

2.6. DIAGÈNESI DELS GRESOS

2.6.1. Enterrament i compactació

En principi, cal esperar que els gresos oligocens de Montgat no hagin sofert un fort enterrament, ja que, tectònicament, formen part d'un bloc que ha romàs més o menys elevat des de l'Oligocè fins a l'actualitat. Tot i així, el diagrama de Housecknecht (1987), el qual projecta el percentatge de volum intergranular *versus* percentatge de volum cimentat de la roca (Fig. 2.26) mostra que, en general, des de la seva sedimentació fins a l'actualitat, la majoria de gresos han sofert una forta reducció del volum intergranular (assumint un 40 % de volum intergranular inicial la pèrdua d'aquest ha estat d'entre un 15 a un 30 %). Essent així, les mostres queden projectades en una àrea del diagrama on la compactació és superior a la cimentació (àrea en gris fosc a la figura 2.26). Aquest diagrama permet fer una estimació del percentatge de porositat primària que ha estat reduïda per compactació i/o cimentació (Taula 2.11). En tots els casos, excepte per la mostra MG-1, el percentatge de porositat primària reduïda per compactació és superior al 40 %, mentre que el percentatge reduït per cimentació és sempre inferior al 25 %, aquesta situació és anòmla respecte el que caldria esperar d'uns sediments que no han patit un fort enterrament.

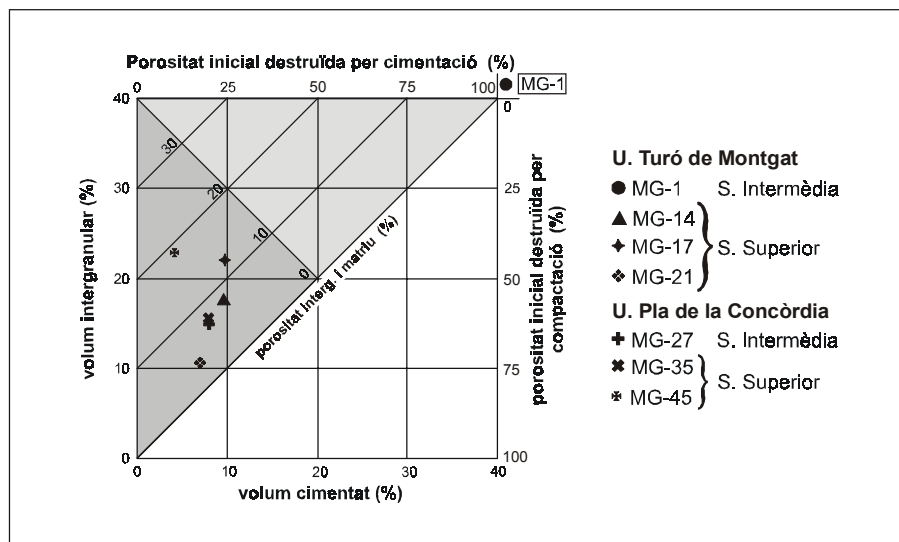


Figura 2.26.- Diagrama mostrant la relació % ciment-% volum intergranular (cf. Housecknecht, 1987) per a les mostres dels gresos de l'Oligocè de Montgat. En general, totes les mostres han patit una compactació important, excepte la mostra MG-1 la qual presenta valors anòmals.

La única excepció a aquest comportament la constitueix la mostra MG-1. Aquesta mostra, aparentment, ha patit una forta cimentació, la qual, segons la taula 2.11, ha fet incrementar el seu volum intergranular inicial, de manera que la mostra queda projectada fora de l'àrea del diagrama de Housecknecht (1987).

Les causes d'aquesta anomalia en la compactació de la majoria de mostres i en la cimentació de la mostra MG-1, en el context en que es troben els afloraments de Montgat, només es poden explicar com el resultat d'una deformació tectònica (veure apartat 2.2.3). És a dir, que la forta compactació mecànica de la majoria de mostres dels gresos de Montgat, s'efectuà en el moment en que, degut a processos de compressió, es generaren tot un seguit de falles inverses i direccionals a l'àrea de Montgat, el desenvolupament de les quals provocà la deformació dels gresos oligocens de Montgat, reduint-ne el seu volum intergranular.

Pel que fa a la mostra MG-1, el seu increment del volum intergranular per cimentació s'explica pel fet que és una mostra situada en una zona molt propera a una de les fractures principals. A les fractures hi ha hagut una forta cimentació dels gresos i conglomerats de Montgat per calcita (veure calcita esparítica de tipus 2 a l'apartat 2.3.3), efectuada en molts casos per mecanismes de *crack-seal* (Ramsay, 1980). En el cas de la mostra MG-1, en estar a prop d'una fractura, ha estat fortament cimentada per calcita esparítica de tipus 2. En aquest cas doncs, el gres ha estat fracturat en successives ocasions (*crack*) i, a la nova porositat secundària, ha precipitat calcita esparítica de tipus 2 (*seal*), provocant així un increment del volum intergranular inicial.

Totes aquestes dades confirmen que la tectònica compressiva soferta a l'àrea de Montgat ha estat molt important i ha deixat traces evidents en la textura dels gresos i conglomerats oligocens de Montgat (tal i com s'ha vist també a l'apartat 2.3). El volum intergranular anòmal de la mostra MG-1 també confirma que el ciment esparític de calcita de tipus 2 ha precipitat durant l'etapa de deformació compressiva de l'àrea de Montgat. El fet de que aquesta mostra estigui molt a prop d'una gran fractura indicaria que els fluids que han format el ciment de calcita de tipus 2 han circulat preferentment a través de les fractures (Labaume *et al.*, 2001).

Taula 2.11.- Valors de la porositat que ha estat reduïda per mecanismes de compactació i de cimentació calculats a partir del volum intergranular (%) i del volum cimentat (%) de cada mostra de l'Oligocè de Montgat. Totes les mostres presenten, sistemàticament, una compactació superior a la cimentació, excepte la mostra MG-1 que té una cimentació anòmala superior al 100%.

