els grànuls siguin en realitat *oncolits* d'una extraordinària perfecció geomètrica, i no ooids com es va insinuar.

Influència bacteriana

Les primeres teories sobre la influència de les bacteries en la formació dels ooids daten de 1914 i foren formulades per DREW (1914; ob. cit. BATHURST, 1971) i secundades per VAUGHAN (1914; ob. cit. BATHURST, 1971). Recentment, MONAGHAN i LYTLE (1956; ob. cit. BATHURST, 1971) i LALOU (1957; ob. cit. BATHURST, 1971) realitzaren una sèrie d'experiències encaminades a provar la influència microbiològica en la formació dels ooids.

Els assaigs que van fer DREW i VAUGHAN es basen en el fet que el CO_3Ca es precipita sobre unes certes condicions, entre les quals es troba la presència de bacteries desnitrificants, en forma d'un gel dintre del qual creixen *esferulits* d'aragonita. En totes les experiències que realitzaren, obtingueren, a més a més d'agulles d'aragonita, uns esfèrics d'un petit diàmetre (màxim 0,17 mm) amb estructura radial i escassa consistència. VAUGHAN va arribar, a través dels seus assaigs, a la conclusió que tots els ooids marins eren formats per fang aragonític, i que la seva formació es devia a l'activitat de les bacteries desnitrificants. Tot i això, el producte que ells obtingueren s'assembla poc als ooids actuals, els quals mostren una clara estructura concèntrica i són capaços de resistir un elevat nombre de col·lisions sense deteriorar-se.

Els resultats obtinguts per MONAGHAN i LYTLE, i LALOU, en les seves experiències respectives, foren similars als obtinguts per DREW i VAUGHAN en 1914. Els primers adquiriren *esterulits* d'aragonita inoculant fang aragonític amb bacteries sulfato-reductores a l'aigua de mar de les Bahames, i LALOU, treballant amb fang negre eufínic de la Badia de Villefranche-Sur-Mer (Mediterrani francès) enriquit amb glucosa, va obtenir també, en una pel·lícula que va créixer a la superfície, *esterulits* d'aragonita junt amb algunes quantitats de fang aragonític i dolomític.

Influència d'organismes algal i d'altres substàncies orgàniques

La hipòtesi que són processos algal els que donen origen als ooids marins, és fonamentada en la provada presència de matèria orgànica, principalment algues, en els embolcalls oolítics. Les primeres teories foren elaborades a final del segle XIX, i des de llavors s'han anat succeint fins els nostres dies.

Els peoners foren ROTHPLETZ (1892; ob. cit. BATHURST, 1971) i WETHERED (1890, 1895; ob. cit. BATHURST, 1971). ROTHPLETZ arribà a la conclusió que els ooids de Great Salt Lake eren producte de l'activitat fisiològica de les algues, perquè va observar que el residu insoluble que obtenia dissolent els ooids contenia restes de *Schizophyceae* (Cyanophyta), que era la mateixa alga en la qual ell havia trobat enredats laguns ooids. Posteriorment, treballant amb uns ooids del mar Roig, distingí, en els ooids, dos grups d'aquests organismes: l'un, que considerà com el constructor de l'ooid, i l'altre format per unes certes algues perforants filiformes que suposà que s'hi trobaven ocasionalment establertes. Per la seva banda, WETHERED, el qual creia que el principal material constructor de l'ooid eren els filaments ramificats d'algunes algues calcàries, entre elles els filaments ramificats d'algunes algues calcàries, entre elles la *Girvanella*, ens va legar una descripció gràfica del creixement, que, encara que no s'avingui a la realitat de l'ooid, és aplicable a l'*oncolit*.

Ambdues teories foren rebatudes, la primera per EARDLEY (1938; ob. cit. BATHURST, 1971) i la segona per CAYEUX (1935; ob. cit. BATHURST, 1971). EARDLEY indicà, en un estudi complet sobre les oolites modernes de Great Salt Lake, que la troballa d'ooids entre les colònies d'algues de ROTHPLETZ havia estat totalment casual; i CAYEUX va assegurar que les estructures de *Girvanella* no tan sols eren molt rares en les oolites sinó que era geomètricament impossible que una estructura laminar concèntrica —en totes les seccions— com la d'aquests grànuls fós contruïda per tubs.

