

SEMINARIS D'ESTUDIS UNIVERSITARIS

2

COMPONENTS DELS SEDIMENTS CARBONATATS Part I: Components no - esquelètics

Antoni Obrador
Eulàlia Gili i Folch
Albert Permanyer
Francesc Calvet Rovira

Circular per als membres de la

INSTITUCIÓ CATALANA D'HISTÒRIA NATURAL

INTRODUCCIÓ

Antoni Obrador

Universitat Autònoma de Barcelona

Moltes roques carbonatades depenen, directament o indirectament, de l'activitat orgànica d'animals o plantes. Això queda reflectit a la roca com a restes intactes o fragmentades o com a individus en posició de creixement. Convé distingir entre un component (gra o claste) dependent d'una certa activitat orgànica i de l'individu mateix, que pot donar lloc a formes topogràfiques (*Skeletal limestones*, seguint la nomenclatura de NELSON i d'altres, 1962).

Una primera divisió dels components podria ésser la d'"orgànics" i "no orgànics" o "inorgànics"; termes que es van utilitzant des de molt antic i que figuren a les classificacions d'en TWENHOFEL, (1950), JOHNSON, (1951), etc. Posteriorment el terme orgànic d'aquestes classificacions és substituït per en FERAY i d'altres, (1962), per bioquímic que, a la vegada, és subdividit en "esquelètic" i "no esquelètic"; termes que havia emprat per primera vegada ILLING, (1954).


Un component esquelètic serà aquell produït per organismes que utilitzen el CO_3Ca per construir estructures de suport o de protecció.

Un component no esquelètic és el producte del metabolisme d'organismes o bé d'altres processos no bioquímics.

A primera vista, no sembla difícil distingir components esquelètics i no esquelètics, però la distinció és molt difícil quan els components són de gra fi. Segons Feray i d'altres, (1962), la mida mínima de les partícules necessària per a poder identificar-ne l'origen és 1/16 mm.

D'altra banda, hi ha també el problema, tal com han demostrat LOWENSTAM i EPSTEIN, (1957), que unes certes algues segreguen internament agulles d'aragonit que s'incorporen, quan mor l'alga, al sediment del fons, i que no poden diferenciar-se petrològicament de les agulles formades físico-químicament. També Illing, (1954), explica com un component esquelètic pot perdre la seva identitat per reducció progressiva de volum, reemplenament secundari o recristal·lització. Tot això ens porta al problema de l'origen del carbonat de gra fi (lime mud).

La identificació del CO_3Ca esquelètic pot ésser establerta, si coneixem els caràcters específics de forma i estructura típics dels esquelets d'organismes segregadors de CO_3Ca , junt al convenciment que això no es dona en partícules no esquelètiques.



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

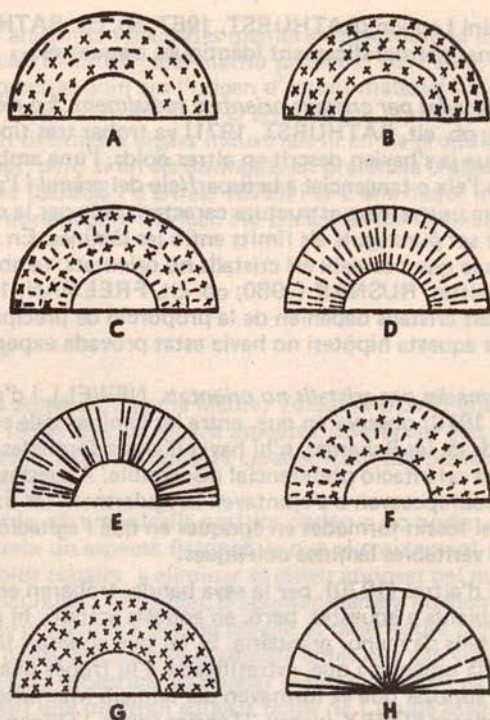


Fig. 1. Prototipus esquematitzats d'estructura d'ooids segons KAHLE (1974). Les línies, ja siguin contínues o discontinües, representen els cristalls de carbonat i la seva orientació excepte a B, que subsisteixen el mucílag. La x els cristalls de carbonat no orientats.

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 desenrotllament. 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

capas 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 húmnic (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'abradió 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 ésser 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

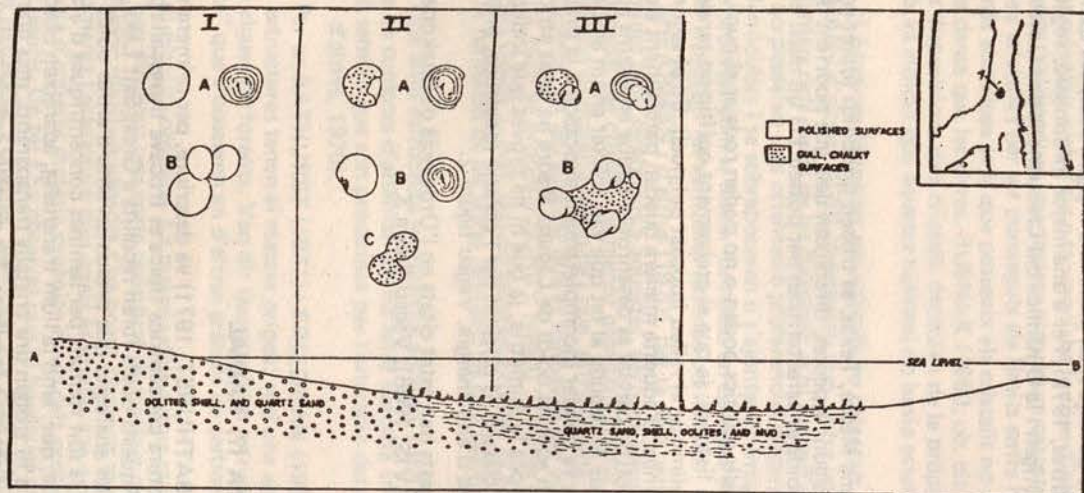


Fig. 2.— Perfil diagramàtic d'ambients mostrant d'una manera característica els sediments oolítics afins, segons FREEMAN (1962).

I A. Grànul i secció d'ooïd d'aigües agitades —shorline—; polit, simètric.

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

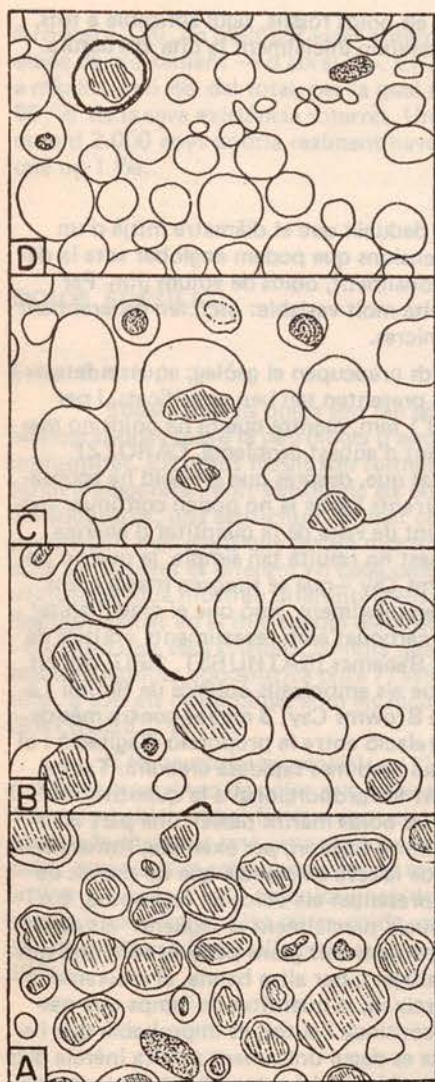
II A. Grànul i secció d'ooïd de la zona intermèdia entre aigües agitades i aigües tranquil·les. Originalment formats en l'agitada shorline i posteriorment introduïts en un nínxol de baixa energia; revestiment mat cobrint incompletament la superfície polida anterior.