Unitat	U. Turó de Montgat				U. Pla de la Concòrdia		
Mostra	MG-1	MG-14	MG-17	MG-21	MG-27	MG-35	MG-45
% por. reduïda per comp.	-4,2	56,4	44,9	74,5	63,4	61,7	43,4
% por. reduïda per cim.	102,6	24,5	24,8	17,9	20,1	20,4	10,7

2.6.2. Cimentació

Durant la diagènesi és habitual el desenvolupament de minerals dins la roca o el sediment (autigènesi), fruit de la tendència d'aquest a restar en equilibri amb els fluids presents a l'ambient diagenètic on es troba. Els minerals autigènics es formen per precipitació a la porositat, o per transformació i recristal·lització de minerals preexistents. La formació de minerals autigènics en un gres és condicionada essencialment per la mineralogia de la roca o sediment preexistent, per l'ambient diagenètic i pel tipus de fluid percolant (Morad *et al.*, 2000).

Pel que fa a la mineralogia de la roca encaixant, les dues unitats litostratigràfiques definides a Montgat tenen una mineralogia molt diferent, una és essencialment siliciclàstica i l'altra és, pràcticament, carbonàtica. Cal veure, si la diagènesi d'aquestes dues unitats ha estat similar o no i si la mineralogia de cadascuna ha influenciat a la geoquímica dels fluids que han cimentat els gresos oligocens de Montgat.

Pel que fa a l'ambient diagenètic i al tipus de fluid percolant, com que l'enterrament que ha sofert la sèrie és poc important, cal esperar que la diagènesi dels sediments de Montgat sigui superficial. Els fluids que han actuat durant la sedimentació podrien ser els mateixos que jugaran un paper fonamental en la diagènesi immediatament posterior a la sedimentació. Cal veure també com ha influenciat la tectònica compressiva en la cimentació, ja que les fractures generades durant aquest esdeveniment poden haver actuat com a conductes de circulació de fluids.

En aquest apartat es fa una anàlisi exhaustiva dels ciments identificats en els gresos de Montgat, sobretot, del ciment de calcita que és el principal mineral autigènic en aquests sediments.

Relació Mn-Fe en el ciment de calcita dels gresos de Montgat

A la literatura, el contingut en Mn i Fe de la calcita (i, per defecte, del fluid que la va precipitar) ha estat utilitzat com a indicador de la geoquímica del medi (Barnaby i Rimstidt, 1989; Travé *et al.*, 2000). El Mn i el Fe són molt sensibles a les variacions geoquímiques (variacions de pH, Eh, a_{O_2} i a_{H_2S}) donant associacions minerals característiques per a cada tipus de medi geoquímic (Berner, 1981; Morad *et al.*, 2000). Així la mobilitat del Mn i del Fe en el fluid dependrà d'aquestes variacions i governarà les seves concentracions a la calcita precipitada (Curtis i Coleman, 1986).

En el cas d'aquest estudi, s'observen comportaments ben diferenciats del Fe i el Mn en les diferents tipologies de ciments de calcita identificades (Fig. 2.27, 2.28 i 2.29). El ciment de calcita oncolítica és ric en Fe i pobre en Mn, al ciment de calcita esparítica de tipus 1 la quantitat de Fe i Mn és molt baixa i el ciment de calcita esparítica de tipus 2 és ric en Mn i pobre en Fe.

Assumint disponibilitat de Fe i de Mn en el medi, l'anàlisi de la concentració d'aquests elements als ciments de calcita de l'Oligocè de Montgat permet d'acotar el quimisme del fluid que precipità la calcita. S'assumeix també que hi ha condicions d'equilibri químic.

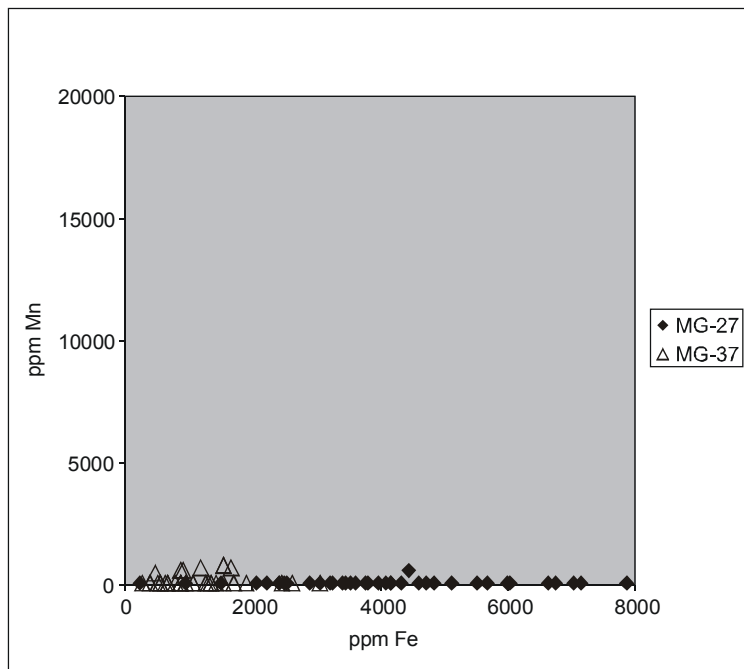


Figura 2.27.- Relació Mn/Fe als ciments de calcita oncolítica dels gresos de la Unitat del Pla de la Concòrdia. En general, totes les mostres presenten una relació Mn/Fe molt baixa.

Partint d'aquestes premisses, les condicions de precipitació de la calcita oncolítica foren reductores, tal i com bé indicat per l'elevada concentració de Fe d'aquest ciment (Fig. 2.27). L'elevada concentració de Fe en aquest ciment només s'explica si el fluid que el precipità (**fluid A**) estava suficientment reduït com per contenir Fe^{+2} en solució (punt C a la figura 1.7). Tot i així, cal tenir en compte que la precipitació del ciment de calcita oncolítica ha estat catalitzada per cianobacteries les quals poden haver intervingut en la incorporació d'elements traça a la calcita de manera independent al quimisme del medi.