Encara que els primers intents no fossin del tot satisfactoris, es va continuar investigant per esbrinar la relació existent entre els ooids i les algues. D'aquesta manera, ELIES i CONDRA (1957; ob. cit. BATHURST, 1971) arribaren a la conclusió que la influència biològica era important en la formació dels ooids, per la qual cosa hauria de descartar-se un origen exclusivament físico-químic, y NESTEROFF (1960; ob. cit. BATHURST, 1971), estudiant oolites fòssils i del Recent, deduí que els ooids eren construïts per algues, probablement Cyanophyta.

La dècada dels seixanta, NEWELL i d'altres (1960; ob. cit. BATHURST, 1971) deduíren que no hi havia cap evidència que les algues juguessin un paper directe en la precipitació del carbonat càlcic, ja que la presència en els ooids dels filaments algalos, identificats com a *Entophysalis deusta* i *Gomotia polyrhiza*, semblava que era deguda a una colonització esdevinguda en una etapa de no creixement oolític, proporcionada per un període de baixa energia o per un enterrament temporal. Per altra banda, ILLING (1954; ob. cit. BATHURST, 1971) féu les mateixes deduccions, indicant entre d'altres coses que: "l'orientació inicial dels cristalls havia estat similar en tot l'ooid, però que la capa més externa semblava haver estat afegida després que la zona interna hagués sofert una desorien-

tació. En uns altres ooids es troba una desorientació inversa, i la destrucció del model concèntric arrenca de la superfície, es dirigeix cap al centre i deixa un ribet tèrbol sobre un nucli oolíticament revestit".

Un descobriment important en la distribució de la matèria orgànica en els ooids, fou el de SHEARMAN i SKIPWITH (1965; ob. cit. BATHURST, 1971), els quals observaren que els ooids de la costa de Trucial, a més a més de ser travessats per una xarxa de material mucilaginosos algos, eren parcialment coberts per l'esmentada substància, la influència de la qual en el creixement de l'ooid no pogueren determinar; però aquesta troballa féu que la hipòtesi d'una simple precipitació química sobre una superfície lliure trontollés.

Recentment, han estat diverses les teories elaborades sobre la hipòtesi que el creixement oolític està relacionat amb d'altres substàncies orgàniques, tals com les proteïnes (MITTERER, 1968 i 1971; ob. cit. SUESS i FÜTTERER, 1972), que es troben en forma d'una matriu proteica, interestratificades amb les làmines concèntriques d'aragonita. Aquestes proteïnes són semblants a les dels organismes segregadors de carbonat. Per altra banda, SUESS i FÜTTERER (1972) van fer créixer ooids, al laboratori, en presència d'àcid hùmic i aigua de mar, i van obtenir uns grànuls esfèrics caracteritzats, talment com els ooids marins, per una alternança de làmines concèntriques de matèria orgànica i aragonita, però, en aquest cas, els cristalls individuals estaven orientats radialment.

En últim resultat, recordem que encara que els ooids poden créixer en coves obscures, en sistemes d'aigua industrials i fins i tot en una proveta de laboratori sota unes condicions inorgàniques controlades, bo i donant-se la coincidència que en tots aquests ambients s'ha de descartar la fotosíntesi, les experiències realitzades al laboratori sobre creixements oolítics mai no han proporcionat làmines formades per agulles d'aragonita orientades tangencialment a la superfície del grànul.

Processos físico-químics

Algunes teories elaborades sobre la formació dels ooids a partir de processos inorgànics situen aquests processos, els uns en una suspensió col·loïdal, i els altres en una solució supersaturada.