B. Grànul i secció d'ooïd 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'ooïd 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 posseïxin 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 aconseguen 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, aconseguen 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 bancs oolítics de

Browns Cay, un ooid pot estar enterrat durant unes quantes dècades entre l'una i l'altra etapa de creixement —i d'abració—. 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 %.

OIDS 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 repenjanent-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 ooids 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 cristal·lins 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.

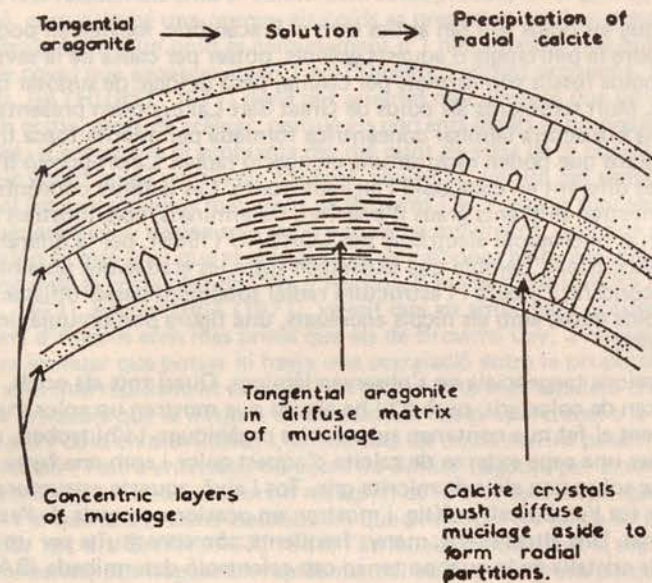


Fig. 4.— Diagrama de la substitució dels cristalls radials de calcita entre capes mucilaginoses, concèntriques, d'un ooid, segons SHEARMAN i d'altres (1970).

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 ooid 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, ooids amb una làmina o més d'una, externes parcialment o totalment despreses del grànul, com a conseqüència

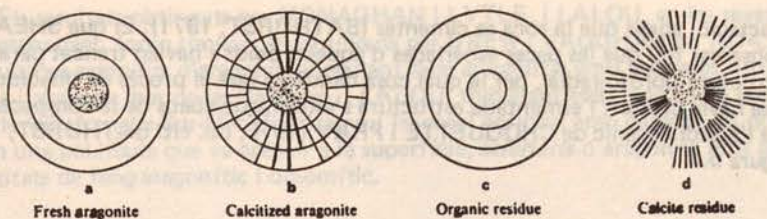
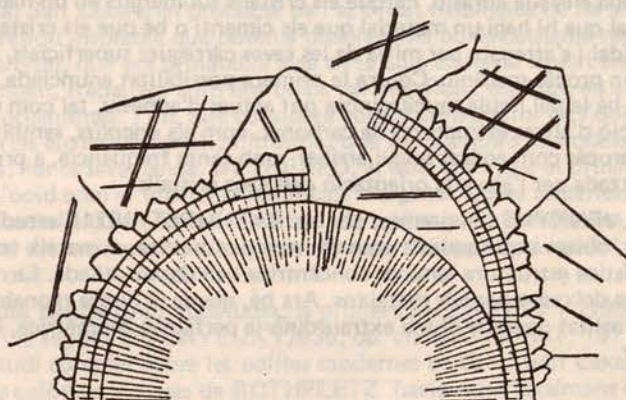


Fig. 5.— Diagrama de BATHURST (1971) que il·lustra els assaigs de SHEARMAN i d'altres (1970).

- 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 H₂O₂.



Oolite with concentric layer spalled off during compaction

Stages in the formation of a fractured oolite.

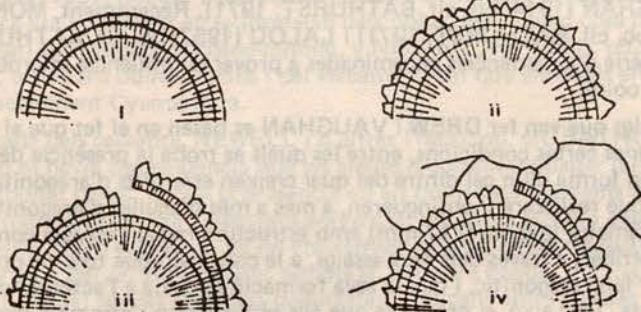


Fig. 6.— Diferents estadis de la fractura d'un ooid entre la primera i les últimes fases de la cimentació, segons SHEARMAN i d'altres (1970).

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 deduïren 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'acreciment 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 vindrien 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 mucilaginososa 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, JENKYN (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 pioners 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 construïda 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 mucilaginos algós, 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 húmich 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, copiós abastament 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 enunciats. 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'ooïd 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 ooïds 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'ooïd 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 ooïds 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 ooïds 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'ooïd.

El paper que juga l'agitació en el desenrotllament de l'ooïd no és clar ni de bon tros. En algunes àrees de Laguna Madre, Texas, es formen uns ooïds (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 ooïds de Browns Cay; però la seva superfície és mat en comptes de polida, i es dona la circumstància, com a Laguna Madre, que els ooïds estan immobilitzats per algues, i l'única agitació que existeix a l'esmentada àrea és la provocada per les perforacions de *Callianassa*, l'esporenyada del peix lloro i els esporàdics huracans.

Així, doncs, sembla que les conclusions de CAYEUX i NEWELL no són aplicables a tots els ooïds, 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 ooïds de la costa de Trucial i dels ooïds de Cat Cay, Bahames (KINSMAN, 1969; ob. cit. BATHURST, 1971) i les proporcions de $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ trobades en els ooïds 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 ooïds

En oposició a la teoria d'acreciment de Sorby, podem imaginar-nos que, en un ooïd, 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 ooid, 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 ooids 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'ooid 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 ooids 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'ooid, 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'ooid 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 plànol 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 ooids 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.

LITOCLASTES

Albert Permanyer, Departament de Petrologia i Geoquímica de la Universitat de Barcelona

Un dels termes que més confusió han portat, i que encara la motiven, són els d'intraclaste i extraclaste. En general, com s'endevina, l'un i l'altre serveixen per a anomenar aquells clastes o grans que són propis de la conca sedimentària (el primer) o bé que en són forans (el segon).

Un intraclaste (segons FOLK, 1959) és un fragment de sediment carbonatat, dàbilment consolidat, retreballat dins de la mateixa àrea de sedimentació. Això implica, per a aquest autor, una acció erosiva d'alguns centímetres en profunditat des de la superfície del sediment. Per a Folk serien intraclastes tant els lumps com un grapestone o un gra de micrita.

L'extraclaste serà, per oposició, aquell fragment de roca que procedeix d'una altra banda que de la conca sedimentària. Quan aquest fragment deriva d'una roca carbonatada, Folk el denomina "CARBONATE LITHOCLAST" o sigui, litoclaste carbonatat.

Aquest concepte per al terme extraclaste = litoclaste, ja el trobem esmentat a ILLING (1954), on se'n parla de "DERIVED GRAINS", en el mateix sentit que litoclaste carbonatat.

LEIGHTON i PENDEXTER (1962) ens parlen de "DETRITAL GRAINS", o sigui grans detrítics, i diuen que poden ésser del tipus intraclaste, en el mateix sentit que FOLK (1959), o bé "fragments de roques" derivats de roques preexistents.

El mateix any, 1962, Folk, en una nova reestructuració de la seva coneguda classificació de roques carbonatades, reserva el terme de litoclaste per anomenar aquells fragments de roca preexistents. D'aquí conclouen que: tan litoclaste serà un gra de quarsita com un gra de dolomia que es trobi formant part d'una calcària miocènica, per exemple.

