



Universitat Autònoma de Barcelona

Facultat de Ciències

Dpt. de Geologia

Unitat de Petrologia i Geoquímica

**PETROLOGIA I DIAGÈNESI EN SEDIMENTS DE L'OLIGOCÈ
SUPERIOR I DEL MIOCÈ INFERIOR I MITJÀ DE LA DEPRESSIÓ DEL
VALLÈS I DEL PLA DE BARCELONA
Evolució de l'àrea font i dinàmica dels fluids**

David Parcerisa i Duocastella

Foto portada: Imatge de catodoluminiscència d'un gres de Montgat (mostra MG-1) amb grans de quars (no luminiscents), feldspat potàssic (luminiscència blava) i plagiòclasi (luminiscència verdosa) i dues generacions de ciment de calcita, una no luminiscent i l'altre reomplint fractures i donant a la mostra l'aspecte d'un trencaclosques amb les peces separades per bandes de calcita amb luminiscència ataronjada. Escala 150 μm .

Memòria presentada a la Unitat de Petrologia i Geoquímica del Departament de Geologia de la Universitat Autònoma de Barcelona per optar al grau de Doctor en Geologia. Aquest estudi s'emmarca dins del programa de doctorat en Geologia realitzat durant el bienni 1997-1999.

Bellaterra, desembre de 2002.

David Parcerisa i Duocastella

Vist-i-plau:

David Gómez Gras
Co-director

Francesc Calvet i Rovira
Co-director



EN RECORD...

*Uno se cree que las mató el tiempo y la ausencia.
Pero su tren vendió boleto de ida y vuelta.
Son aquellas pequeñas cosas,
que nos dejó un tiempo de rosas
en un rincón, en un papel o en un cajón.
Como un ladrón te acechan detrás de la puerta.
Te tienen tan a su merced como hojas muertas
que el viento arrastra allá o aquí, que te sonríen tristes y
nos hacen que lloremos cuando nadie nos ve.*

"Aquellas pequeñas cosas" (Joan Manuel Serrat)

Carta a Francesc dondequiera que estés...

Cesc, cuando ya queda poco para que se cumpla el primer aniversario de tu gran ausencia la inminente lectura de la tesis de nuestro David “petit” me obliga a enfrentarme de nuevo a tu recuerdo. En un día como este, sencillamente nos faltas tu y supongo que no te habrá sorprendido desde allí arriba o dondequiera que estés la inmensa pena y sentimiento de vacío que nos dejaste. El David “petit” y yo, el David “gran”, como tu nos acostumbrabas a llamar, lo hemos sobrellevado con dificultad ya que nos marcaste con un montón de matices de tu personalidad a lo largo de muchas jornadas de campo.

Son *aquellas pequeñas cosas* que como dice la canción de Serrat nos brindan un cariñoso recuerdo de tu persona y que nos surgen por doquier *en un papel, en un cajón* del despacho o en *un rincón* de cualquiera de los lugares que frecuentábamos cuando trabajábamos. A veces, esas pequeñas cosas las descubrimos sorprendidos en palabras o gestos que son tuyos y que hemos hecho nuestros sin darnos cuenta o en frases y reflexiones que empiezan diciendo, “...como decía Cesc...” o “...aquí Cesc hubiera considerado...”. Y es que para nosotros fuiste mucho más que un compañero con el que íbamos al campo. Eras un amigo con el que disfrutábamos a lo largo del día hablando de temas muy diversos, el cual nos sorprendía continuamente por la cultura y el saber que atesorabas. Por estas razones y sobretodo por tu dimensión humana fuiste y serás un ejemplo a seguir para nosotros.

En la última conversación de trabajo que mantuvimos me llegaste a decir que nos complementábamos de forma natural, bien sea por tu tendencia a estudiar las rocas sedimentarias carbonáticas o por la mía a las rocas siliciclásticas y que por tanto, nos esperaba un largo futuro de trabajo juntos en apasionantes proyectos de geología aplicada que tristemente no verán la luz. Y ahora veo que esa complementariedad ya la teníamos desde los primeros días en que el destino quiso que coincidiéramos un verano viviendo a cuatro puertas de distancia en un pequeño pueblo de Menorca. Hasta entonces, sólo nos conocíamos de vista pero mi afición a la pesca submarina y la tuya a cocinar nos brindó la posibilidad de vivir unas cuantas noches de felicidad degustando aquellos platos maravillosos de pescado fresco acabado de pescar que con tanto cariño cocinabas. De entre todos ellos recuerdo especialmente el “mero al romesco” por la explosión de sensaciones que provocó en mi paladar y que al final te fuiste sin acabar de enseñarme.

La perspectiva que da el tiempo me dice que aquello sin duda fue un buen comienzo y por eso nunca podré olvidar la noche menorquina en que me propusiste que trabajáramos juntos. La propuesta me emocionó profundamente no solo por venir de una persona que para mi era uno de mis referentes en la Petrología Sedimentaria sino porque me llegó en un momento especial en que sentía la necesidad de dar un giro completo a mi vida científica y abrirme a nuevos caminos y no sabía por dónde empezar.

A partir de ese verano todo fue fácil, básicamente porque contigo las cosas siempre eran sencillas y me integraste en tu departamento y entre tus compañeros de esa manera tan tuya con la que consigues que la gente se sienta como en casa. Empezamos a trabajar juntos y de forma muy decidida en lugares tan increíbles y surrealistas como Montjuïc y sus submundos constituidos por el Cementerio y el Puerto de Barcelona. Cada día de campo en esos lugares constituía una fuente inacabable de sorpresas, como por ejemplo los encuentros con la gente que en situación de marginalidad vivía en la montaña, sobretodo en la zona del Morrot, y a la que solíamos pedir permiso para pasar por sus “dominios” o las charlas con la familia que vive en el Faro.

Fue más o menos al año de haber empezado a estudiar Montjuïc cuando se incorporó el David “petit” a nuestro pequeño grupo de trabajo. Una de las cosas que de esa época recuerdo con más cariño era que siempre escogíamos con especial atención el lugar adecuado en el que descansar mientras reponíamos fuerzas. Por ejemplo, el chiringuito de la vía del funicular era el que más nos gustaba en la montaña de Montjuïc mientras que en Montgat era la “anxoveta” o el Bar de la María, la cual siempre nos acababa invitando aunque a ti eso te hacía sentir algo incómodo. De entre todos ellos, en nuestro corazón siempre ocupará un sitio especial el Bar Rovira, “el pitjor del port de Barcelona” no solo por la calidad de sus manjares sino por lo que nos costó entrar entre su “seleccionada” clientela. En él dejábamos boquiabiertos a Eduard Roca, a Anna Travé o a Klaus cada vez que nos venían a ayudar y a él volveremos todos nosotros un día de estos para brindar contigo por el trabajo concluido y de paso desayunar como Dios manda. ¿Te acuerdas Cesc que a nuestro David, la extensa variedad de platos a escoger le creaba una incertidumbre tal que nunca acertaba en la elección y por eso a los pocos días tomó la determinación de pedir en último lugar y lo mismo que nosotros?