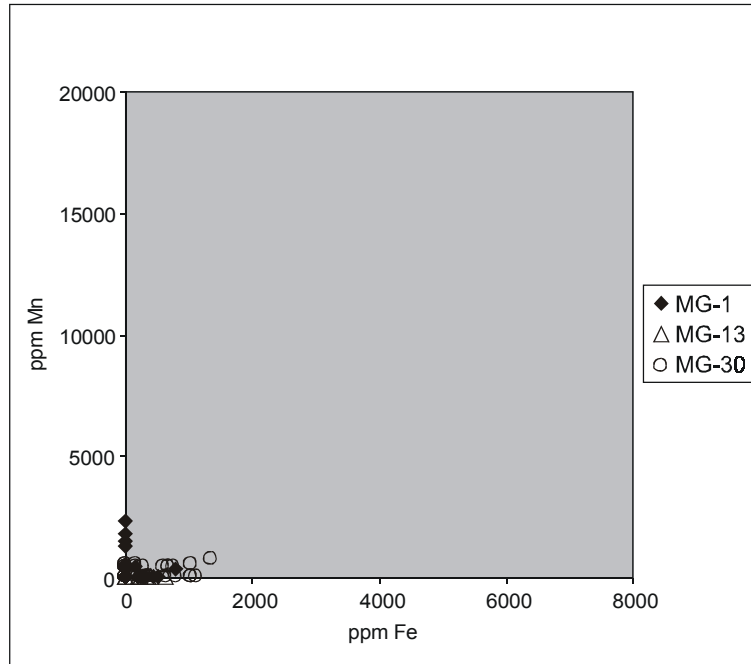


Figura 2.28.- Relació Mn/Fe als ciments de calcita esparítica de tipus 1 de l'Oligocè de Montgat. Les mostres són pobres en Fe i Mn tendint a tenir més Fe que Mn, excepte a la mostra MG-1 on, de vegades, hi ha més Mn que Fe.

La precipitació del ciment de calcita esparítica de tipus 2 esdevingué en condicions oxidants, ja que la baixa concentració en Fe i Mn d'aquest ciment (Fig. 2.28) indica que el fluid que el precipità (**fluid B**) no era prou reductor com per poder contenir Mn o Fe en solució (punt A a la figura 1.7).

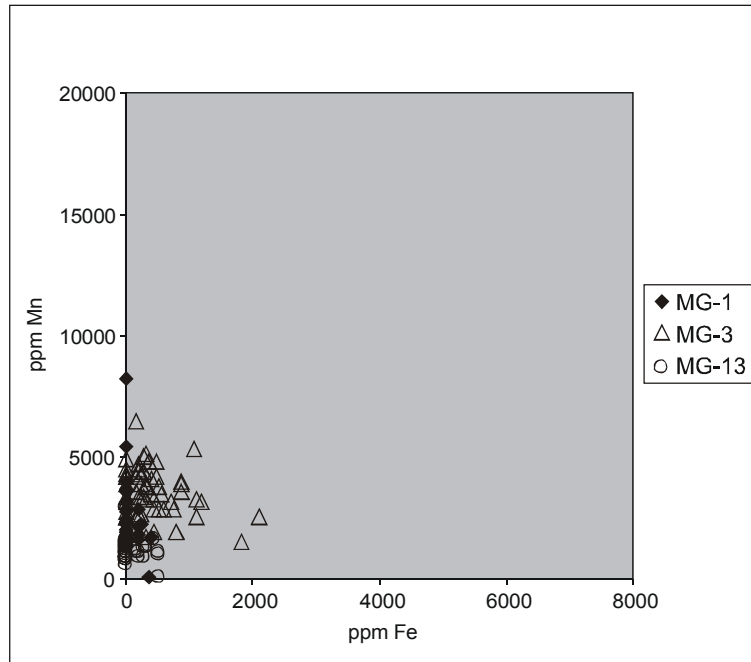


Figura 2.29.- Relació Mn/Fe als ciments de calcita esparítica de tipus 2 de la Unitat del Turó de Montgat. S'observa una elevada relació Mn/Fe, tots els punts analitzats tenen molt Mn, mentre que la quantitat de Fe és variable però sol ser baixa.

Finalment, la precipitació del ciment de calcita esparítica de tipus 2 s'efectuà a partir d'un fluid (**fluid C**) de caràcter intermedi respecte als altres dos fluids identificats (**fluid A** i **fluid B**), és a dir, un fluid lleugerament reductor. L'elevat contingut en Mn d'aquesta calcita (Fig. 2.29)

només s'explica si el fluid era prou reductor com per contenir Mn^{+2} en solució, però prou oxidant com per no contenir Fe^{+2} (punt B a la figura 1.7).

Relacions elementals en el fluid precipitant

L'anàlisi de les proporcions Me/Ca calculades en els ciments precipitats a partir de les anàlisis de microsonda, permet postular sobre les concentracions relatives de Mn, Fe, Mg i Sr en els fluids que precipitaren els tres ciments de calcita identificats.

La relació Mn/Ca del fluid precipitant ha estat calculada utilitzant un coeficient de distribució $K_{Mn}=8$ (Dromgoole i Walter, 1990), els resultats s'exposen a la Taula 2.12 i a la figura 2.30. Evidentment, tant la calcita com el fluid que la va precipitar mostren les mateixes tendències, de manera que les característiques descrites per a la calcita a l'apartat 2.3.3 i en aquest mateix apartat (relació Mn/Fe) són les mateixes que presenta el fluid. El fluid que precipità la calcita oncolítica (**fluid A**), té valors màxims que no sobrepassen el 0,0002. El fluid del qual derivà la calcita esparítica de tipus 1 (**fluid B**) presentava una relació Mn/Ca molt similar a la del fluid A amb valors màxims que no sobrepassen el 0,0005. Quant al fluid responsable de la precipitació de la calcita esparítica de tipus 2 (**fluid C**) presenta unes característiques ben diferents pel que fa a la relació Mn/Ca, amb valors màxims que poden arribar fins a 0,0019 (Mostra MG-1). Simplificant el que s'ha vist fins ara, es pot dir que el fluid A i el fluid B eren pobres en Mn, mentre que el fluid C era ric en Mn.