Més modernament, MILLIMAN (1974) torna a parlar de litoclastes com grans exclusivament formats per roques carbonatades.

Finalment, com a darrera referència bibliogràfica, tenim CALVET (1974), on s'utilitza de nou el concepte de Folk, de 1962.

Fins ara hem vist la diferent utilització de litoclaste pels diferents autors esmentats més amunt. Com a solució que creiem més pràctica i menys confusionària, podem proposar, per al terme de litoclaste, la definició de FOLK (1962). El litoclaste serà, doncs, tot aquell gra de roca, carbonatada o no, que no pertany a la pròpia conca sedimentària i que, per tant, li és preexistent.

Però, tanmateix, existeixen un bon nombre de grans minerals (quars, mica, feldspats,...) de presència freqüent i normal a les roques carbonatades i que no són litoclastes en el sentit de lithos = roca. No obstant això, proposem que aquests grans minerals, d'origen detrític, siguin considerats també com litoclastes, ja que la majoria procedeix de la meteorització, erosió,..., de roques preexistents.

En termes d'ambient sedimentari, la presència de litoclastes en un sediment (en una roca) ens pot suggerir:

- La comunicació d'un aflorament subaeri o subaquàtic amb la conca de sedimentació.
- La composició del litoclaste no dependrà del sediment en què es trobi, sinó de les característiques de la roca de l'aflorament del qual procedeix.

BIBLIOGRAFIA

- CALVET, F. (1974). Evolución diagenética en los sedimentos carbonatados de playa del Pleistoceno de Mallorca. Tesis Licenciatura. Depto. Petrología Univ. de Barcelona, 150 p.
- FOLK, R.L. (1959). Practical petrographic classification of limestone. *Am. Ass. Petrol. Geol., Bull.* 43:1-38.
- _____ (1962). Spectral subdivision of limestone types. In: W.E. HAM (ed.), *Classification of carbonate rocks*. Am. Ass. Petrol. Geol., Mem. nº 1:62-84.
- ILLING, L.V. (1954). Bahaman calcareous sands. *Am. Ass. Petrol. Geol. Bull.* 38:1-95.
- MILLIMAN, J.D. (1974). *Recent sedimentary carbonate. Part I. Marine carbonates*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 375 p.

GRANS COMPOSTOS

Francesc Calvet i Rovira, Departament de Petrologia i Geoquímica de la Universitat de Barcelona

1.— Antecedents i evolució de la terminologia

SORBY (1879) fou el primer que va observar agregats carbonatats cimentats. VAUGHAN (1918) també n'observà.

Va ser ILLING (1954) el primer qui digué que aquests grans eren d'origen modern, i va demostrar que els agregats no eren derivats a partir d'un procés d'erosió, sinó que es formaven al fons del mar. Aquest autor reconeix com a agregats els que són friables (*friable aggregates*) i els *lumps*.

— Agregats friables. Partícules de mida llim i argila cimentades per fibres orgàniques o filaments d'algues. Pel fet de ser inicialment molt tous, els denomina agregats friables. Nota que poden ser trobats a tots els estadis de transició o en la cimentació.

— *Lumps*. Són aquells agregats que tenen partícules de mida arena. En reconeix diverses formes, que són:

- * *Grapestones*. Els defineix com a: grans arrodonits, que, en general, sobresurten del *lump*, i que tenen una aparença semblant a les branques del raïm.
- * *Botryoidal lumps*. Són *grapstones* amb una superfície oolítica.
- * *Encrusted lumps*. Són *grapstones* amb les superfícies polides, modificades per una intensa activitat algal. El procés d'alteració en canvia les superfícies, i fa impossible, molts cops, de distingir els *encrusted lumps* d'altres grans amorfs.

Com es veu, per a ILLING, la distinció entre aquestes formes es basa més en la forma de la superfície que no pas en característiques petrològiques. Sovint són difícils de distingir l'una de l'altra, i ja ILLING diu que no hi ha una divisió clara.

DAETWYLER i KINDWELL (1959) denominen els *grapstones* i els *encrusted lumps* com grans constituents (*constituent grains*).

PURDY (1963 a i b), a l'estudi de les fàcies carbonatades actuals a les Bahames, inclou els següents components tipus: agregats de fang carbonatat (*mud aggregates*), *grapstones*, agregats orgànics (*organic aggregates*) i grans criptocristal·lins. Aquest autor no fa les divisions en diferents categories que feia ILLING (1954) per als *lumps*, excepte en el cas dels *botryoidal lumps*.

— Agregats de fang carbonatat. Són els equivalents dels agregats d'ILLING (1954). Petrològicament s'assemblen molt als *pellets*. La recristal·lització transforma els agregats de fang carbonatat en masses homogènies de carbonat criptocristal·lí.

— *Grapstones*. Els defineix com agregats de grans esquelètics o no cimentats, en els quals el ciment es troba en general restringit a la perifèria dels agregats, i l'interior tendeix a quedar porós. Dins aquest component, inclou els *grapstones* i els *encrusted lumps* d'ILLING (1954). Els *botryoidal lumps*, els considera oïds. Amiden de 2,5 mm a 0,5 mm, i, en general, són més o menys d'1 mm. El ciment de la perifèria té dimensió llim i argila, menys de 4 micres, i és de cristalls d'aragonita. Els buits de l'interior poden ser omplerts de cristalls aciculars d'aragonita.

— Agregats orgànics. Sovint s'hi observa una estructura cel·lular, que fa suposar que el carbonat *binding* és d'origen orgànic. Els organismes que poden causar l'agregació del gra són, segons ILLING (1954), algues o foraminífers irregulars. Aquest autor conside-

ra com a agregats orgànics les construccions d'uns certs tubs que, en trencar-se, donen lloc a agregats.

KENDALL i SKIPWITH (1969). Estudien les fàcies carbonatades i evaporítiques del Golf Pèrsic. Aquests autors en descriuen els components, diuen en quin medi concret es formen, i n'expliquen la formació per causes hidrodinàmiques de l'ambient. Consideren com a agregats les següents partícules: agregats orgànics, *grapestones*, *botryoidal lumps*, *encrusted lumps*, tubs de cuc (*worm tubes*) i closques omplertes (*shell infilling*). Com es pot veure, segueixen la terminologia proposada per ILLING (1954) i hi afegeixen dos tipus nous.

— Agregats friables. Compostos de partícules de mida llim, lleugerament cimentades per filaments d'algues o d'uns altres teixits orgànics, tal com observa ILLING. Es formen en els camps d'herbes del fons dels *lagoons*.

— *Grapestones*. Agregats compostos de partícules de mida arena, cimentades posteriorment per ciment aragonític. Forma de gra de raïm. Les forces de desintegració mecànica preveuen un creixement limitat i depenen de la relació entre el grau de cimentació i força o energia de les onades. Es formen en el fons del *lagoon*, en bancs de la costa. Així, a les zones més protegides del *lagoon* són més grans i irregulars que a les zones més actives.

— *Botryoidal lumps*. Són semblants als *grapestones* perquè es componen de partícules mida arena, però se'n diferencien per fet d'anar coberts d'una fina capa d'aragonita. Representen *grapestones* en procés de formació oolítica. Es troben a les zones de més alta energia.

— *Encrusted lumps*. Ho considera igual que ILLING (1954).

— Tub de cuc. Són les parets de construccions de cucs. Si estan senceres, és fàcil de distingir d'on vénen, però si es trenquen, no.

— Closques omplertes. Agregats que s'acumulen amb la protecció d'una closca.

BATHURST (1971) no en dóna cap concepte nou, i usa tots els termes emprats anteriorment.

MILLIMAN (1967 i 1974) defineix un agregat com dos o més fragments units posteriorment per una matriu criptocristalina que constitueix menys de la meitat del gra, i un *lump* o gra criptocristal·lí com dos o més fragments units posteriorment per una matriu que constitueix més de la meitat del gra.