Por todas estas razones y alguna más, tanto para mí como para el David “petit” la montaña de Montjuïc siempre estará ligada estrechamente a tu recuerdo y también al de nuestro estimado Manolo López, bedel de Geología y magnífico escalador que hizo posible desinteresadamente el muestreo de los duros y peligrosos acantilados de la cantera de Riviere y que en cambio, no pudo soportar la pesada carga emocional de su vida y decidió dejarnos, con gran dolor para todos los que le apreciábamos.

También quisiera recordarte que la foto que acompaña estas líneas la hizo tu estimada hija María ya que ella se sumaba de vez en cuando al grupo de trabajo con esa simpatía y curiosidad inmensas que seguro heredó de ti. En ella, se nos ve al trío contentos y satisfechos pues fue hecha la tarde del último día de campo de esta tesis para simbolizar el final de una etapa. A partir de ese momento empezó el David “petit” a escribir y nosotros a corregir y así íbamos haciendo hasta que la enfermedad te fue poco a poco quitando las fuerzas. Aún así Cesc, todavía te llevaste el último de los capítulos al hospital e incluso allí nos dabas muestras de tu preocupación por la situación en que nos dejabas, un gesto que nos marcó profundamente y que por si solo habla de la grandeza de tu espíritu.

Como dice la canción, son *aquellas pequeñas cosas* que nos hacen recordarte continuamente, que nos *acechan* y que nos tiene a *su merced* ya que surgen de la manera más imprevisible. A veces, esas pequeñas cosas nos hacen pensar en ti y llegamos a sonreír con tristeza y alguna vez también nos hacen que te lloremos *cuando nadie nos ve*.

Cesc, hoy te necesitamos aquí presente entre nosotros, que tenemos que hablar de muchas cosas.

Hasta siempre, compañero del alma, compañero,

David Gómez Gras (David “gran”)

Estimat Cesc,

aviat farà un any que ens vas deixar i encara no me'n sé avenir... La teva mancança em pesa i el teu record em produeix un sentiment agredolç en el fons de la meva ànima. Agre pel sentiment de pèrdua i dolç pel record de totes aquelles coses que vam compartir junts. Recordo especialment els dies de camp a Montgat. Te'n recordes Cesc? Mentre cartografiàvem i preniem mostres, la nostra conversa alternava temàtiques geològiques, polítiques i humorístiques amb aquell to desenfadat i fresc que et caracteritza. Cesc, m'ha costat molt redactar el capítol de Montgat... cada frase que escrivia em portava imatges teves. Aquest capítol i, vull pensar, tota la tesi estan amarats del teu esperit.

I saps Cesc que no sóc l'únic que et troba a faltar? En els darrers mesos pràcticament no hi ha hagut cap setmana en què el teu record no hagi estat present en alguna conversa. Xerrant amb l'Eloïsa, amb el David Gómez, l'Anna Travé, la Judit Nadal, el Ramon Vaquer... en definitiva amb tots aquells companys i amics que tens, el teu record, de manera inevitable, es feia (es fa i es farà) present amb força en tots nosaltres.

Així doncs, sense voler-ho i sense buscar-ho Cesc, vesteixo aquesta tesi de dol per la teva mancança. Mai podré oblidar aquells moments entranyables viscuts al teu costat: els esmorzars a "Lo pitxor del port" a Montjuïc, la subhasta de peix a Montgat... Anar al camp amb tu fou una experiència enriquidora i, sobretot, divertidíssima. D'alguna manera, em vas encomanar aquell esperit que traspues, de curiositat infinita per totes les coses, per tots els detalls, des de les plantes i arbres que ens envoltaven fins als oficis antics derivats de la geologia dels llocs que estudiaves.

Cesc, moltes gràcies per tot!

Ara em penso que l'única cosa que em queda per dir-te és: A reveure i salut!!

David Parcerisa i Duocastella (David "petit")

Al Cesc

A l'Oriol

*Quan surts per fer el viatge cap a Itaca,
has de pregar que el camí sigui llarg,
ple d'aventures, ple de coneixences.
Has de pregar que el camí sigui llarg,
que siguin moltes les matinades
que entraràs en un port que els teus ulls ignoraven,
i vagis a ciutats per aprendre dels que saben.*

“Viatge a Itaca” (Kavafis-Carles Riba-Lluís Llach)

ÍNDEX	i
AGRAÏMENTS	v
RESUMEN	ix
A. INTRODUCCIÓN.....	ix
B. MARCO GEOLÓGICO	x
C. SÍNTESIS	xii
D. CONCLUSIONES.....	xv
ABSTRACT	xvii
A. INTRODUCTION.....	xvii
B. GEOLOGICAL SETTING.....	xviii
C. SUMMARY.....	xx
D. CONCLUSIONS	xxii
1. INTRODUCCIÓ	1
1.1. INTRODUCCIÓ	1
1.2. OBJECTIUS.....	5
1.3. METODOLOGIA	7
1.3.1. Treball de camp	7
1.3.2. Treball de laboratori.....	7
1.3.3. Treball de gabinet.....	8
1.4. SITUACIÓ GEOGRÀFICA.....	15
1.5. CONTEXT GEOLÒGIC REGIONAL	17
1.5.1. Els semigrabens de Barcelona i del Vallès-Penedès	18
1.5.2. Els horsts de Collserola-Montnegre i del Garraf.....	19
1.5.3. La zona d'enllaç entre el massís de Collserola i el semigraben de Barcelona.....	21
1.6. INTRODUCCIÓ A LA GEOQUÍMICA DELS MINERALS AUTIGÈNICS	23
1.6.1. Geoquímica de la calcita	23
1.6.2. Geoquímica de la sílice.....	26
1.6.3. Geoquímica dels òxids de Fe i Mn.....	27
1.6.4. Geoquímica del feldspat potàssic.....	29
1.6.5. Geoquímica de l'alunita	30
1.6.6. Geoquímica de la baritina	30
2. EL CATIÀ DE MONTGAT	31
2.1. INTRODUCCIÓ	31
2.2. ESTRATIGRAFIA.....	33
2.2.1. Litostratigrafia i sedimentologia	33
2.2.2. Cronostratigrafia	44
2.2.3. Tectònica.....	45