El promotor de la teoria de l'origen dels ooids per precipitació inorgànica a partir d'una suspensió col·loïdal, fou BUCHER (1918; ob. cit. BATHURST, 1971). Basà la seva hipòtesi, citant nombrosos exemples entre els quals es trobaven els *esferulits* de Drew, en el fet que una suspensió col·loïdal de minerals pot donar lloc a partícules concrecionals amb els cristalls orientats des de radialment a tangencialment, passant per estadis intermedis. Segons ell; els ooids creixerien en un fang col·loïdal, les condicions químiques del qual, adequades per al desenrotllament dels ooids, haurien estat creades per algues i bacteries. Conseqüentment, va creure que els bancs oolítics eren dipòsits secundaris. De fet, tal com es desprèn de la bibliografia, és molt rar de trobar ooids en un fang aragonític.

Pel que fa a la hipòtesi de l'origen inorgànic dels ooids marins a partir d'una solució supersaturada, són uns quants els autors que la sostenen; entre ells CAYEUX (1935; ob. cit. BATHURST, 1971), DONAHUE (1965; ob. cit. BATHURST, 1971), ILLING (1954; ob. cit. BATHURST, 1971), NEWELL i d'altres (1960; ob. cit. BATHURST, 1971), SHEARMAN (1970) i BATHURST (1971).

CAYEUX, referint-se a l'estructura dels ooids, afirmà que era una estructura d'una extraordinària perfecció, més típica del creixement inorgànic que de l'orgànic, i va anunciar les condicions que ell creia que calien per tal que tingués lloc el creixement inorgànic, tals com l'elevada temperatura, copiosament de CO_3Ca , saturació de la solució i una font de nuclis. Per la seva banda, DONAHUE, basant-se en els estudis que havia realitzat en oolites de caves i en assaigs de laboratori, suggerí els següents requisits: supersatu-

ració de la solució de CO_3Ca , un nucli detrític convenient, agitació dels grànuls i una cubeta de xipolleig. Autors com ILLING, NEWELL i SHEARMAN, que han treballat en bancs oolítics moderns, estan d'acord amb aquests quatre enunciat. En primer lloc, és bastant evident que la supersaturació és necessària perquè hi hagi un creixement cristal·lí; el nucli detrític, pel seu cantó, proporciona la superfície adequada per al creixement dels cristalls d'aragonita; l'agitació evita que la perla de cava es converteixi en una estalagmita, mantenint tota la superfície de l'oid alternativament en exposició; i la cubeta, finalment, evita l'esgarriament del grànul abans que no hagi aconseguit el seu desenrotllament. Tenint en compte que el fi primordial d'aquest resum bibliogràfic és l'estudi dels ooids marins i lacustres, traspassarem alguns d'aquests punts a l'ambient marí.

Segons BATHURST, l'equivalent marí de la cubeta fóra el sistema de control topogràfic i hidràulic exercit sobre l'oid en un banc oolític. Pel que fa a la saturació, aquest autor, tenint en compte que a les aigües marines implicades en el desenvolupament dels ooids no se'ls pot donar el qualificatiu de supersaturades, com es dedueix dels treballs de SMITH (1940; ob. cit. BATHURST, 1971), CLOUD (1962; ob. cit. BATHURST, 1971) i BROECKER i TAKAHASHI (1966; ob. cit. BATHURST, 1971) sobre els bancs oolítics de Browns Cay, i de KINSMAN (1964; ob. cit. BATHURST, 1971) sobre els de la costa de Trucial, opina que és probable que el factor crític en el creixement dels ooids marins, tenint en compte el nivell normal de saturació per al CO_3Ca , sigui l'existència d'un sistema físic que permeti l'alternança de processos de precipitació i de reorganització tals com els proposats per WEYL, de què tractarem en parlar de la dinàmica del creixement de l'oid.

El paper que juga l'agitació en el desenrotllament de l'oid no és clar ni de bon tros. En algunes àrees de Laguna Madre, Texas, es formen uns ooids (FREEMAN, 1962) caracteritzats per la manca de processos de poliment mecànic i l'alt grau d'asimetria desenrotllada en molts dels creixements oolítics. Ambdues característiques han estat atribuïdes a la baixa energia de l'ambient de formació, on l'agitació és escassa o nul·la. A aquest fet hem d'afegir que, al sud-est de Bimini Lagoon (BATHURST, 1967 a; ob. cit. BATHURST, 1971), els grànuls de carbonat es troben revestits per una pel·lícula oolítica, de 3 micres de gruix, petrogràficament indistingibles dels gruixuts embolcalls dels ooids de Browns Cay; però la seva superfície és mat en comptes de polida, i es dona la circumstància, com a Laguna Madre, que els ooids estan immobilitzats per algues, i l'única agitació que existeix a l'esmentada àrea és la provocada per les perforacions de *Callianassa*, l'esporginyada del peix lloro i els esporàdics huracans.