WINDLAN i MATTHEWS (1974) utilitzen el concepte de *grapestone* donat per PURDY (1963 a), i anoten que els grans components dels *grapestones* de les Bahames són, en gran part, oïds recristal·litzats.

2.— Conclusions petrològiques

Com s'observa, existeix una gran confusió terminològica entre els termes agregat, *lump*, *grapestones*, etc. (vegeu fig. nº 1). Per simplificar aquesta confusió, es pot utilitzar el concepte de gra compost, el qual inclou tots els antics conceptes, ja que és molt general.

S'entén per gra compost un conjunt de grans —bioclàstics o no— cimentats per qualsevol tipus de ciment i independentment del grau de cimentació, friabilitat i forma externa.

Cada un dels termes definits pels diferents autors són vàlids quan s'utilitzen per a una àrea determinada i, en aquesta àrea, es pot aplicar el concepte donat.


ILLING (1954)			DAETWYLER i KIDWELL (1959)	PURDY (1963)	KENDALL i SKIPWITH (1969)	MILLIMAN (1974)	
aggregates	lumps	grapes- tones	constituent grains	grapestones	grapestones	Aggregates L 50 %	grans compostos
		encrusted lump			encrusted lump		
	botryoi- dal lumps	oolits		botryoidal lumps	Lump 750 %		
friable aggregate	mud aggregate	friable aggregate					
	organic aggregates						
		worm tubes					
		shell infilling					

Fig. 1

MOSTRA	% Arag.	% HMC	% LMC	% quars	Mg	Sr	Matèria Orgànica	Autor
Grapestones, Great Bahama Bank	96	5	-	-	3.400	9.200	-	MILLIMAN (1967)
29 grans no-skeletal, Hogsty Reef	95	5	-	-	4.400	9.300	-	MILLIMAN (1967)
Grapestones, Fraser Hog Cay, Bahames	95	5	-	-	4.150	9.180	-	KINSMAN (1969)
Grapestones, khor-al-Bazam, Golf Persic	80 - 100	-	-	0 - 20	-	-	-	KENDALL i SKIPWITH (1969)
Grapestones, Grand Cayman Island	82	15	2	-	$6,8 \times 10^{-3}$	51×10^{-2}	-	ROBERTS I MOORE (1971)
Aggregates, Serrana Bank	88	-	-	-	6.300	9.700	2,6	in MILLIMAN (1974)

Fig. 2

3.— Composició

Mineralogia: de la manera com ha estat definit el gra compost hi ha, en principi, moltes diferències en la composició mineralògica les quals depenen del tipus de ciment i de la proporció i del tipus de grans. Ara, com que la majoria d'autors defineixen agregats, *grapestone*, *lump*, com aquells que tenen ciment aragonític (ILLING, 1954; PURDY, 1963; KENDALL i SKIPWITH, 1969; ROBERTS i MOORE, 1971; MILLIMAN, 1974) hi ha força coincidència amb les proporcions dels diferents compostos d'àrees diferents. Així s'observa que el component mineral dominant és l'aragonita, d'un 83 % a un 90 % (vegeu fig. nº 2).

Geoquímica: els grans compostos tenen, en general, una alta proporció de matèria orgànica (PURDY, 1963; MILLIMAN, 1974). El contingut de Mg és relativament alt, la qual cosa, per a KINSMAN (1969), és deguda al fet de contenir HMC. Els grans compostos, pel fet de tenir l'aragonita com a mineral més abundant, tenen una alta concentració de Sr que totes les anàlisis situen pels volts de 9.180 a 9.700 ppm. (vegeu fig. nº 2).

4.— Teories sobre l'origen dels grans compostos

a) Teories amb influència bacterial.

PURDY (1963 b) observa que la matèria orgànica es troba relativament concentrada en el ciment, i que l'origen d'aquesta matèria orgànica és difícil de determinar. Una part procedeix d'algues unicel·lulars i filaments d'algues perforants; però la major part procedeix d'una acumulació de matèria orgànica detrítica.

També observa que hi ha precipitació de carbonat entre els grans, i no a la superfície del gra compost, precisament on hi ha més concentració de matèria orgànica; i això fa pensar que hi ha una certa relació entre la presència de matèria orgànica i la precipitació de ciment. Per a PURDY, potser és la descomposició bacterial del detritus orgànic la causa de la formació del ciment. La precipitació del ciment depèn de dos factors:

- 1) sobresaturació de l'aigua respecte al carbonat de calci; i
- 2) disminució de la solubilitat del carbonat de calci per les reaccions de descomposició en el microambient immediat.

Aquest autor suposa que, quan l'acció de les onades és lleugera, els detritus orgànics s'acumulen entre els sediments del fons; i, si els corrents són més forts, s'acumulen durant les interfases deposicionals. Així, períodes curts d'agitació seguits de períodes llargs d'estabilitat del fons i precipitació del ciment produiran les típiques estructures dels *grapestones*.

La idea que hi ha una influència del procés bacterial en la formació dels grans compostos, ha estat seguida per TAFT i HARBAUGH (1964) i BATHURST (1967). Aquests autors citen que pel·lícules d'algues marrons i verdes cobreixen els sediments de *grapestones* de les Bahames, immobilitzen els *grapestones* i es realitza un procés bacterial.

b) Teories amb influència de precipitació inorgànica: físico-química.

ILLING (1954) atribueix un origen físico-químic als *grapestones* de les Bahames.

MILLIMAN (1967) parteix més de dades geoquímiques que no petroliques, per a determinar l'origen dels components no esquelètics. Compara el contingut del Sr en materials escullosos i *lagonals* d'un atol de les Bahames (Hogsty Reef). Observa que els sediments del *lagoon* tenen una quantitat més alta de Sr que la que en principi esperava, si calculava separatament cadascun dels components que formen el sediment. D'aquests com-


ILLING (1954)		DAETWYLER i KIDWELL (1959)	PURDY (1963)	KENDALL i SKIPWITH (1969)	MILLIMAN (1974)
aggregates	lumps	grapestones	grapestones	grapestones	Agregates L 50 %
				encrusted lump	
		botryoidal lumps	oolits	botryoidal lumps	Lump 750 %
	friable aggregate	mud agregates	friable aggre		
	organic agregates			Grans compostos	
			worn tubes		
			shell infilling		

Fig. 1

ponents, els que tenen contingut més alt de Sr són els d'aragonita, i no sobrepassen el 7 o 8,5 ‰ la concentració de Sr; però aquest autor hi trobava valors de més de 9 ‰ i fins i tot de 10 ‰. Per tant, i segons MILLIMAN, aquest increment de Sr del *lagoon* no sembla d'origen orgànic. Només l'aragonita precipitada inorgànicament té valors de Sr tan alts. A més, observa que hi ha una relació directa entre la quantitat de Sr i el percentatge de fragments no esquelètics dels sediments *lagoonals*.

MILLIMAN (1974) observa que els grans es troben predominantment en ambients d'aigües poc profundes tropicals i ambients *lagoonals* més o menys restringits. Arriba a la conclusió que és en els ambients supersaturats de carbonats on s'incrementa la possibilitat d'una precipitació inorgànica.

c) Teories que donen gran importància a la influència d'algues.

MONTY (1967) descriu l'agregació de partícules per algues blauverdes; en concret: per les algues *Schizothrix* i *Scytonema* (que fan la mateixa funció que *Girvanella* en el registre fòssil). Aquestes algues poden precipitar carbonat microcristal·lí i enganxar-ne els grans. En general els grans que hi ha dins els grans compostos esdevenen completament incognoscibles per causa de les perforacions algals. Aquest autor opina que la matèria orgànica és d'origen algal, i en això difereix de PURDY (1963), a i b) que la creu d'origen detrític.