2.3. PETROLOGIA	49
2.3.1. <i>El contacte amb els materials del basament</i>	49
2.3.2. <i>Composició detrítica dels gresos i conglomerats</i>	49
2.3.3. <i>Mineralogia diagenètica dels gresos</i>	55
2.3.4. <i>Sòls de calcreta, sediments lacustres i oncòlits</i>	59
2.3.5. <i>Mineralogia de les lutites</i>	64
2.3.6. <i>Caracterització petrològica de les diferents unitats</i>	65
2.4. ORIGEN DELS CARBONATS INTRACONCALS	69
2.4.1. <i>Breu introducció a la geoquímica dels carbonats intraconcalcs</i>	69
2.4.2. <i>Anàlisi geoquímica dels carbonats intraconcalcs de l'Oligocè de Montgat</i>	70
2.4.3. <i>Interpretació de les dades</i>	72
2.5. PROCEDÈNCIA DELS COMPONENTS DETRÍTICS	75
2.5.1. <i>Litologia original dels components detrítics</i>	75
2.5.2. <i>Anàlisi modal dels components detrítics als conglomerats</i>	76
2.5.3. <i>Anàlisi modal dels components detrítics als gresos</i>	79
2.5.4. <i>Caracterització de les petrofàcies</i>	84
2.5.5. <i>Interpretació de les dades</i>	85
2.6. DIAGÈNESI DELS GRESOS	89
2.6.1. <i>Enterrament i compactació</i>	89
2.6.2. <i>Cimentació</i>	90
2.6.3. <i>Model qualitatiu de circulació de fluids</i>	98
2.7. CONCLUSIONS	101
3. EL BURDIGALIÀ DEL VALLÈS	105
3.1. INTRODUCCIÓ	105
3.2. ESTRATIGRAFIA	107
3.2.1. <i>Litostratigrafia i sedimentologia</i>	107
3.2.2. <i>Distribució espacial de les unitats descrites</i>	113
3.2.3. <i>Els dics de sorra i conglomerat</i>	114
3.2.4. <i>Cronostratigrafia</i>	118
3.2.5. <i>Tectònica</i>	118
3.3. PETROLOGIA	121
3.3.1. <i>Els materials en contacte amb el basament</i>	121
3.3.2. <i>Composició detrítica de gresos i conglomerats</i>	126
3.3.3. <i>Mineralogia diagenètica dels gresos</i>	137
3.3.4. <i>Mineralogia de les lutites</i>	142
3.3.5. <i>Caracterització petrològica de les diferents unitats</i>	142
3.4. PROCEDÈNCIA DELS COMPONENTS DETRÍTICS	147

3.4.1. Litologia original dels components detrítics	147
3.4.2. Anàlisi modal dels components detrítics de l'esquelet dels conglomerats	149
3.4.3. Anàlisi modal dels components detrítics de l'esquelet dels gresos	152
3.4.4. Anàlisi de la mineralogia argilosa de les lutites.....	158
3.4.5. Caracterització de les petrofàcies.	158
3.4.6. Desenvolupament de les diferents petrofàcies	163
3.4.7. Localització i evolució de les àrees font	165
3.4.8. Relació entre procedència i tectònica.....	169
3.5. DIAGÈNESI DELS GRESOS	171
3.5.1. Enterrament i compactació.....	171
3.5.2. Cimentació.....	172
3.5.3. Correlació entre els ciments de calcita dels gresos burdigalians i de les fractures	183
3.5.4. Model qualitatiu de circulació de fluids	184
3.6. CONCLUSIONS	187
ANNEX	191
4. EL SERRAVAL·LIÀ DE MONTJUÏC	197
4.1. INTRODUCCIÓ	197
4.2. ESTRATIGRAFIA.....	199
4.2.1. Litostratigrafia i sedimentologia	200
4.2.2. Estratigrafia seqüencial.....	207
4.2.3. Cronostratigrafia	209
4.2.4. Restes vegetals i palinologia.....	210
4.2.5. Tectònica.....	212
4.3. PETROLOGIA	213
4.3.1. Composició detrítica dels gresos	213
4.3.2. Mineralogia diagenètica dels gresos	217
4.3.3 Mineralogia en fractures	220
4.3.4. Mineralogia de les lutites.....	224
4.3.5. Caracterització petrològica de les diferents unitats	225
4.4. PROCEDÈNCIA DELS COMPONENTS DETRÍTICS	227
4.4.1. Litologia original dels components detrítics	227
4.4.2. Anàlisi modal dels components detrítics.....	229
4.4.3. Caracterització de petrofàcies	232
4.4.4. Localització de l'àrea font	233
4.5. DIAGÈNESI DELS GRESOS	235
4.5.1. Enterrament i compactació dels gresos de Montjuïc.....	235
4.5.2. Autigènesi en els gresos de Montjuïc.....	236

4.5.3. <i>Relació amb les varietats constructives de la pedra de Montjuïc</i>	241
4.5.4. <i>Geometria de la silicificació</i>	241
4.5.5. <i>Successions diagenètiques</i>	243
4.5.6. <i>Mecanismes de cimentació</i>	244
4.5.7. <i>Modelització termodinàmica quantitativa de la silicificació</i>	248
4.6. CONCLUSIONS	251
ANNEX	253
5. SÍNTESI I CONCLUSIONS FINALS	263
5.1. SÍNTESI	263
5.1.1. <i>Petrologia</i>	263
5.1.2. <i>Procedència</i>	265
5.1.3. <i>Diagènesi</i>	266
5.2. CONCLUSIONS FINALS	269
5.3. TEMES A APROFUNDIR	271
6. BIBLIOGRAFIA.....	273

AGRAÏMENTS

Quan fas una tesi, sobretot si la fas d'un tema que t'apassiona, el viatge, com deia en Lluís Llach a "Itaca", és ple d'aventures i de noves coneixences. Per a mi la tesi no és el port de la cançó, per a mi és el vaixell, que m'ha permès de viatjar i que ha estat prou gran i confortable com per allotjar una tripulació molt nombrosa. La meva tripulació la formen tots aquells que m'han ajudat a traçar la ruta, a mantenir un rumb fix i constant, que m'han orientat i que, quan ha calgut, han desplegat amb mi les veles d'aquest vaixell perquè solques la mar amb tota la seva majestuositat. Vull que tots vosaltres sapiguen que el viatge també es vostre. Tant de bo que no s'acabi mai! Tant de bo que el puguem continuar fent plegats!

En David Gómez i en Francesc Calvet han estat sempre al meu costat, ells han marcat la ruta i m'han orientat, sobretot en David que ha estat al peu del timó cada dia. Tots dos han estat uns magnífics capitans del meu vaixell. I, és clar, les famílies dels capitans sempre viatgen, sacrificadament, amb ells... Així que a la tripulació també hi compto la Mercè Rullan, el Marc i la Mireia Gómez, l'Eloïsa Anglada i la Maria Calvet (que va fer un dia de ruta amb nosaltres a Montgat!!).

Amb la Cristina Ferrer els primers anys i, més tard amb el Joan Agustí Núñez (Sting) i amb el Germán Lacasa hem compartit molts dies de ruta, alguns amb un sol de justícia, d'altres amb caramells de gel al mascaró de proa i d'altres sota tempestes inquietants. Amb ells, els segons de a bord, hem format un equip de treball unit i solidari i hem forjat també una gran amistat.

En Médard Thiry ha esta un guia immillorable quan el vaixell s'ha aturat en ciutats estrangeres per "...aprendre dels que saben...".