Així, doncs, sembla que les conclusions de CAYEUX i NEWELL no són aplicables a tots els ooids, però no hi ha dubte que les zones d'alta energia, tals com les de resaca, són les més propícies per a la formació d'aquests grànuls.

Confirmant la precipitació inorgànica d'aragonita al mar, possiblement una mica modificada per l'activitat biològica, hi ha les dades obtingudes per KINSMAN (1964; ob. cit. BATHURST, 1971) sobre el contingut en Sr^{2+} dels ooids de la costa de Trucial i dels ooids de Cat Cay, Bahames (KINSMAN, 1969; ob. cit. BATHURST, 1971) i les proporcions de $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ trobades en els ooids de les Bahames per LOWERSTAM i EPSTEIN (1957; ob. cit. BATHURST, 1971). Aquestes sèries de dades defensen la hipòtesi que l'aragonita precipita a la recerca d'un equilibri amb l'aigua de mar. Però no pot negar la importància dels processos orgànics com a modificadors locals de la composició química de l'aigua, especialment en els microambients (BATHURST 1971).

Problemàtica de l'orientació dels cristalls d'aragonita en els ooids

En oposició a la teoria d'acreixement de Sorby, podem imaginar-nos que, en un oid, les agulles d'aragonita creixen per addició d'ions, a partir del nucli cristal·lí situat a

la superfície del grànul. No s'ha de confondre aquest nucli —que és una agregació ordenada, inicial, de molècules, a partir de la qual el cristall es desenrotlla— amb el nucli detrític d'un oïd, que pot ésser una closca, una pellofa, etc., i que conté, al mateix temps, centenars de nuclis cristal·lins potencials. Tanmateix, aquest procés condueix irrevocablement a la formació d'una estructura fibroso-radial —com succeeix en els oïds de SHEARMAN i d'altres (1970), en les cambres de foraminífers, en els utricles d'*Halimeda*, en el ciment aragonític de les roques de platja, etc.— Aquesta orientació segons l'eix *c* perpendicular a la superfície de l'oïd sorgeix com a resultat del creixement competitiu, ja que els cristalls es desenrotllen més de pressa en una direcció paral·lela a un eix cristal·logràfic (BATHURST, 1971). DONAHUE (1965; ob. cit. BATHURST, 1971) va insinuar que perquè els cristalls creixessin tangencialment a la superfície del grànul calia la intervenció de l'agitació, però el que és cert és que no se sap quina és la correlació que existeix entre el grau d'agitació i l'orientació tangencial de les agulles.

Quant a aquest problema, RUSNAK (1960; ob. cit. BATHURST, 1971) i UDOWSKI (1963; ob. cit. BATHURST, 1971) suggeriren que l'estructura tangencial dels oïds marins podria atribuir-se al fet d'ésser l'estructura més resistent de l'abrasió.

Per a BATHURST (1971), la suposició que els cristalls d'aragonita creixen, des del començament, arrelats a la superfície de l'oïd, és incorrecta. El més probable, diu, és que els nuclis es formin primer a l'aigua, separats, com fang aragonític col·loïdal, i que posteriorment s'adhereixin a l'oïd per mitjà d'un procés inorgànic superficial. Anteriorment, el 1968, aquest mateix autor va insinuar que els nuclis de les noves agulles podrien ésser trossos de monocapa, amb estructura aragonítica amb elongació paral·lela a l'eix *c* —ja que l'exfoliació és segons (010) i (110)—, i d'aquesta manera podrien situar-se tangencialment a la superfície del grànul.