Taula 2.12.- Relacions elementals calculades per al fluid que precipità els diferents tipus de ciment de calcita. Per a cada mostra es presenta el valor màxim, el valor mínim i la mitjana amb la seva desviació estàndard. Aquests mateixos resultats són projectats a la figura 2.30.

Relació Me/Ca		Mn/Ca			Ca/Fe			Mg/Ca			Sr/Ca		
Mostra	Tipus de ciment	Mitjana±desv. std.	Màx.	Mín.	Mitjana±desv. std.	Màx.	Mín.	Mitjana±desv. std.	Màx.	Mín.	Mitjana±desv. std.	Màx.	Mín.
MG 1	Esparític 1	<l.d.	0,0005	<l.d.	<l.d.	17017	<l.d.	0,373±0,282	1,065	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.
MG 1	Esparític 2	0,0004±0,0003	0,0019	<l.d.	<l.d.	15601	<l.d.	0,620±0,267	1,295	0,110	<l.d.	<l.d.	<l.d.
MG 3	Esparític 2	0,0008±0,0002	0,0015	0,0003	6056±5195	16499	<l.d.	1,194±0,493	2,576	0,321	<l.d.	0,009	<l.d.
MG-13	Esparític 1	<l.d.	<l.d.	<l.d.	7221±5625	14687	<l.d.	0,365±0,135	0,617	0,216	<l.d.	<l.d.	<l.d.
MG-13	Esparític 2	0,0002±0,0001	0,0007	<l.d.	<l.d.	16259	<l.d.	0,814±0,400	1,693	0,161	<l.d.	0,007	<l.d.
MG-27	Oncolític	<l.d.	0,0001	<l.d.	694±1737	11597	189	0,861±0,449	2,872	0,059	0,023±0,008	0,038	<l.d.
MG-30	Esparític 1	<l.d.	0,0002	<l.d.	3540±4935	16550	<l.d.	0,810±0,412	1,772	0,069	<l.d.	0,011	<l.d.
MG-37	Oncolític	<l.d.	0,0002	<l.d.	2680±1881	9642	973	0,916±0,630	3,172	0,548	0,010±0,006	0,018	<l.d.

La relació Ca/Fe del fluid precipitant ha estat calculada amb un coeficient de distribució de $K_{Fe}=5$ (Dromgoole i Walter, 1990; Tucker i Wright, 1990), cal tenir en compte que, en aquesta relació, Ca és el numerador i això implica que els valors més alts són els corresponents a les mostres amb menys Fe. El fluid A (Taula 2.12 i Fig. 2.30) presenta una relació Ca/Fe amb valors màxims baixos (entre 9600 i 11600), aquests valors són indicatius d'una elevada concentració en Fe en aquest fluid. En canvi, els altres dos fluids presenten valors molt diferents respecte al fluid A. Les mostres del fluid B poden arribar fins a valors de 17017 (Mostra MG-1), aquest fet indica que el fluid B tenia una baixa concentració en Fe. Les mostres corresponents al fluid C tenen valors màxims entre 15600 i 16500, per tant la concentració en Fe del fluid inicial, igual que en el cas del fluid B, era baixa.

Per al calcul de la relació Mg/Ca el coeficient de distribució varia sensiblement en funció de la temperatura a la que precipita la calcita. Experimentalment s'han obtingut coeficients de distribució de $K_{Mg}=0,012$ i $0,028$ per temperatures de 25 i 40°C respectivament (Mucci i Morse, 1983; Mucci, 1987), per a temperatures de 90°C el valor proposat és de $K_{Mg}=0,1163$ (Katz, 1973). Finalment, aquesta relació ha estat calculada prenent $K_{Mg}=0,012$ (Mucci i Morse, 1983; Mucci, 1987) (Taula 2.12 i Fig. 2.30), assumint que la cimentació dels gresos de Montgat ha estat superficial i de baixa temperatura. En general, sembla que les mostres de la Unitat del Pla de la Concòrdia contenen més Mg que les mostres de la Unitat del Turó de Montgat (amb

independència del tipus de ciment). Les mostres de la Unitat del Turó de Montgat tenen mitjanes sempre iguals o inferiors a 0,8, excepte la mostra MG-3 amb una mitjana de 1,2, mentre que totes les mostres de la Unitat del Pla de la Concòrdia presenten mitjanes iguals o superiors a 0,8. Els valors màxims registrats també són més elevats en el cas de les mostres de la Unitat del Pla de la Concòrdia, podent arribar fins a valors de 3,2 (mostra MG-37), especialment al fluid A, relacionat amb el ciment de calcita oncolítica. Sembla doncs que, independentment del tipus de ciment, els fluids relacionats amb la Unitat del Pla de la Concòrdia tenien una mica més de Mg que els fluids que circularen per la Unitat del Turó de Montgat. Per altra banda, a la Unitat del Turó de Montgat, les mostres de calcita esparítica de tipus 2 sembla que tenen continguts lleugerament superiors en Mg respecte a la calcita esparítica de tipus 1.

En la relació Sr/Ca s'ha utilitzat el coeficient de distribució $K_{Sr}=0,06$ (Kinsman, 1969; Katz *et al.*, 1972; Pingitore i Eastman, 1986; Stoessel *et al.*, 1987). Els resultats obtinguts són similars als de la relació Mg/Ca (Taula 2.12 i Fig. 2.30), és a dir, que la relació Sr/Ca depèn sobretot de la unitat on es troba el ciment. Totes les mostres de la Unitat del Turó de Montgat tenen valors màxims sempre inferiors a 0,009, en canvi les mostres de la Unitat del Pla de la Concòrdia tenen valors màxims sempre iguals o superiors a 0,011. Així, els fluids que circulaven per la Unitat del Pla de la Concòrdia eren més rics en Sr que els que circulaven per la Unitat del Turó de Montgat i, igual que en el cas del Mg, aquest fet s'accentua en el cas del ciment de calcita oncolítica.