I encara hi ha molts més mariners que, sense vacil·lar i desinteressadament, s'han sumat a la tripulació. Amb la seva alegria i el seu esforç diari han fet més agradable el viatge:

He compartit dies de ruta amb la Judit Nadal (que sap el que són les tempestes...), el Juan Diego Martín (Juandi), la Karima, l'Eduard Saura, el Lluís Casas, l'Ester Vilanova, la Mònica Ribas, el Fidel Grandia, el Quim Perona, el Manolo Riesco, la Mari Carmen Ferrer, l'Albert Griera, el Joan Carles Ortiz i el David Soler.

No puc oblidar tampoc aquells que ja no hi són, els que han deixat el vaixell abans d'hora. El mateix Francesc Calvet, el meu estimat amic i company de promoció Oriol Vilardell, el Manolo López, el nostre bidell sempre apunt per agafar una mostra en el lloc més complicat, i el Jordi Acosta heu de saber que cada tarda, des de popa contemplo la vostra estela.

L'Anna Travé, el Lluís Cabrera i l'Eduard Roca han ofert el seu ajut en els moments difícils, després de la pèrdua del Cesc, ells han vetllat perquè el vaixell no s'esberlés.

Tots els companys de promoció i tots els professors del Departament de Geologia de la UAB, especialment els de les Unitats de Petrologia i Geoquímica, Cristal·lografia i Mineralogia i Geotectònica els quals també s'han sumat al viatge i amb els que he conviscut durant la carrera i el doctorar. El Paco Martínez com a Cap de la Unitat de Petrologia i Geoquímica m'ha acollit en l'oceà de la Petrologia. El Toni Teixell, l'Esteve Cardellach, la Mercè Corbella, el Joan Farran i el José Felipe Noguera han estat els més propers.

També els professors del Departament de Geoquímica, Petrologia i Prospecció Geològica de la UB. Departament on vaig obtenir la beca per finançar la construcció del vaixell i on he pogut exercir com a professor un temps curt però intens. Amb el Ramon Vaquer, la Montserrat Inglès, el Domingo Gimeno, la Gemma Elias, la Meritxell Aulines, el Federico Ortí, el Ramon Salas, l'Albert Permanyer, l'Albert Casas i el Lluís Ribero he compartit cafès i inquietuds. A la UCM de Madrid l'Ana Maria Alonso Zarza ha estat un suport constant.

A França, la Régine Simon-Coinçon, el Jean-Michel Schmitt, la Nicole Forette, la Marie-Claude Forette, la Sabine Huet-Taillenter, l'André Raulo, el Laurent de Wint (i la seva dona) i el Jan Van der Lee han seguit el viatge a distància.

Tampoc puc oblidar els alumnes de Petrologia Sedimentària de la UAB i de la Facultat de Geologia de la UB, aquests aprenents de mariner m'han donat l'oportunitat de fer docència, tasca que per a mi ha estat enormement gratificant. Alguns d'ells, s'han implicat fortament en aquest viatge, he d'agrair especialment la col·laboració del Joan Madurell (i del Jordi Agustí de l'Institut Paleontològic de Sabadell) que s'ha ocupat dels ratolins del vaixell a l'Institut Paleontològic de Sabadell i del David Navarro i l'Helena Romera, els quals no han tingut cap inconvenient en entrar a la cuina del vaixell. Tots els estris de cuina han estat amablement subministrats per el departament de química orgànica i, sobretot, per l'IBB on en Joan Checa ens ha assistit en tot moment.

Hi ha hagut també molts tècnics que han estat sempre pendents de la maquinària del vaixell. A la UAB el Jaume Ques (cap de la sala de màquines, encara que rondinant, sempre disposat a solucionar l'eventualitat), el Lluís Gordon, la Teresa Puig i a la UB el Vicenç & co., l'Eva i la Pilar. A càrrec de la paperassa la Gloria, la Tere i la Sara a la UAB (les quals, amb la seva simpatia, sempre han creat un ambient distès a bord del vaixell) i el Jordi, el Joan i la Rosa

a la UB. No puc oblidar tampoc la simpatia de la Puri de fotocòpies que sempre m'ha animat quan tothom havia deixat el vaixell per fer vacances.

Finalment, he de reconèixer el suport constant dels amics (viladordins, igualadins, manresans, paülsencs...) i de la meva família, sobretot de la meva mare, Maria Duocastella, i el meu oncle, Josep Duocastella, que, des del dia que vaig començar el viatge, han tingut cura de que el vaixell sures amb consistència. El suport, l'estima i la paciència incondicionals, de vegades fins al límit, de la Judith Matamala han estat el meu motor. Agraieixo també l'interès i la simpatia mostrats en tot moment per la germana, els pares i els avis de la Judith.

Aquest treball ha estat finançat pels projectes d'investigació CAYCIT PB94-0868, CAYCIT PB97-0883 i per el "Comissionat per Universitats i Recerca de la Generalitat de Catalunya" amb la beca pre-doctoral 1998FI 00360.

**PETROLOGÍA Y DIAGENESIS EN SEDIMENTOS DEL
OLIGOCENO SUPERIOR Y DEL MIOCENO INFERIOR Y MEDIO
DE LA DEPRESIÓN DEL VALLÈS Y DEL LLANO DE
BARCELONA**
Evolución del área fuente y dinámica de fluidos
Resumen

A. INTRODUCCIÓN

Este trabajo se centra en el estudio de tres áreas donde afloran sedimentos del Oligoceno superior y del Mioceno inferior y medio que están en relación con la formación de las Sierras Costeras Catalanas (SCC). Dos de los afloramientos se sitúan en el llano de Barcelona (Chattiense de Montgat y Serravaliense de Montjuïc), el otro está en la otra vertiente del macizo de Collserola en la depresión del Vallès (Burdigaliense del Vallès). Los sedimentos del Oligoceno superior (Chattiense de Montgat) se formaron como parte de una cuenca compresiva de tipo *piggy-back* en el momento en que las SCC cabalgaban sobre la Cuenca del Ebro. Los sedimentos del Mioceno inferior y medio se depositaron en dos cuencas del tipo *semigraben* durante una fase de extensión que causó el colapsamiento de las SCC y la formación del Surco de Valencia. Concretamente, los sedimentos basales del Mioceno inferior (Aquitaniense? y Burdigaliense inferior del Vallès) pertenecen al estadio de *syn-rift* y el resto de sedimentos del Mioceno inferior y medio (Burdigaliense superior-Langhiense del Vallès y Langhiense?-Serravaliense de Montjuïc) al estadio de *post-rift*.

El Chatienense de Montgat (Fig. 2.4, 2.5, 2.6, 2.7 y 2.8) y el Burdigaliense del Vallès (Fig. 3.1, 3.2, 3.3 y 3.4) están constituidos por sedimentos continentales detríticos depositados en ambientes aluviales, mientras que el Serravalliense de Montjuïc (Fig. 4.3, 4.4 y 4.5) está formado por sedimentos detríticos deltaicos. El estudio detallado de la petrología y la diagénesis de las areniscas de estos sedimentos puede aportar datos importantes sobre la evolución de los paleorelieves y la dinámica de los fluidos en la cuenca durante las etapas de *pre-*, *syn-* y *post-rift* de la extensión miocénica.