KENDALL i SKIPWITH (1969) observen que els *grapestones* es troben al fons herbós del *lagoon* i als bancs. Al *lagoon*, durant els períodes de mínima activitat d'onades, la superfície del sediments se cimenta inicialment per una pel·lícula orgànica. Als bancs intermareals, l'agent inicialment *binding* és o un mucíl·lag orgànic o un ciment aragonític incipient de *beach-rock*. A les dues àrees, si el procés de cimentació continua, es precipita aragonit per causa de la fotosíntesi de les algues blauverdes.

La superfície de la crosta es pot trencar en petits grans compostos per l'acció de les onades. Per tant, les dimensions dels *lumps* depenen de la duresa del ciment i de la força de les onades. Si el mar està gaire agitat, es pot arribar a separar partícula per partícula, però en general es produeixen agregats. Aquests autors donen la següent seqüència hidrodinàmica per a les partícules carbonatades d'origen físico-químic (vegeu fig. nº 3).

d) Altres orígens.

Independentment del tipus d'origen donats abans, s'observen dos possibles orígens per a grans compostos.

- 1.— A partir del sediments intern de gasteròpodes, serpúlids, lamel·li-branquis, etc., en els quals els corcolls es puguin dissoldre, sovint ajudats per fractures.
- 2.— A partir de construccions aglutinants que realitzen uns certs poli-quets, etc..., els quals, destruïts per les onades, són transportats a les platges, on fossilitzen. Aquest origen ja és citat per PURDY (1963), KENDALL i SKIPWITH (1969).

BIBLIOGRAFIA

- BATHURST, R.G.C. (1967). "Oolitic films on low energy carbonate sand grains". *Marine Geol.*, v. 5, p. 89-109.
- BATHURST, R.G.C. (1971). *Carbonate sediments and their diagenesis*. Development in Sedimentology, nº12, Elsevier Publishing Company. Amsterdam, 620 p.

- DAETWYLER, C.C. i KIDWELL, A.L. (1959). "The Gulf of Batabono, a modern carbonate basin". Fifth World Petroleum Congress Section 1, p. 1-21.
- ILLING, L.V. (1954). "Bahaman calcareous sands". *Am. Assoc. Petrol. Geologists Bull.* v. 35, p. 1-95.
- KINSMAN, D.J.J. (1969). "Interpretation of Sr²⁺ concentration in carbonate minerals and rocks". *Jour. Sed. Petrol.*, v. 39, p. 486-508.
- KENDALL, C.G.St.C. i SKIPWITH, P.A. d'E. (1969). "Holocene Shallow-water carbonate and evaporite sediments of Khor al Bazam, Abu Dhabi, southwest Persian Gulf". *Am. Assoc. Petrol. Geologists Bull.* v. 53, p. 841-869.
- MILLIMAN, J.D. (1967). "Carbonate sedimentation on Hogstiy Reef, a Bahamian Atoll". *Jour. Sed. Petrol.*, v. 37, p. 658-675.
- MILLIMAN, J.D. (1974). *Recent Sedimentary Carbonates. Part. I. Marine Carbonates.* Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 375 p.
- MONTY, C. (1967). "Distribution and structure of Recent stromatolitic algal mats, eastern Andros Island, Bahamas". *Am. Soc. Geol. Belg., Bull*, v. 90, p. 55-100.
- PURDY, E.G. (1963). "Recent Calcium Carbonate Facies of the Great Bahama Bank 1. Petrography and Reaction Groups". *Jour. Geol.*, v. 71, p. 334-355.
- PURDY, E.G. (1963). "Recent Calcium Carbonate Facies of the Great Bahama Bank 2. Sedimentary Facies". *Jour. Geol.*, v. 71, p. 472-497.
- ROBERTS, H.H. i MOORE, C.H. Jr. (1971). "Recently Comented Aggregates (Grapstones), Gran Cayman Island, B.W.I.". En Bricker, O.P. (Ed.). *Carbonate Cements.* The Johns Hopkins Press. Baltimore and London, p. 88-90.
- TAFT, W.H. i HARBAUGH, J.W. (1964). "Modern carbonate sediments of southern Florida, Bahamas, and Espiritu Santo Island, Baja California: A comparison of their mineralogy and chemistry". Stanford. *Univ. Publ. Geol. Sci.*, v. 8, n° 2, 133 p.
- WINLAND, H.D. i MATTHEUS, R.K. (1974). "Origin and significance of grapestones, Bahama Island". *Journ. Sed. Petrol.*, v. 44, p. 921-927.

PELOIDS

Francesc Calvet i Rovira, Departament de Petrologia i Geoquímica de la Universitat de Barcelona

1.— Classificació i terminologia

McKEE i GUTSCHICK (1969) usen el terme "peloid" per a aquells components constituïts per un agregat de grans criptocristal·lins de carbonat, independentment del seu origen i de les dimensions.

BATHURST (1971) parteix de la definició anterior i inclou en els "peloids" els "pellets fecals", d'altres "peloids" i "grapestones" i "lumps".

MILLIMAN (1974) denomina "peletoid" els grans carbonatats, en general arrodonits o cilíndrics, que tenen una textura criptocristal·lina desorientada. Hi inclou els "pellets fecals", oïds recristal·litzats o alterats i algues coral·lines alterades.

FAHRAEUS, SLATT i NOWLAN (1974) sistematitzen una mica la terminologia emprada i proposen la següent:

- "peloids", per a agregats d'origen desconegut.
- "pellets fecals", per a agregats d'origen orgànic.
- "peletoides", per a agregats formats per la recristal·lització d'altres partícules.
- "pseudopellets", per a agregats d'origen inorgànic demostrable.

2.— "Pellets fecals"

2.1.— Petrologia

Composició: Tenen una textura interna de grans no orientats i mal classificats de partícules fines de diversos tipus. Les mides predominants són les de lim i argila. Aquests grans són ajuntats per mucus orgànic (KORNICKER i PURDY, 1957; NEWELL i RIGBY, 1957), fibres orgàniques (FOLK i ROBLES, 1964), matèria orgànica i carbonatada (MILLIMAN, 1974). Dins els "pellets fecals", també s'inclouen fragments més grossos de diversos tipus com:

— fragments esquelètics. Han estat observats nombrosos fragments esquelètics, d'entre els quals destaquen: fragments de foraminífers (PURDY, 1963a; FLOK i ROBLES, 1964; DAVIES, 1970), espícules (PURDY, 1963a), ostràcods (DAVIES, 1970) i, especialment, fragments d'algues, que per a KORNICKER i PURDY (1957) són petits cossos algals; segons PURDY (1963a), s'observen comunament com unes taques marrons on hi ha una certa concentració de matèria orgànica; per a FOLK i ROBLES (1964), són masses d'algues vermelles i esferes d'algues verdes; per a DAVIES (1970), són fragments d'algues coral·lines, i per a MILLIMAN (1974), són algues microscòpiques.

— fragments no esquelètics, com els grans criptocristal·lins citats per PURDY (1963a) i per DAVIES (1970) i "pellets fecals" petits que són inclosos dins "pellets fecals" més grossos (PURDY, 1963a).

— taques negres: ILLING (1954) i NEWELL i RIGBY (1957) les interpreten com uns fragments de material quitinós. GINSBURG (1957) diu que és un procés químic de la reacció del sulfur d'hidrogen amb el ferro que dona sulfur de ferro. Segons PURDY (1963a) és un producte diagenètic.

— silici. Citat per NEWELL i RIGBY (1957).

— aigua. D'acord amb FOLK i ROBLES (1964), ocupa una gran part del volum total dels "pellets".

Matèria orgànica: Molts autors han observat que en els "pellets" fecals que hi ha una certa quantitat de matèria orgànica (KORNICKER i PURDY, 1957; GINSBURG, 1957; PURDY, 1963a; BATHURST, 1971; MILLIMAN, 1974). FOLK i ROBLES (1964) creuen que la quantitat de matèria orgànica és molt alta, i donen percentatges que varien d'un 50 % a un 90 %.