LIPPMAN (publicació presentada al Four Meeting of Carbonate Sedimentologist, University of Liverpool, 1967; ob. cit. BATHURST, 1971) va treballar sobre la influència del moviment dels ions en l'orientació cristal·lina quan aquests s'acosten a la cara del cristall. L'ion Ca^{2+} , explica, té una simetria quasi esfèrica, per la qual cosa és indiferent l'orientació que adopti quan arribi a la cara que va creixent, mentre que el grup CO_3^{2-} té aproximadament la forma d'un triangle, i, com que al cristall d'aragonita hi està situat segons el pla perpendicular a l'eix *c*, qualsevolga coacció sobre la seva orientació quan s'acosta al cristall en creixement pot influenciar l'orientació de la xarxa. Al mar, l'activitat del Ca^{2+} és molt més gran que la del CO_3^{2-} , per la qual cosa les superfícies dels cristalls d'aragonita tenen un excés de ions Ca^{2+} , que poden endegar els grups CO_3^{2-} que arribin a la cara del cristall, especialment quan l'espaiat de la cèl·lula unitat d'aquells amidi 5,74 Å. LIPPMAN ha considerat que en tals circumstàncies la major part dels grups CO_3^{2-} se situaran amb l'eix *c* orientat tangencialment i que, sense la influència dels ions Ca^{2+} , aquests grups adoptaran les més diverses orientacions, i s'esdevindrà una sèrie de substrats per al creixement epitàxic orientats de mil maneres diferents, i que, per la llei del creixement competitiu, es desenrotllarà una estructura fibroso-radial. Aquest autor basa la seva hipòtesi en una colla d'experiències que va realitzar, els resultats de les quals podríem dir que són encoratjadors, encara que no definitius.

Dinàmica del creixement; els experiments de Weyl

WEYL (1967, experiments C i D; ob. cit. BATHURST, 1971) realitzà una sèrie d'experiències molt interessants. En un saturòmetre, el pH-metre del qual havia prèviament modificat (WEYL, 1961; ob. cit. BATHURST, 1971), va col·locar oïds assecats amb aigua presa del mar. El pH descendí immediatament i indicà que havia precipitat carbonat. S'hi van afegir d'altres grànuls de diferents naturaleses, tals com fragments d'aragonita i restes esquelètics de calcita, com també grànuls de carborúndum, i s'obtingué el ma-

teix resultat. D'aquest fet es dedueixen dues coses: l'una és que la precipitació es realitza sobre nuclis molt heterogenis, i la segona és que són precisament els nuclis de mida arena i no els de la mida col·loidal —que n'hi ha a milers a l'aigua del mar— els que provoquen la precipitació.

Per altra banda, WEYL va condicionar un sistema mitjançant el qual passés aigua de mar, a través d'una mostra d'oolita, a un tub en U. El pH de l'aigua es mesurà abans —en A— i després —en B— del seu pas a través de l'oolita, usant el mateix pH-metre i un *by-pass*. Quan començà a circular el fluid, el pH en B descendí, i augmentà gradualment a continuació fins gairebé aconseguir el pH de l'aigua del mar que entrava a l'oolita en A, i s'hi mantingué així. Seguidament van parar el pas del fluid durant més de 16 h. Quan tornà a engegar-se, el pH en B va descendir puntualment com havia fet anteriorment, i ascendí tot seguit fins aconseguir el mateix estadi constant, a la vora d'1 mv més avall que en A. Quan l'experiència es realitzà parant el pas del fluid més poc temps, el pH en B no descendí o va descendir molt poc.