B. MARCO GEOLÓGICO

El *rift* neógeno de las Sierras Costeras Catalanas (SCC), que se localiza en la parte NE del margen oriental ibérico (Fig. 1.2), corresponde a un sistema de *grabens* situados a lo largo del margen NO del Surco de Valencia (Roca y Guimerà, 1992; Roca 1994). La estructura de las SCC esta dominada por fracturas longitudinales con buzamiento vertical y con una orientación entre NE-SW y ENE-WSW. Durante la fase compresiva alpina del Paleógeno, estas fallas actuaron como fallas direccionales sinistras con transpresión local. Durante la extensión Neógena, algunas de estas fallas (falla del Vallès-Penedès, falla del Camp) fueron reactivadas como fallas normales con una orientación ENE-WSW.

Las SCC están formadas por un zócalo hercínico y una cobertera discordante con rocas de edad Mesozoica y Cenozoica. El zócalo está constituido por rocas metamórficas del Paleozoico y granitos tardihercínicos. Los sedimentos del Mesozoico (Triásico, Jurásico y Cretácico) son básicamente rocas calcáreas (calizas y dolomias) y, localmente, rocas siliciclásticas y evaporíticas.

En la parte central de las SCC hay dos *semigrabens* de edad neógena: el *semigraben* del Vallès-Penedès y el *semigraben* de Barcelona actualmente por debajo del nivel del mar. Estos dos *semigrabens* están separados por los *horsts* del Garraf y de Collserola-Montnegre (Sierra Litoral; Fig. 1.2 y 1.3). Entre el *horst* de Collserola-Montnegre y el *semigraben* de Barcelona hay una zona de enlace donde se sitúa la ciudad de Barcelona.

Los *semigrabens* del Vallès-Penedès y de Barcelona.

El *semigraben* del Vallès-Penedès tiene aproximadamente 100 km de longitud por 10-14 km de espesor (Fontboté, 1954; Bartrina *et al.*, 1992). Al oeste, el *semigraben* limita con la Sierra Prelitoral por la falla del Vallès-Penedès, la cual tiene un salto de 3000 m y una orientación ENE-WSW a NE-SW (Fig. 1.2 y 1.3). Al oeste, diversas fallas de salto hectométrico limitan el *semigraben* del Vallès-Penedès con los *horsts* de Garraf y de Collserola-Montnegre.

El Mioceno que rellena el *semigraben* del Vallès-Penedès ha sido dividido en cuatro complejos estratigráficos (Cabrera *et al.*, 1991), de base a techo: 1) Complejos continentales inferiores de edad Aquitaniense?-Burdigaliense; 2) Complejos continentales y de transición con plataformas arrecifales de edad Langhiense; 3) Complejos continentales y de transición con plataformas mixtas carbonáticas-siliciclásticas de edad Serravalliense inferior y 4) Complejos continentales superiores. Esta última unidad está formada por potentes secuencias de *red beds* depositados en un ambiente aluvial. La edad de esta unidad es Aragoniense superior-Turolense (Garcés *et al.*, 1996), y es equivalente a una edad Serravalliense medio-superior a Tortoniense en las sucesiones marinas. El Mesiniense está representado por una superficie erosiva regional que afecta a los materiales infrayacentes.

El *semigraben* de Barcelona tiene 60 km de longitud y 16 km de espesor. Este *semigraben* está limitado al NW por una falla lítrica extensiva que buza hacia el SE y tiene un salto de 6000 m y al SE por diversas fallas normales de salto hectométrico (Bartrina *et al.*, 1992; Álvarez-de-Buergo y Meléndez, 1994).

El *semigraben* de Barcelona ha sido rellenado por las siguientes unidades litostratigráficas (Bartrina *et al.*, 1992): 1) Unidades del Paleógeno-Aquitaniense?, constituidas por secuencias de *red beds*, evaporitas y rocas carbonáticas carbonosas; 2) Unidades del Mioceno inferior-medio (Aquitaniense?-Serravalliense inferior) formadas básicamente por depósitos terrígenos de plataforma y talud y, localmente, plataformas carbonáticas de tipo *coralgal*; y 3) Unidades del Serravalliense superior-Tortonense formadas por lutitas marinas y areniscas de transición.

Los horsts de Garraf y Collserola-Montnegre

Los *horsts* de Collserola-Montnegre y de Garraf tienen una orientación NE-SW. Estos dos *horsts* están separados por el valle del Llobregat que está orientado NW-SE.

El *horst* de Collserola-Montnegre tiene más de 75 km de longitud y más de 20 km de espesor (Fig. 1.2 y 1.3). La parte SW del *horst* es el macizo de Collserola, este macizo está constituido por rocas paleozoicas del Ordovícico superior al Carbonífero y granitoides (Vaquer, 1973; Gil Iburguchi y Julivert, 1988; Julivert y Durán, 1990). Los materiales del Ordovícico y del Silúrico, presentan una gran variedad de rocas metamórficas de grado bajo-medio (pizarras, filitas y quarcitas) con rocas metavolcánicas intercaladas (Durán *et al.*, 1984). Los granitoides, los cuales forman parte de un importante batolito calco-alcálico (Enrique, 1990), son muy homogéneos y están constituidos por cuarzo, plagioclasa, feldespato potásico y biotita (Vaquer, 1973). La intrusión granítica afecta a las rocas metamórficas hasta más allá de 2 km del contacto transformándolas a una gran variedad de corneanas (San Miguel de la Cámara, 1929; Vaquer, 1973 y Gil Iburguchi y Julivert, 1988). Tanto el batolito granítico como las rocas metamórficas están afectadas por diques aplíticos, porfíricos y pegmatíticos. La parte NE del *horst* es el macizo del Montnegre formado predominantemente por granitoides del batolito calcoalcálico.

En el contexto de las SCC, algunos autores han realizado dataciones de estos materiales graníticos, proponiendo edades de 284 ± 4 M.a. mediante K-Ar en biotitas (Solé *et al.*, 1998) y de $287,2 \pm 1,1$ M.a. a $284,0 \pm 1,4$ M.a. mediante $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ en biotitas y anfíboles (Ferrés-Hernández *et al.*, 1997) que indican un rápido enfriamiento de estas intrusiones por debajo de los 300°C , consistente con su emplazamiento superficial. Gil Iburguchi y Julivert (1988) proponen una profundidad de emplazamiento para las granodioritas del área de Barcelona de no más de 4 km, con unas condiciones máximas del metamorfismo de contacto entorno a 1,5 kbar y 700°C .

El *horst* del Garraf, con una longitud de más de 50 km y más de 20 km de espesor (Fig. 1.2 y 1.3), está formado por materiales del Mesozoico (Triásico, Jurásico y predominantemente carbonatos del Cretácico) y, localmente, materiales del Paleozoico (rocas metamórficas y ígneas).