Formes: En línies generals, les formes dels "pellets fecals" tendeixen a ésser arrodonides, esfèriques, subesfèriques, el·lipsoidals, cilíndriques, ovoidals, etc.

Diversos treballs (MANNING i KUMPF, 1959; KORNICKER, 1962, etc.) destaquen en l'estudi de les formes dels "pellets fecals". Aquests treballs tenen per objecte comprovar la hipòtesi que la forma dels "pellets fecals" pot tenir importància filogenètica i taxonòmica. Així KORNICKER (1962) fa una classificació morfològica dels "pellets fecals" dels gasteròpodes en: "pellets" ovals, tubs no modelats ("unsculpture rods"), tubs modelats ("sculpture rods") i "pellets" informes. Els "pellets" dels lamel·libranquis, els classifica de la mateixa manera, però hi afegeix els de forma de bastonet ("robbonlike"); vegeu fig. nº 1.

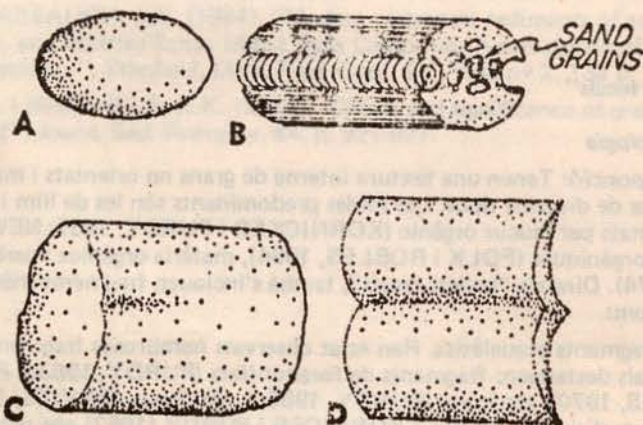


Fig. 1.— Segons KORNICKER (1962, p. 830).

Dimensions: En principi no té cap sentit delimitar un "pellet fecal" de qualsevol altre gra no esquelètic pel seu volum, ja que els grans que es denominen "pellets fecals", ho són pel seu origen. A més, hi ha grans divergències entre els diferents autors, com indica la taula següent:

	límits en mm.	mitjana en mm
KORNICKER i PURDY (1957)	-	0,9
FOLK (1962)	0,03 - 0,15	0,04 - 0,08
PURDY (1963a)	0,03 - 0,5	-
SHINN, LLOYD i GINSBURG (1969)	1	40 - 80 micr.
DAVIES (1970)	0,4 - 0,6	-
MILLIMAN (1974)	0,2 - 2	0,2 - 0,6

Mineralogia: La composició mineralògica i geoquímica d'un "pellet fecal" ve, pràcticament, determinada per la composició del sediment on viu l'animal productor de "pellets fecals", com es pot observar a la taula que segueix:

	Arag.	HMC	mat. org.	quars	
DAVIES (1970)	27	42	-	31	Austràlia
DAVIES (1970)	21	25	-	54	Austràlia
MILLIMAN (1974)	87	-	4,7	-	Bahames
MILLIMAN (1974)	96	-	2,3	-	Bahames

2.2.— Importància filogenètica i taxonòmica

Diversos geòlegs i biòlegs han observat que la forma dels "pellets fecals" és característica i gairebé uniforme en els membres d'una espècie. Així, la forma i composició dels "pellets fecals" poden tenir un significat filogenètic i taxonòmic important (MANNING i KUMPF, 1959; KORNICKER, 1962). Per exemple: ABBOTT (1954, 1958) usa la dimensió i forma dels "pellets" fecals com a ajuda per a la identificació de diverses espècies de gasteròpodes.

El treball de KORNICKER (1962) parteix d'aquestes idees. Estudia les formes dels "pellets" de gasteròpodes i lamel.libranquis i els relaciona amb els principals ordres d'aquests grups. N'observa els següents resultats (figs. nº 2 i 3). Dels resultats n'obté les següents conclusions: importància filogenètica, paleontològica (reconstrucció de les parts toves de l'animal) i paleoecològica (hàbit alimentari).

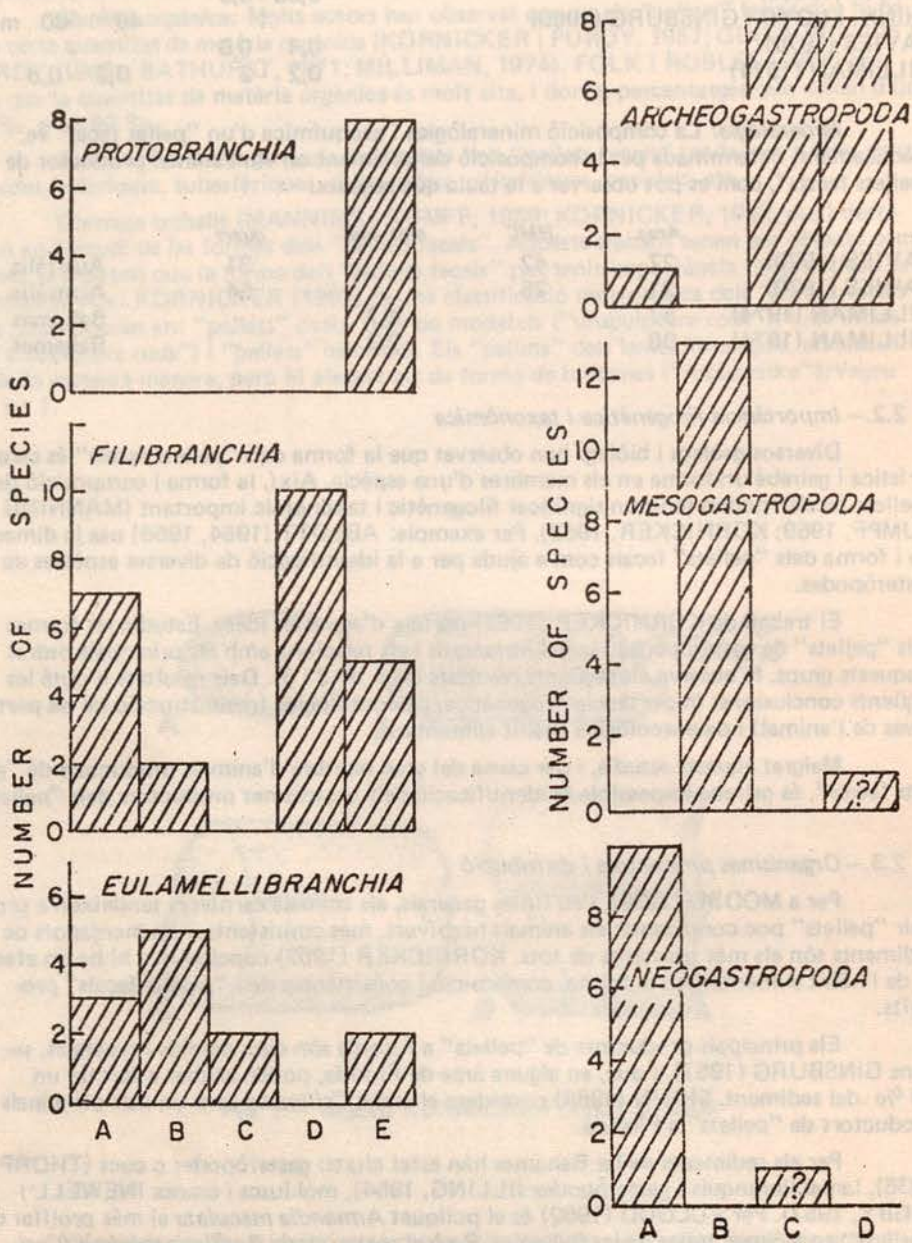
Malgrat aquests estudis, i per causa del gran nombre d'animals productors de "pellets fecals", és gairebé impossible la identificació dels organismes productors dels "pellets".