En vista d'aquests resultats, posteriorment es realitzà aquesta experiència amb ooids d'una barra oolítica d'Eleuthera Island, Bahames, i s'obtingueren dos resultats fonamentalment diferents. Els ooids que provenien de la cresta de la barra, o sigui els que havien estat recentment moguts pels corrents de la marea, només van causar un lleuger canvi en el pH, equivalent a la precipitació de 2 p.p.m./3 min. Però els ooids que foren recollits del fons d'un canal on havien passat un període de temps —desconegut— en estat estacionari causaren una precipitació de 29 p.p.m./3 min. Finalment, ooids secs proporcionaren una precipitació de 23 p.p.m./3 min. Els ooids que havien estat recentment en moviment en el mar foren analitzats una altra vegada després d'un període de repòs de 4 h. i 9 h., i es va observar que les proporcions de precipitació havien augmentat respectivament a 6 p.p.m./3 min. i 12 p.p.m./3 min. Les proves realitzades en *calcareenits* de Bonaire Island, a l'aigua de mar local, proporcionaren resultats similars: per als grànuls de la zona de resaca, la proporció de precipitació fou de 3 p.p.m./3 min. mentre que els grànuls secs recollits a la part alta de la platja proporcionaren una precipitació de 13 p.p.m./3 min.

Per explicar el repentí descens del pH de l'aigua i el seu subsegüent ascens, al seu pas per l'oolita, i la necessitat d'un període de repòs gairebé de 16 h., perquè tingués lloc una nova precipitació, WEYL suggerí que probablement a l'aragonita li cal un període de descans per a recristal·litzar. L'explicació donada es basa en el fet que és factible que l'aragonita es precipiti tan ràpidament, que la nova xarxa cristal·lina adquireixi noves impureses i imperfeccions —aigua, Mg^{2+} , dislocacions, etc.—, per la qual cosa la distorsió de les xarxes dels nous cristalls i la seva solubilitat augmentin fins que la constant del producte de solubilitat dels cristalls iguali el producte de l'activitat iònica $a_{Ca^{2+}} \cdot a_{CO_3^{2-}}$ de l'aigua de mar; no havent-hi, d'aquesta manera, possibilitat d'una altra precipitació. Durant el període de repòs, l'aragonita recristal·litzarà i reajustarà la seva estructura segons una xarxa més reduïda, i, quan aquest canvi ja s'ha realitzat, pot tenir lloc un nou creixement cristal·lí ràpid. Un període de soterrament, o sigui, quan l'ooid es troba en una solució capil·lar saturada —no sobresaturada— en la qual no hi pot haver cap precipitació, facilitaria aquest procés de recristal·lització.

Així, doncs, segons WEYL, el creixement oolític segueix un cicle. La primera etapa estaria caracteritzada per una precipitació ràpida, que coincidiria amb el període en el qual els ooids romanen en moviment; la segona, per un augment en la solubilitat dels cristalls i una disminució progressiva de la velocitat de la precipitació, i la tercera equivaldria a un període de repòs; a la fi, actuaria l'erosió, seguida d'un nou creixement ràpid, i començaria així un altre cicle. La durada d'aquestes etapes dependria de les condicions locals del transport dels ooids i de la morfologia del banc o de la barra.

L'orientació dels cristalls, en aquests creixements oolítics provocats, no fou determinada.

BIBLIOGRAFIA CITADA

- BATHURST, Robin G. C., 1971. Carbonate sediments and their diagenesis. *Developments in Sedimentology*, vol. 12, Elsevier.
- DAVIS, Richard A. Jr., 1966. Quiet water oolites from the Ordovician of Minnesota. *Journal of Sedimentary Petrology*, vol. 36, No 3, p. 813-817.
- FREEMAN, T., 1962. Quiet water oolites from Laguna Madre, Texas. *Journal of Sedimentary Petrology*, vol. 32, No 3, p. 475-483.
- KAHLE, Charles F., 1974. Ooids from Great Salt Lake, Utah, as an analogue for the genesis and diagenesis of ooids in marine limestones. *Journal of Sedimentary Petrology*, vol. 44, No 1, p. 30-39.
- SUESS, E. and FÜTTERER, D., 1972. Aragonitic ooid: experimental precipitation from seawater in the presence of humic acid. *Sedimentology*, 19: 129-139.
- TEICHERT, C., 1970. Oolite, Oolith, Ooid: Discussion. *The American Association of Petroleum Geol. Bull.* vol. 54, No 9, p. 1748-1749.
- SHEARMAN, D.J., TWYMAN, J and ZANDKARINI, M., 1970. The genesis and diagenesis and diagenesis of oolites. *Proc. Geol. Ass.* 81:561-575.