En resum, l'anàlisi d'elements traça de la calcita individualitza tres tipus de fluids diferents, els quals han precipitat els tres tipus de calcita identificats petrogràficament i geoquímica. El Fe i el Mn són determinants per diferenciar entre aquests tres fluids, tal i com passava als ciments de calcita. Així, el fluid A presenta una relació Mn/Ca baixa i una relació Ca/Fe baixa, el fluid B té una relació Mn/Ca baixa i una relació Ca/Fe alta i el fluid C presenta una relació Mn/Ca alta i una relació Ca/Fe alta. Per altra banda, les relacions de Mg/Ca i Sr/Ca semblen més influenciades per la unitat litostratigràfica on es troba la mostra que pel tipus de ciment, adquirint sempre valors més elevats a les mostres de la Unitat del Pla de la Concòrdia. En totes les mostres analitzades el Na sempre està per sota dels límits de detecció. Les dades obtingudes per als tres fluids són compatibles amb fluids de tipus meteòric i de formació (*cf.* Véizer, 1983 i Tucker i Wright, 1990).

En general, els fluids meteòrics (degut a la seva condició de superficials i oxidants) solen ser pobres en soluts, encara que si en tenen disponibilitat en el sediment i el temps de residència ho permet (Morad, 1998) poden enriquir-se en Mn en condicions de transició òxic-anòxic (Grover i Read, 1983). Per contra, els fluids de formació (degut a que solen estar en ambients més reductors que els fluids meteòrics) solen ser més rics en Fe i Sr (Tucker i Wright, 1990). Tanmateix, aquestes característiques en alguns casos es poden invertir, un fluid meteòric pot adquirir propietats típiques d'un fluid de formació i viceversa. Això fa que sigui difícil de discernir entre ambdós ja que les concentracions relatives de Mg, Fe, Mn, Sr i Na poden variar molt en funció de l'ambient sedimentari i/o diagenètic en que es troben (Berner, 1981 i Morad, 1998).

Segons aquests resultats, el fluid A presenta característiques pròpies de fluids de formació i/o d'ambients reductors ja que està enriquit en Fe. El fluid B és pobre en Mg, Fe, Mn, Sr i Na, aquestes característiques concorden amb un fluid meteòric en condicions molt oxidants o amb poc temps de residència en el sediment. El fluid C és ric en Mn i pobre en la resta de soluts, aquestes característiques correspondrien a un fluid meteòric amb un cert temps de residència en el sediment i amb condicions de transició òxic-anòxic (veure apartat 1.6.3).

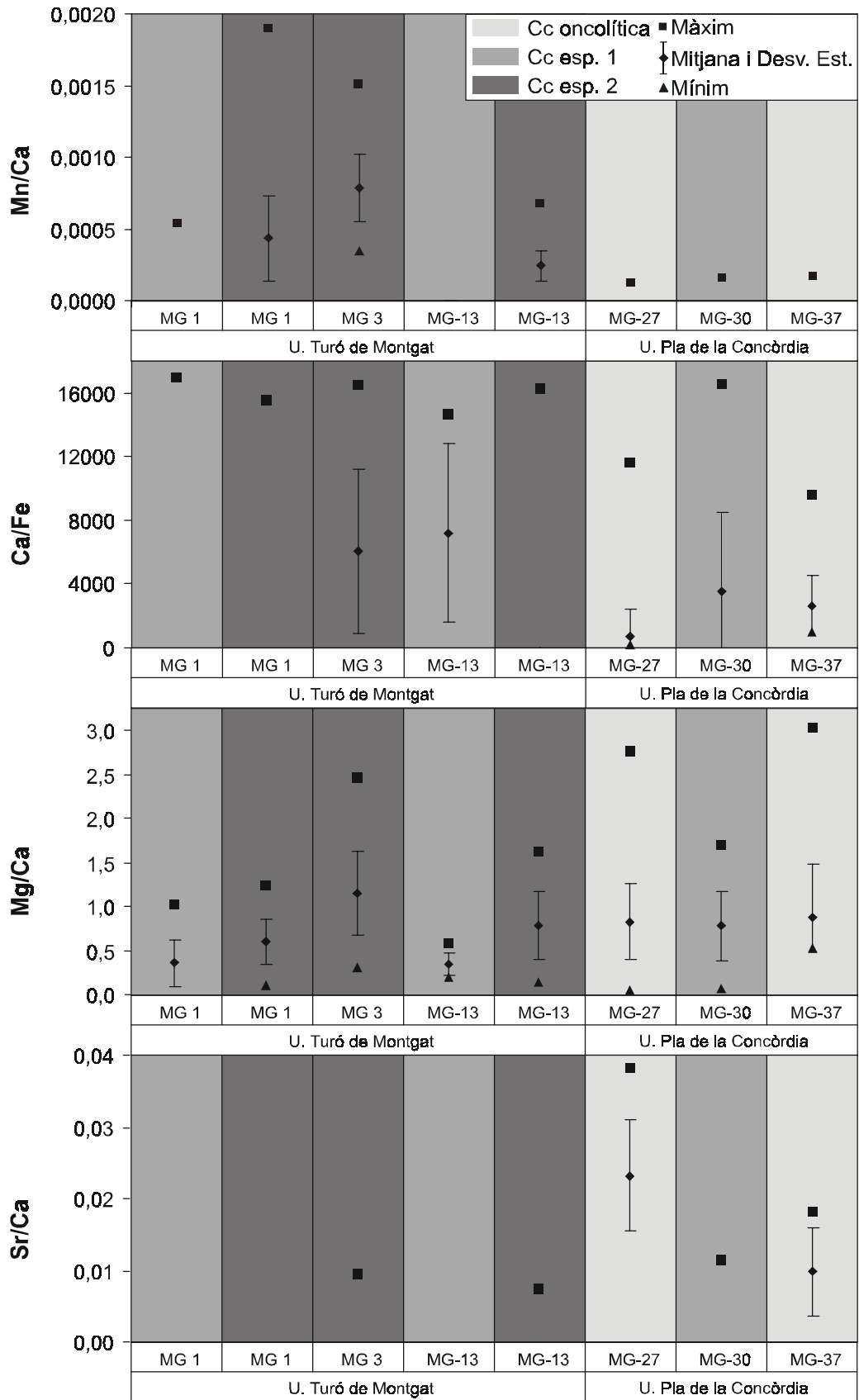


Figura 2.30.- Relacions elementals (M_{Me}/M_{Ca}) calculades per al fluid del qual precipitaren els diferents ciments de calcita dels gresos de l'Oligocè de Montgat. Es poden observar marcades diferències entre els diferents tipus de ciments. L'absència d'algun dels símbols de màxim, mínim i mitjana indica que aquest es troba per sota dels límits de detecció.