2.3.— Organismes productors i distribució

Per a MOORE (1939), i en línies generals, els animals carnívors tendeixen a produir "pellets" poc consistents; els animals herbívors, més consistents, i els menjadors de sediments són els més resistents de tots. KORNICKER (1962) conclou que hi ha un efecte de l'hàbit alimentari en la forma, composició i consistència dels "pellets fecals" produïts.

Els principals productors de "pellets" a Florida són cucs nereids i crustacis, segons GINSBURG (1957), i que, en alguna àrea de Florida, poden arribar a formar un 50 % del sediment. SHINN (1968) considera el cranc *Callinassa* com un dels principals productors de "pellets" a Florida.

Per als sediments de les Bahames han estat citats: gasteròpodes o cucs (THORP, 1936), lamel.libranquis i gasteròpodes (ILLING, 1954), mol.luscs i crancs (NEWELL i RIGBY, 1957). Per a CLOUD (1962) és el poliquet *Armandia maculata* el més prolífer de "pellets" en algunes zones de les Bahames. Però el gasteròpode *Batillaria minima* (*Cerithium septemstriatum*) és el principal productor de "pellets" a moltes zones de les Bahames, d'acord amb KORNICKER i PURDY (1957), PURDY (1963a) i FOLK i ROBLES (1964),...



Figs. nos 2 - 3. — KORNICKER (1962, p. 831-832)

Al Golf Pèrsic s'han citat, com a organismes productors de "pellets", gasteròpodes del tipus cerítids (ILLING, i d'altres, 1965) i cucs i mol.luscs (KENDALL i SKIPWITH, 1969). A Austràlia, DAVIES (1970) cita cerítids i d'altres tipus de gasteròpodes.

2.4.— Idees sobre la preservació i la litificació

a) Idees de PURDY (1963b)

Els "pellets" són inicialment molt friables, i una petita agitació durant el període en què encara són friables en causa la disgregació i se'n perd la forma original.

La disgregació del "pellet" produeix agregats de fang carbonatat ("mud aggregates") que es formen de la següent manera: els pellets recentment formats són disgregats per qualsevol tipus d'agitació del fons —acció de les onades, moviment d'organismes, etc.— Aquesta agitació en destrueix la forma original ovoidal i produeix agregats de forma regular, denominats agregats de fang carbonatat, idèntics, petrològicament, als "pellets". En general, aquests agregats són més petits que els "pellets" fecals que els han originat; no obstant això, es poden reunir diversos agregats de fang carbonatat i formar un gra més gros que els "pellets".

Els processos que compacten els "pellets" i agregats de fang carbonatat són força desconeguts. Aquest autor considera que aquests grans es compacten per causa de la precipitació local de ciment, i que té lloc quan hi ha algun canvi de microambient immediat al gra. L'única raó d'aquests possibles canvis del microambient és la descomposició del mucus orgànic contingut en aquests grans; però les reaccions de precipitació són desconegudes. Suposa que la descomposició bacteriana de la matèria orgànica pot dur a un increment de l'alcalinitat en el microambient i que influeix en la precipitació de ciment carbonatat. En el cas de "pellets fecals" que no s'endureixen, com és el cas dels d'holotúria, se suposa que la descomposició de matèria orgànica del mucus orgànic de diferent composició pot produir un descens en l'alcalinitat del microambient, i, en aquest cas, el ciment carbonatat no precipita.

b) Idees de FOLK i ROBLES (1964)

A partir d'un "pellet fecal", aquests autors donen dues alternatives. L'una, que és quan el "pellet" és gairebé totalment compost de matèria orgànica. En aquest cas no es podran reconèixer els "pellets" en el registre fòssil, ja que es colapsaran o disgregaran. Si es compacten, donaran lloc a petites làmines fosques de matèria orgànica. L'altra, és quan el "pellet" és compost de partícules carbonatades i matèria orgànica. Es produirà dins la massa fecal un microambient que afavorirà les condicions per a la precipitació de calcita i/o aragonita en els porus del "pellet", la qual precipitació li donarà consistència i conservarà la forma original del "pellet".

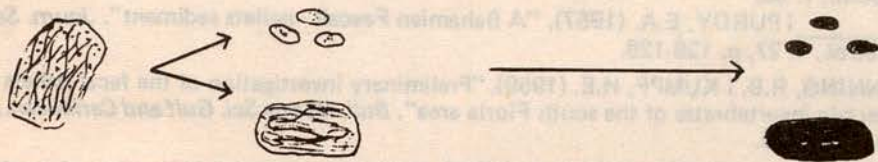


Fig. nº 4

Aquesta hipòtesi va recolzada pel fet que els "pellets" s'observen en zones de baixes restringides i amb una salinitat més alta de la normal.

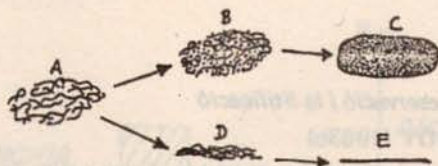


Fig. nº 5. — Segons FOLK i ROBLES (1964, p. 273)