La zona de enlace entre el macizo de Collserola y el *semigraben* de Barcelona

La estructura de esta zona de enlace es relativamente compleja (Fig. 1.3) y está constituida por diversas unidades tectónicas menores afectadas por diferentes fallas. Estas fallas están orientadas NE-SW y tienen un salto de más de 300 m (Llopis, 1942; Solé Sabarís, 1963; Medialdea Vega y Solé Sabarís, 1973; Alonso *et al.*, 1977; Roca y Casas, 1981).

Estas unidades tectónicas son, del macizo de Collserola hasta la línea de costa: 1) Las depresiones de Vall d'Hebron y Sarriá (Ilopis, 1942b) situadas en la base del macizo de Collserola y controladas probablemente por la falla del Tibidabo. Estas pequeñas depresiones están rellenadas por sedimentos cuaternarios y las separa el complejo de bloques basculados dels Turons; 2) El complejo de bloques basculados dels Turons (Monteroles, Putxet, Vallcarca y Carmel), constituidos por metapelitas de edad ordovícica a siluriense y rocas carbonáticas siluro-devónicas; 3) La depresión de la ciudad de Barcelona con un espesor de más de 300 m, esta depresión está controlada por la falla dels Turons en el límite meridional y por la falla de Barcelona en el límite septentrional (Llopis, 1942b; Roca y Casas, 1981); y 4) El bloque basculado de Montjuïc limitado al sur por la falla del Morrot y al norte por una falla menor con una orientación E-W (Roca y Casas, 1981). El bloque de Montjuïc muestra probablemente una cierta continuidad estructural hacia el NE (centro de la antigua ciudad), donde los materiales pliocenos afloran por debajo de los edificios históricos, formando el hipotético bloque basculado del Mont Taber.

C. SÍNTESIS

Petrología

Desde un punto de vista petrológico, los principales componentes detríticos de las areniscas son: no carbonáticos extracuencales (NCE), carbonáticos extracuencales (CE) y carbonáticos intracuencales (CI). Los principales componentes NCE son cuarzo (monocristalino, policristalino y en fragmentos plutónicos), feldespatos (con las mismas tipologías que el cuarzo y dominando el feldespato potásico sobre la plagioclasa) y fragmentos de roca metamórfica de bajo grado. Los componentes CE son rocas carbonáticas tanto calcáreas como dolomias y, finalmente, los componentes CI son bioclastos y fragmentos oncolíticos.

Las areniscas del Chattiense de Montgat se pueden dividir en dos familias (Fig. 2.13 y 2.18): (i) litarenitas con un elevado contenido en cuarzo, feldespato, fragmentos de roca plutónica y fragmentos de roca carbonática y; (ii) calcilitarenitas con elevados contenidos en fragmentos de dolomita y dolmicrita.

Las areniscas del Burdigaliense del Vallès son litarenitas (Fig. 3.14 y 3.19) que contienen fragmentos de roca metamórfica, cuarzo y contenidos variables de fragmentos de roca carbonática en las partes basales de la serie. En las partes altas de la serie aparecen fragmentos de feldespato y de mica y aumenta el contenido en cuarzo. En el techo de la serie se encuentran bioclastos.

Las areniscas del Serravalliense de Montjuïc son litarenitas y sublitarenitas (Fig. 4.6 y 4.12) con cuarzo, fragmentos de roca plutónica y carbonáticos y feldespato potásico. Hacia el techo de la serie aparece plagioclasa.

Las principales mineralogías autigénicas identificadas en las areniscas son: calcita, cuarzo (y otras variedades menos cristalinas de la sílice), y feldespato potásico. En cantidades menores también hay óxidos de hierro, minerales de la arcilla, baritina y alunita. La mayoría de estos minerales se encuentran en la porosidad intergranular primaria excepto los minerales de la arcilla que remplazan granos de feldespato y microcuarzo/ópalo remplazando la matriz original de las areniscas de Montjuïc.

Las areniscas del Chattiense de Montgat están cementadas por tres tipos de calcita (Tabla 2.5). El primer tipo es una generación de calcita oncolítica, la cual recubre los granos del

esqueleto. El segundo tipo es una generación de calcita esparítica que se halla en la porosidad intergranular de la roca y el tercer tipo es una generación de calcita esparítica que rellena fracturas. Geoquímicamente, la primera calcita es rica en Fe, la segunda es pobre en elementos traza y la tercera es rica en Mn.

Las areniscas del Burdigaliense del Vallès están cementadas por calcita intergranular esparítica, la cual puede presentar tres composiciones en elementos traza diferentes (Tabla 3.8): una pobre en elementos traza, otra rica en Mn y la última rica en Fe.

Finalmente, las areniscas del Serravalliense de Montjuïc muestran una gran diversidad de mineralogías autigénicas (Fig. 4.9). Los principales son sobrecrecimientos de cuarzo y feldespato potásico y microcuarzo remplazando la matriz original de las areniscas; estos cementos causan una cementación masiva de las areniscas de Montjuïc. En las partes no silicificadas de la serie de Montjuïc precipita calcita esparítica intergranular en forma de nódulos (Fig. 4.5.C).

Respecto a los niveles lutíticos de las series de Montgat, Vallès y Montjuïc, éstos están compuestos por elevados contenidos en minerales de la arcilla (entre 30 y 50 %) y otros minerales en contenidos variables (cuarzo, calcita, dolomita, feldespato y hematites).

Los minerales de la arcilla en el Chattiense de Montgat son illita, clorita y interestratificados irregulares de illita-esmectita y de clorita-esmectita (Fig. 2.17). La illita y la clorita han sido interpretadas como detríticas mientras que los elevados contenidos en interestratificados irregulares se han interpretado como el producto de una diagénesis de tipo superficial desarrollada en un ambiente lacustre-palustre.

Los niveles lutíticos de la parte inferior del burdigaliense contienen illita, clorita y cantidades menores de caolinita y clorita-esmectita, mientras que en partes altas de la serie burdigaliense los minerales de la arcilla son esmectita, illita y cantidades menores de clorita, caolinita, illita-esmectita y clorita-esmectita (Fig. 3.26). Todos estos minerales de la arcilla tienen un origen detrítico; la aparición de la esmectita hacia las partes altas de la serie ha sido interpretada como el resultado de la erosión de los materiales paleógenos de la Sierra Prelitoral.

Las lutitas del Serravalliense de Montjuïc están formadas por illita y cantidades menores de clorita y interestratificados irregulares de clorita-esmectita, interpretados como detríticos.

Las elevadas tasas de sedimentación existentes en las cuencas de tipo *semigraben* han impedido, probablemente, el desarrollo de una diagénesis superficial en los minerales de la arcilla y por eso, el Burdigaliense del Vallès y el Serravalliense de Montjuïc tienen bajos contenidos en interestratificados irregulares.

Procedencia

La composición de los granos detríticos de las areniscas estudiadas indica que el área fuente de estos sedimentos estaba situada, en la mayoría de los casos, en la actual Sierra Litoral y, en concreto, en el macizo de Collserola y las partes adyacentes a este de los macizos del Garraf y del Montnegre. La excepción se encuentra en los sedimentos del Burdigaliense del Vallès los cuales hacia su parte alta registran un cambio de área fuente que se sitúa en la Sierra Prelitoral, llegando a erosionar los sedimentos paleógenos de la Depresión del Ebro.