La geoquímica de cada fluid va lligada al tipus d'ambient diagenètic. Així, el ciment de calcita oncolítica (fluid A) pot guardar relació amb el fet que les envoltas oncolítiques precipitessin a partir d'aigües meteòriques relativament estancades adquirint un caràcter reductor. El ciment de calcita esparítica de tipus 1 (fluid B) seria un ciment precoç precipitat a partir d'aigües meteòriques superficials amb un període de residència dins del sediment curt i, per tant, molt oxidants i pobres en soluts i, per últim, el ciment de calcita esparítica de tipus 2 (fluid C) provindria d'aigües meteòriques amb un període de residència al sediment llarg (aigües de formació?) adquirint un cert caràcter reductor i enriquint-se en Mn.

$\delta^{13}C$ i $\delta^{18}O$ a la calcita autigènica

En aquest estudi s'han analitzat isotòpicament el ciment de calcita oncolítica i el ciment de calcita esparítica de tipus 2. El primer d'aquests presenta valors de $\delta^{13}C$ entre $-5,1$ i $-7,0$ ‰_{PDB} i valors de $\delta^{18}O$ entre $-4,0$ i $-9,6$ ‰_{PDB} i ja ha estat analitzat i interpretat a l'apartat 2.4. El segon presenta valors de $\delta^{13}C$ entre $-6,7$ i $-7,0$ ‰_{PDB} i valors de $\delta^{18}O$ entre $-11,9$ i $-12,7$ ‰_{PDB}. (Taula 2.4 i Fig. 2.14). Els valors de $\delta^{13}C$ dels dos tipus de ciments analitzats són comparables i propis d'un fluid meteòric (Hoefs, 1997), mentre que els valors de $\delta^{18}O$ de la calcita esparítica de tipus 2 són més negatius que els de la calcita oncolítica. Aquesta diferència pot tenir dues causes principals: (i) un fraccionament per precipitació de la calcita esparítica de tipus 2 a una temperatura més elevada que la calcita oncolítica (Craig i Gordon, 1965; Friedman i O'Neil, 1977) o bé; (ii) la precipitació de la calcita esparítica de tipus 2 a partir d'un fluid amb valors més negatius en $\delta^{18}O$ que el fluid que precipità la calcita oncolítica.

Pel que fa a la possibilitat d'un fraccionament per temperatura, la calcita esparítica de tipus 2 podria provenir d'un fluid hidrotermal. El fet que aquest ciment estigui associat a una etapa de fracturació de la roca, que contingui traces importants de Mg i Mn i la seva coexistència amb ciments de calcita ferrosa i d'ankerita recolzen aquesta possibilitat.

Per altra banda, si es considera la possibilitat que el fluid que precipità la calcita esparítica de tipus 2 tingués un $\delta^{18}O$ més negatiu que el de la calcita oncolítica els factors que hi podrien intervenir són diversos: (i) barreja amb fluids d'origen glacià (Tullborg *et al.*, 1999); (ii) procedència dels fluids d'una àrea topogràficament més elevada (Zamarreño *et al.*, 1997); (iii) interacció important entre el fluid i la roca (Banner i Hanson, 1990; Andrews *et al.*, 1993 i 1994; Parente *et al.*, 1998) i; (iv) un canvi en la climatologia de la zona (Gasse *et al.*, 1998). La primera opció es pot descartar per la baixa latitud de l'àrea d'estudi. La segona opció és improbable ja que implicaria que la precipitació de la calcita esparítica de tipus 2 estaria associada a un increment d'uns 1000 m en l'alçada topogràfica de l'àrea de procedència dels fluids (Cruz-San Julián *et al.*, 1992). La tercera opció és consistent amb les dades geoquímiques de la calcita esparítica de tipus 2, les quals assignen temps de residència llargs al fluid que l'ha precipitada. Finalment, respecte a la quarta opció, per a considerar-la caldria obtenir una datació exacta del moment de precipitació de la calcita esparítica de tipus 2 i més dades sobre possibles canvis climatològics en aquesta època.

En resum, es pot afirmar que les causes més probables dels valors més negatius en $\delta^{18}O$ de la calcita esparítica de tipus 2 radiquen en el fet que el fluid que la precipità tingué un temps de residència llarg a la roca i/o que el fluid era de tipus hidrotermal. No es poden descartar la influència de possibles canvis en la topografia de l'àrea font dels fluids i en la climatologia de la zona.

Formació dels altres ciments minoritaris

A banda de la calcita, la resta de minerals autigènics presents als gresos oligocens de Montgat són menys abundants i, en la majoria de casos, tenen un caràcter local, essent presents només en determinades mostres.

Les argiles es troben en forma d'alteració de determinats grans de l'esquelet. Normalment, resulten de la hidròlisi dels feldspats detrítics dels gresos. La hidròlisi és l'alteració dels minerals per l'aigua i és el mecanisme fonamental d'alteració dels silicats (Millot, 1964). L'alteració dels feldspats s'inicia amb la ràpida substitució dels ions Na^+ , Ca^{2+} i K^+ per ions H^+ . El mineral secundari variarà segons la intensitat en el lixiviat del cations. Si el lixiviat no és molt intens, el mineral secundari serà il·lita o montmorillonita, mentre que, si el lixiviat és intens, es perden tots els cations i s'obté caolinita. Exemples similars són interpretats a la literatura com el producte de la diagènesi primerenca per circulació de fluids meteòrics (Morad *et al.*, 1994; Morad *et al.*, 1998).