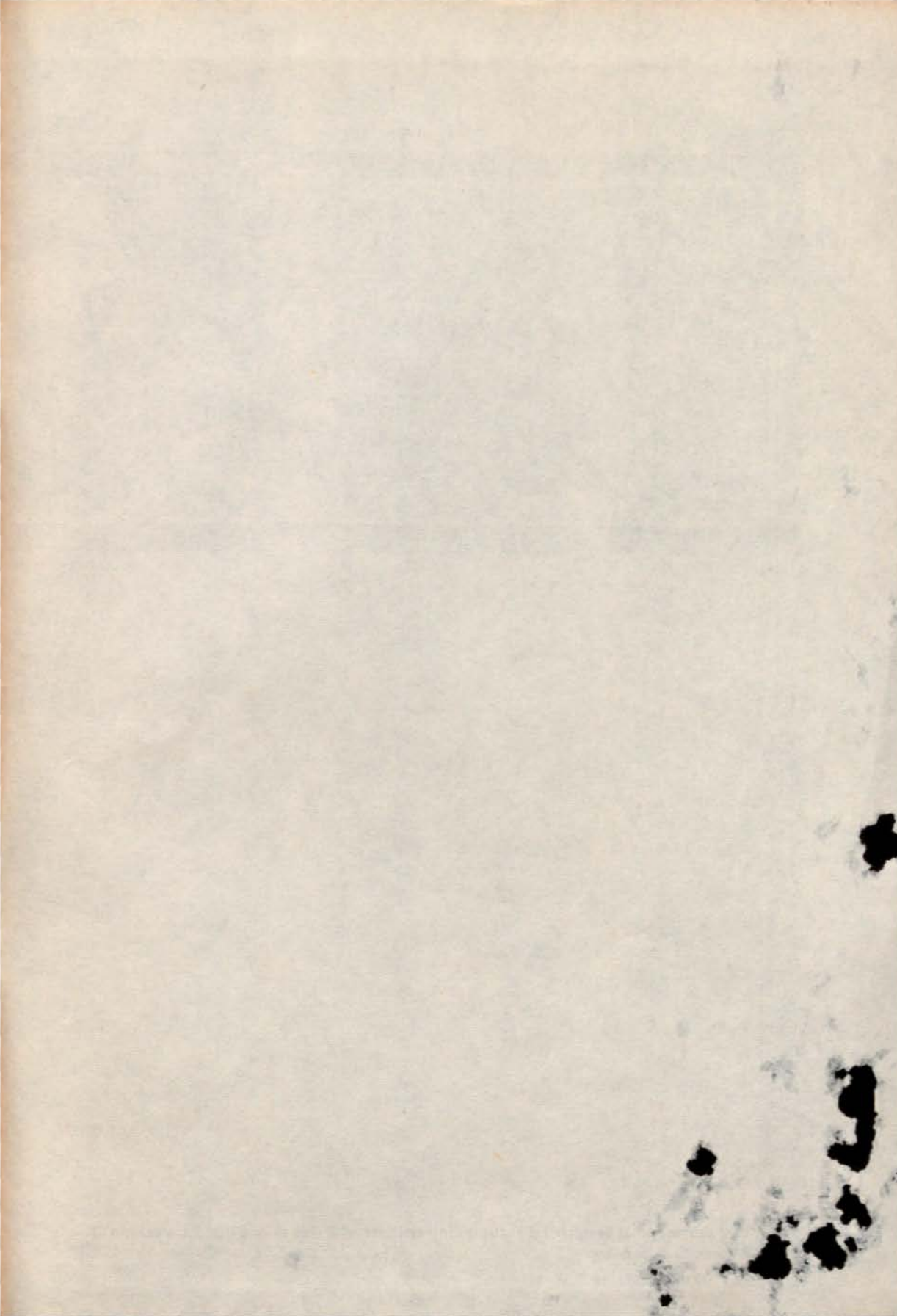
BIBLIOGRAFIA

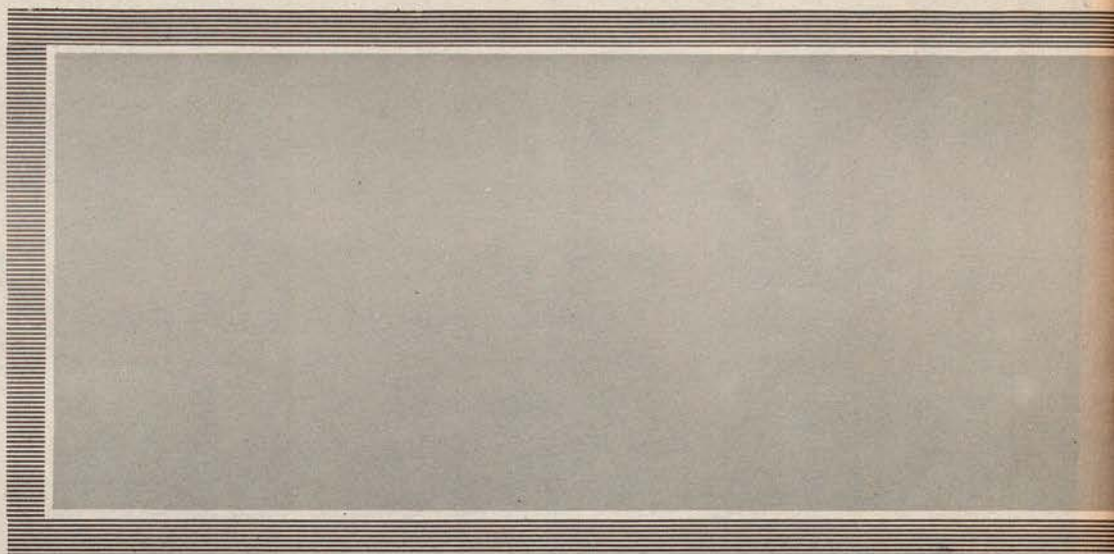
- ABBOTT, R.T. (1954). "Review of the Atlantic periwinkles, *Nodolittorina*, *Echinimus*, and *Tectarius*". *Proc. U.S. Nat. Mus.*, 103(3328), p. 449-464.
- _____ (1958). *American Sea Shells*. Fourth ed., 541 p. New York: Van Nostrand.
- BATHURST, R.G.C. (1971). *Carbonate in Sedimentology*, nº 12, Elsevier Publishing Company. Amsterdam 620 p.
- CLOUD, P.E., Jr. (1962) "Environment of calcium carbonate deposition west of Andros Island, Bahamas". *U.S. Geol. Surv. Profess. Papers*. 350, 138 p.
- DAVIES, G.R. (1970) "Carbonate bank sedimentation, eastern Shark Bay, Western Australia". *Carbonate Sedimentation and Environments, Shark Bay, Western Australia. Am. Assoc. Petrol. Geologists, Mem. nº 13*, p. 85-168.
- FAHRAEUS, L.E.; SLATT, R.M. i NOWLAN, G.S. (1974). "Origin of carbonate pseudo-pellets". *Jour. Sed. Petrol.*, v. 44; p. 27-29.
- FOLK, R.L. i ROBLES, R. (1964) "Carbonate sand of Isla Perez, Alacran Reef Complex, Yucatan". *Journ. Geol.*, v. 72, p. 255-292.
- GIBSBURG, R.N. (1957). "Early diagenesis and Lithification of shallow-water carbonate sediments in South Florida". *Regional Aspects of Carbonate Deposition Soc. Econ. Paleontologists Mineralogists Spec. Publi. 7*, p. 80-100.
- ILLING, L.V. (1954). "Bahaman calcareous sands". *Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull.* v.35, p. 829-834.
- KENDALL, C.G. C. i SKIPWITH, P.A. (1969). "Holocene shallow-water carbonate and evaporite sediments of Khor al Bazam, Abu Dhabi, southwest Persian Gulf". *Am. Assoc. Petrol. Geologists Bull.* v. 53, p. 841-869.
- KORNICKER, L.S. (1962). "Evolutionary trends among mollusc fecal pellets". *Jour. Paleont.*, v. 36,
- _____ i PURDY, E.A. (1957). "A Bahamian Faecal pellets sediment". *Journ. Sed. Petrol.*, v. 27, p. 126-128.
- MANNING, R.B. i KUMPF, H.E. (1959). "Preliminary investigation of the fecal pellets of certain invertebrates of the south Florida area". *Bull. Marine Sci. Gulf and Caribbean.*, v. 9 p. 291 - 309.
- McKEE, E.D. and GUTSCHICK, R.C. (1969). "History of Redwall Limestone of northern Arizona". *Geol. Soc. Am., Men.*, v. 114, p. 1-726.
- NEWELL, N.D. i RIGBY, J.K. (1957). "Geological studies on the Great Bahama Bank".

- LE BALNC, R.J. I BREEDING, J.G. (eds), *Regional Aspects of Carbonate Deposition. Soc. Econ. Paleontologists Mineralogists, Special Publ.*, n° 5, p. 15-72.
- MILLIMAN, J.D. (1974). *Recent Sedimentary Carbonates. Part. I. Marine Carbonates.* Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 375 p.
- MOORE, H.B. (1939). "Faecal pellets in relation to marine deposits". TRASK, P.D. (ed). *Recent marine sediments. Am. Assoc. Petrol. Geologists Special Publi.* n° 4, p. 516-524.
- PURDY, E.G. (1963). "Recent Calcium Facies of the Great Bahama Bank 1. Petrography and Reaction Groups". *Jour. Geol.*, v. 71, p. 334-355.
- _____ (1963). "Recent Calcium Facies of the Great Bahama Bank 2. Sedimentary facies. *Jour. Geol.*, v. 71, p. 472-497.
- SHINN, E.A. (1968). "Burrowing in recent lime sediments of Florida and the Bahamas". *Journ. Paleont.*, v. 42, p. 879-894.
- _____ LLOYD, R.M. i GINSBURG, R.N. (1969). "Anatomy of a modern carbonate tidal-flat, Andros Island, Bahamas". *Journ. Sed. Petrol.*, v. 39, p. 1202-1228.
- THORP, E.M. (1936). "The sediments of the Pearl and Hermes Reef" *Jour. Sed. Petrol.*, v. 6, p. 109-118.

Í N D E X

	<u>Pàgs.</u>
Antoni Obrador INTRODUCCIÓ	1
Eulàlia Gili i Folch OOIDS (Marins i lacustres)	3
Albert Permanyer LITOCLASTES	21
Francesc Calvet i Rovira GRANS COMPOSTOS	23
Francesc Calvet i Rovira PELOIDS	31





Aquest text correspon al Seminari d'Estudis Universitaris nº 2 que tingué lloc a Barcelona
els dies 7 i 8 de Març
Barcelona, 1975