Pel que fa als òxids de ferro, aquests sovint estan en relació amb el ciment de calcita oncolítica, de manera que és un ciment molt precoç. La seva formació s'interpreta com l'entrada d'aigües meteòriques oxidants al sistema, les quals en produeixen la precipitació. Ja s'ha dit abans que el ciment de calcita oncolítica es formà a partir d'aigües meteòriques, segurament estancades, amb un caràcter reductor, si en algun moment hi havia entrada d'aigua meteòrica al sistema, en forma de pluja i d'escorrentia superficial, l'ambient passava bruscament de reductor a oxidant i precipitaven òxids de ferro en forma d'envolta (*coating*) al voltant dels grans. El fet que en algunes mostres s'observin diferents generacions d'envoltes de calcita oncolítica i d'òxids de ferro indica que aquest procés es repetia en el temps. A més, també s'ha observat la precipitació d'òxids de ferro a l'interior de biotites i de fragments metamòrfics segurament fruit del mateix mecanisme. PiPujol i Buurman (1997) han explicat la remobilització i precipitació d'òxids de ferro a l'Eocè del marge SE de la conca de l'Ebre mitjançant processos d'aquest tipus.

Pel que fa als ciments d'ankerita i de calcita ferrosa, aquests estan sempre associats a les fractures i són contemporanis a la precipitació del ciment de calcita esparítica de tipus 2. Ja s'ha dit que aquesta calcita precipità degut a l'arribada d'aigües meteòriques a través de fractures amb un període relativament llarg de residència en el sediment i amb un cert caràcter reductor. Donat que l'ankerita i de la calcita ferrosa necessiten un ambient fortament reductor per precipitar (Morad, 1998), la formació d'aquests ciments a l'Oligocè de Montgat tindrà relació amb moments en que els fluids que arriben a través d'aquestes fractures incrementen el seu caràcter reductor.

Font dels ions autigènics

La formació de minerals autigènics a l'Oligocè de Montgat involucra diferents elements químics, bàsicament: Ca, Mg, Fe, Mn i Sr.

El Ca, present a tots els carbonats autigènics de Montgat pot tenir diversos orígens. En el cas del ciment de calcita oncolítica i del ciment de calcita esparítica de tipus 1, la seva presència en solució en aigües meteòriques superficials està sovint lligada a la presència de carbonats al sediment i als relleus adjacents (Gierlowski-Kordesh, 1998; Alonso-Zarza, *in press*) tot i que, en menor grau, també pot procedir del lixiviat de silicats rics en calci (p. ex. plagiòclasi). En el cas del ciment de calcita esparític de tipus 2, de l'ankerita i de la calcita ferrosa el seu origen no es pot determinar, ja que la procedència dels fluids que el duen en solució és desconegida.

El Mg i el Sr són elements traça més abundants als ciments carbonàtics de la Unitat del Pla de la Concòrdia que als de la Unitat del Turó de Montgat, independentment del tipus de ciment carbonàtic del qual formen part. El fet que les litologies carbonàtiques dominin tant a l'àrea font com al mateix sediment de la Unitat del Pla de la Concòrdia fa pensar que el Mg i el Sr provenen de la lixiviació d'aquestes litologies.

Quant al Fe present a l'hematites que cementa precoçment els sediments de Montgat, el fet de trobar grans de biotita alterats amb òxids de Fe al seu interior (Taula 2.1) fa pensar que l'enriquiment en Fe dels fluids que formaren el ciment d'hematites fou el fruit de l'alteració dels silicats rics en Fe presents tant a la conca sedimentària com a la conca hidrogràfica de l'Oligocè de Montgat.

Finalment, pel que fa al Fe i al Mn que es troben com a elements traça als ciments de calcita oncolítica i de calcita esparítica de tipus 1, la seva font podria ser la mateixa que la del Fe de l'hematites, mentre que el Fe i el Mn presents a la calcita esparítica de tipus 2, a l'ankerita i a la calcita ferrosa tindran un origen incert.

2.6.3. Model qualitatiu de circulació de fluids

La cimentació de Montgat es pot dividir en tres etapes principals (Fig. 2.31). En una primera etapa, de caràcter sin-deposicional, es formaren el ciment de calcita oncolítica i el ciment d'òxids de ferro. En una segona etapa, post-deposicional però precoç, precipità la calcita esparítica de tipus 1 i en una tercera i última etapa, més tardana i coincidint amb la formació de fractures per un esdeveniment tectònic compressiu, es formà la calcita esparítica de tipus 2 i els ciments de calcita ferrosa i d'ankerita.

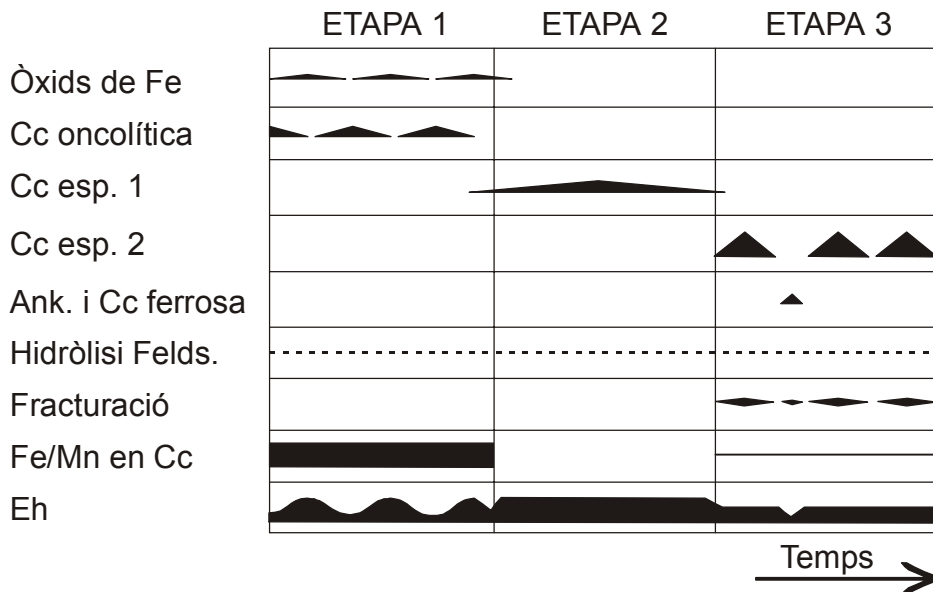


Figura 2.31.- Esquema evolutiu de la formació dels diferents ciments dels gresos oligocens de Montgat. A més, també s'indiquen els moments de fracturació, l'evolució de la relació Fe/Mn als ciments de calcita i el Eh dels fluids que circulen a través dels gresos.

Etapa 1: La primera etapa es caracteritza per la precipitació de: (i) òxids de ferro (hematites) en forma d'envoltes dels grans i de petites esferulites a l'interior dels fragments de roca metamòrfica i de les biotites i de (ii) calcita en forma d'envoltes oncolítiques dels grans de l'esquelet (Fig. 2.31). Aquests dos ciments són contemporanis ja que, sovint, formen diverses envoltes que es succeeixen alternativament en un mateix gra. El ciment de calcita oncolítica es formà per l'acció de cianobactèries, les quals recobrien els grans que es trobaven directament a sota de la làmina d'aigua durant el moment de transport i sedimentació del sediment. La calcita

oncolítica s'ha d'haver format en un ambient reductor ja que presenta una relació Fe/Mn alta, mentre que els òxids de ferro s'han format en un ambient oxidant. D'aquesta manera, per explicar la cimentació esdevinguda durant aquesta etapa cal que el medi patís oscil·lacions en l'estat d'oxidació passant de medis reductors a medis oxidants (Fig. 2.31). Així, en aquesta primera etapa, la cimentació dels grans de l'esquelet s'inicià, probablement, en punts del ventall al·luvial on les aigües meteòriques s'estancaven i adquirien un Eh reductor, enriquint-se en Fe^{+2} . En aquest medi les cianobactèries començaren a formar oncòlits i envolttes en els grans. Per altra banda, en moments de pluja hi havia una entrada d'aigües meteòriques oxidants que produïa la precipitació dels òxids de ferro.

Les aigües meteòriques d'aquesta etapa són les mateixes que transportaven el sediment, aquestes arribaven a la conca sedimentària per l'escorrentia superficial esdevinguda després d'una etapa de pluja.

Etapa 2: La segona etapa es caracteritza per la precipitació de la calcita esparítica de tipus 1 (Fig. 2.31). A diferència de l'anterior etapa, la formació d'aquest ciment es clarament post-deposicional. La calcita esparítica de tipus 1 es formà en un medi oxidant ja que la quantitat de Fe i Mn que conté és molt baixa (Fig. 2.31). Poc després d'haver-se dipositat el sediment, a través de la seva porositat primària, començaren a circular aigües meteòriques provinents de la conca hidrogràfica o directament de la pluja, amb un fort caràcter oxidant i pobres en soluts. Aquestes aigües meteòriques, que s'infiltraven a través de la porositat primària de la roca, provocaren la cimentació precoç de la roca per la calcita esparítica de tipus 1.

La circulació d'aigües meteòriques durant aquesta etapa fou similar a la de l'etapa anterior, amb la única diferència que aquesta circulació esdevingué un cop els conglomerats i gresos ja havien estat dipositats a la conca sedimentària.

Etapa 3: La darrera etapa es caracteritza per la precipitació de la calcita esparítica de tipus 2, de la calcita ferrosa i de l'ankerita (Fig. 2.31). Aquesta etapa és post-deposicional i contemporània a una etapa de tectònica compressiva que provocà una intensa fracturació de la roca. La calcita esparítica de tipus 2 presenta una relació Fe/Mn baixa i s'interpreta que es formà en un medi de trànsit òxic-anòxic (Fig. 2.31). Per altra banda els ciments de calcita ferrosa i d'ankerita són propis de medis reductors. Els anàlisis de $\delta^{18}O$ indiquen que la calcita esparítica de tipus 2 precipità a partir de fluids amb un temps de residència llarg i/o a una temperatura superior a l'ambiental. De totes les dades conegudes es pot deduir doncs que, en aquesta etapa, la cimentació es produí a partir d'aigües meteòriques, més o menys modificades, que arribaren a la conca sedimentària a través de les fractures. Així, és possible que aquestes aigües procedissin de parts més profundes i calentes de l'escorça i, en tenir un temps de residència important, haurien pres un caràcter lleugerament reductor, enriquint-se en Mn^{+2} . En determinats moments, aquestes aigües meteòriques prenen un caràcter més reductor precipitant la calcita ferrosa i l'ankerita. Aquesta etapa coincideix amb el moment en que es produeix la compactació general de tota la sèrie.

Pel que fa a la hidròlisi dels feldspats de l'esquelet dels gresos de l'Oligocè de Montgat, aquesta esdevingué a partir de circulació d'aigües meteòriques a través de la roca durant les tres etapes de cimentació (Fig. 2.31), tot i que aquest procés ja es podria haver iniciat a la mateixa àrea font.

Com ja s'ha vist, la cimentació dels gresos de l'Oligocè de Montgat ha estat pràcticament igual a les dues unitats litostratigràfiques descrites. Això indica que el medi en què es produí aquesta cimentació fou relativament obert i poc influenciat per la litologia del sediment. No obstant, l'enriquiment en Mg i Sr dels ciments de la Unitat del Pla de la Concòrdia, respecte als

de la Unitat del Turó de Montgat mostra que existia una certa interacció entre el fluid cimentant i els carbonats dels sediment i/o de l'àrea font.