Durante el Chattiense (Fig. 2.25), el área situada entre los macizos de Collserola y Montnegre estaba constituida por un zócalo Paleozoico y una cobertera Mesozoica. Las rocas paleozoicas eran granitoides tardihercínicos, rocas metamórficas de bajo grado de edad Cambroordovícico y Siluriense y dolomias devónicas. La cobertera Mesozoica estaba constituida por rocas triásicas (areniscas, dolomías y evaporitas; Buntsandstein, Muschelkalk y Keuper),

rocas jurásicas (dolesparitas con fantasmas de oolitos) y rocas cretácicas (dolesparitas y grainstones-wackestones bioclásticos del Barremiense-Aptiense).

Durante el Burdigaliense inferior (Fig. 3.28), la parte occidental del macizo de Collserola y la parte adyacente del macizo del Garraf tenían un zócalo paleozoico formado por rocas metamórficas de bajo grado cambordovícicas y una cobertera mesozoica formada por las rocas triásicas, jurásicas y cretácicas anteriormente citadas.

A partir del Burdigaliense superior en adelante, el macizo de Collserola estaba constituido por rocas paleozoicas (igual que en la actualidad) con algunos restos de cobertera triásica (Buntsandstein) (Fig. 3.29). En el Serravaliense, el macizo de Collserola ya estaba formado exclusivamente por rocas Paleozoicas (rocas metamórficas de bajo grado del Cambordovícico al Carbonífero y granitoides y porfiroides tardihercínicos) (Fig. 4.16). Así, la erosión de la cobertera Mesozoica de Collserola ocurrió principalmente durante el Burdigaliense inferior y prosiguió hasta el Languense, puesto que las areniscas serravaliense de Montjuïc no contienen ningún fragmento de origen mesozoico.

En las areniscas procedentes de áreas fuentes plutónicas (con feldespatos y mica en el esqueleto) hay un bajo contenido en plagioclasa (Fig. 3.24 y 4.14) y mica debido, probablemente a la existencia de un manto de alteración meteórica en el área fuente. Este manto de alteración correspondería a la discordancia Paleozoico-Mesozoico donde se encuentran alteraciones de este tipo a lo largo de todas las SCC, desarrolladas durante el Pérmico. La erosión de este perfil conjuntamente con el Buntsandstein causó la coloración roja de los sedimentos del Burdigaliense del Vallès (Fig. 3.15).

Diagénesis

Por lo que respecta a la Diagénesis, cada una de las áreas estudiadas tiene una historia diagenética característica dependiendo de la composición del área fuente y de los sedimentos, la historia tectónica, el ambiente de sedimentación y el tipo de fluidos que circularon a través del sedimento, entre otros factores. Una cementación por calcita precoz relacionada con la circulación de fluidos meteóricos superficiales es el único proceso diagenético observado en las tres áreas de estudio.

Las areniscas del Chattiense de Montgat no han sufrido un marcado enterramiento, aunque tienen una elevada compactación debido a una fase de deformación compresiva (Fig. 2.26). La cementación por calcita es el evento diagenético más importante y se puede dividir en tres fases (Fig. 2.28). En la primera fase, durante el transporte del sedimento, se desarrolló una cementación oncolítica debido a la actividad de cianobacterias. Durante la segunda fase, precipitó calcita intergranular esparítica a partir de fluidos meteóricos superficiales y en la tercera y última fase, durante un periodo de intensa fracturación de la roca, precipitó calcita esparítica a partir de fluidos meteóricos con un cierto tiempo de residencia en la roca y que circulaban, preferentemente, a través de las fracturas.

En las areniscas del Burdigaliense del Vallès el enterramiento es también escaso (Fig. 3.30). La cementación se caracterizó por una sola fase de precipitación de calcita esparítica asociada a la circulación de fluidos superficiales a través del sedimento. La geoquímica de estos fluidos (y de las calcitas asociadas) variaba según el ambiente de sedimentación (Fig. 3.36 y 3.37). Así, en ambientes de abanicos aluviales proximales los fluidos eran oxidantes y precipitaban una calcita pobre en elementos traza. En ambientes de abanicos aluviales medios-distales, el incremento en el tiempo de residencia de los fluidos meteóricos provocó un decrecimiento de su carácter oxidante precipitando una calcita rica en Mn. Por último, en

ambientes aluviales distales (lacustres) la existencia de fluidos con un marcado carácter reductor provocó la precipitación de una calcita rica en Fe y Mn.

En comparación con las otras áreas de estudio, las areniscas serravallienses de Montjuïc han sufrido una diagénesis peculiar. La compactación es débil, debido a la falta de enterramiento o a una cementación precoz (Fig. 4.17). La cementación ocurrió básicamente en tres estadios. Un primer estadio de cementación por calcita a partir de fluidos meteóricos superficiales. Un segundo estadio de intensa silicificación (Fig. 4.21 y 4.22) causado por la circulación, en un ambiente freático, de fluidos ácidos ($\text{pH} \leq 4$) y oxidantes (Fig. 4.24) y en un tercer estadio, de precipitación de un nuevo cemento de calcita relacionado con la circulación de fluidos meteóricos superficiales. Con los datos que tenemos, no se puede saber la naturaleza exacta de los fluidos que causaron la silicificación ni por qué Montjuïc ha sufrido esta diagénesis y el resto de sedimentos estudiados no. Probablemente, las causas de estas diferencias son: (i) la presencia de pirita en el sedimento original (responsable de la acidificación) y (ii) la posible relación con fluidos relativamente salinos (marinos??).

D. CONCLUSIONES

Después del estudio detallado de los materiales del Chattense de Montgat, del Burdigaliense del Vallès y del Serravalliense de Montjuïc, se pueden identificar tres etapas en la evolución del área fuente, las cuales se pueden relacionar con la evolución tectono-sedimentaria de esta zona y, al mismo tiempo, con la dinámica de fluidos establecida durante la diagénesis de los sedimentos estudiados:

- 1- En el Oligoceno superior, había una cobertera Mesozoica que recubría los macizos de Garraf, Collserola y la parte más meridional del macizo del Montnegre. Esta situación concuerda con la etapa de *pre-rift* dada para esta época dentro del contexto de evolución tectono-sedimentaria del borde catalán del Surco de Valencia. Además, este hecho también está en consonancia con la última fase de cementación de las areniscas de Montgat, la cual se desarrolló en relación con fluidos que circulaban preferentemente a través de fracturas en un contexto de deformación compresiva.
- 2- En el Burdigaliense inferior, la formación de las fosas del Vallès y de Barcelona, provocó una fuerte erosión del macizo de Collserola. Esta fuerte erosión causó la desaparición, en su práctica totalidad, de la cobertera Mesozoica del macizo de Collserola y, probablemente, del macizo del Montnegre. Esto concuerda con la etapa de *syn-rift* dentro de la evolución tectono-sedimentaria del margen catalán del Surco de Valencia. Por otro lado, la entrada de fluidos meteóricos que circularon de manera general a través de los sedimentos del Burdigaliense inferior del Vallès cementándolos también se encuadra con este contexto.
- 3- A partir del Burdigaliense superior ya sólo se registra la erosión del zócalo Paleozoico y de los perfiles de alteración permicos del macizo de Collserola que lo afectaban en su contacto con la cobertera Mesozoica, mientras que en la Sierra Prelitoral se siguen erosionando fragmentos de la cobertera Mesozoica y empieza a erosionarse el Paleógeno de la Depresión del Ebro. Esta coyuntura concuerda con la etapa de *post-rift* dentro de la evolución tectono-sedimentaria del margen catalán Surco de Valencia. Al igual que en la etapa anterior, en este periodo la cementación se dio por fluidos que circularon de manera general a través del sedimento y que causaron la cementación del Burdigaliense superior-Langhiense del Vallès (fluidos meteóricos) y la silicificación de Montjuïc (fluidos indeterminados).

**PETROLOGY AND DIAGENESIS IN SEDIMENTS OF THE
UPPER OLIGOCENE AND LOWER-MIDDLE MIOCENE OF THE
VALLÈS DEPRESSION AND THE BARCELONA PLAIN**
Evolution of the source area and fluid dynamics
Abstract

A. INTRODUCTION

The present work studies the sediments from Upper Oligocene to Middle Miocene age related to the formation of the Catalan Coastal Ranges (CCR). Two of the studied zones are located in the Barcelona Plain (the Chattian sediments of Montgat and the Serravallian rocks of Montjuïc) and the other one, Burdigalian in age, is located in the Vallès Depression. Upper Oligocene sediments were formed as part of a compressive piggy-back basin when the CCR thrust the Ebro basin. The Middle and Lower Miocene sediments were deposited in two half-graben basins during an extensive period that caused the collapse of the CCR and the formation of the Valencia Trough. Specifically, basal sediments of the Lower Miocene (Aquitanian? and Lower Burdigalian sediments of the Vallès half-graben) belong to a syn-rift stage and the rest of the Lower and Middle Miocene deposits (Upper Burdigalian-Langhian rocks of the Vallès half-graben and Langhian?-Serravallian materials of Montjuïc) belong to a post-rift stage.

The Chattian rocks of Montgat (Figs. 2.4, 2.5, 2.6, 2.7 and 2.8) and the Burdigalian materials of the Vallès half-graben (Figs. 3.1, 3.2, 3.3 and 3.4) consist of detrital sediments of continental origin deposited in an alluvial environment, whereas the Serravallian sediments of Montjuïc (Figs. 4.3, 4.4 and 4.5) are made up of detrital deposits formed in a deltaic

environment. The detailed study of the petrology and diagenesis of the sandstones from these sediments has provided significant information about the evolution of the palaeohighs and the fluid dynamics in the basin during the pre-, syn- and post-rift stages of the Miocene extension.

B. GEOLOGICAL SETTING

The CCR Neogene rift is located in the NE part of the Eastern Iberian Margin (Fig. 1.2) and belongs to a graben system along the northwestern edge of the Valencia Trough (Roca and Guimerà, 1992; Roca, 1994). The structure of the CCR is dominated by longitudinal, near vertical basement faults that trend from NE-SW to ENE-WSW. During the Alpine Palaeogene compressive phase, these faults moved sinistrally with local transpression. In the course of the Neogene extension, some of these faults (Vallès-Penedès and Camp faults) were reactivated as normal faults trending ENE-WSW.

The CCR are composed of a Hercynian basement that is unconformably overlain by Mesozoic and Cainozoic cover rocks. The basement is made up of metamorphic Palaeozoic rocks and late Hercynian granites. The Mesozoic (Triassic, Jurassic and Cretaceous) sediments are composed of limestones, dolomites and locally siliciclastic and evaporitic rocks.

There are two Neogene half-grabens in the central part of the CCR: the Vallès-Penedès half-graben, which is onshore, and the Barcelona half-graben, which is offshore. These are separated by the Garraf and the Collserola-Montnegre horsts (Litoral Range; Figs. 1.2 and 1.3). Between the Collserola-Montnegre horst and the Barcelona half-graben there is a link zone where the Barcelona city is located.

The Vallès-Penedès and Barcelona half-grabens

The Vallès-Penedès half-graben is approximately 100 km long and between 10 and 14 km wide (Fontboté, 1954; Bartrina *et al.*, 1992). The western margin of the Vallès-Penedès half-graben, related with the Prelitoral Range, is downfaulted 3.000 m through the Vallès-Penedès fault, which is oriented ENE-WSW to NE-SW (Figs. 1.2 and 1.3). The eastern margin, which is related to the Garraf and the Collserola-Montnegre horst, is crosscut by normal hectometric faults trending NE-SW.

The Miocene of the Vallès-Penedès half-graben has been divided into four lithostratigraphic complexes (Cabrera *et al.*, 1991). They are, from base to top: 1) lower continental complexes Aquitanian?-Early Burdigalian in age; 2) continental and transitional complexes with reefal carbonate platforms of Langhian age; 3) continental and transitional complexes with mixed carbonate-siliciclastic shelves of Lower Serravallian age and 4) upper continental complexes. This last unit consists of thick red bed sequences deposited in alluvial fan environments. The age of this unit is Late Aragonian-Turolian (Garcés *et al.*, 1996), and is equivalent to the Middle-Upper Serravallian-Tortonian age of the marine successions. The Messinian stage is represented by a regional erosive surface affecting the underlying deposits.

The Barcelona half-graben is up to 60 km long and 16 km wide. It is northwesterly bounded by a SE dipping extensional listric fault with a displacement of up to 6 km, and by several hectometric normal faults in the SE margin (Bartrina *et al.*, 1992; Álvarez-de-Buergo and Meléndez, 1994).

The Barcelona half-graben filling consists of the following lithostratigraphic units (Bartrina *et al.*, 1992): 1) Palaeogene-Aquitanian? units constituted by red-beds, evaporites and carbonate coal-bearing beds; 2) Early-Middle Miocene units (Aquitanian?-Early Serravallian)

made up of terrigenous shelf to slope deposits with locally corallgal carbonate platforms; and 3) Late Serravallian-Tortonian units with marine shales and transitional sandstones.

The Collserola-Montnegre and Garraf horsts

The Collserola-Montnegre and the Garraf horsts are NE-SW oriented and are separated by the NW-SE oriented Llobregat valley.

The Collserola-Montnegre horst is up to 75 km long and 20 km wide (Figs. 1.2 and 1.3). The SW part of this horst is named the Collserola massif and consists of Palaeozoic rocks from Upper Ordovician to Carboniferous age, and Late Hercynian granitoids (Vaquer, 1973; Gil Ibarra and Julivert, 1988; Julivert and Durán, 1990). The Ordovician and Silurian rocks, which are well represented in this area, are composed of a wide variety of low to middle grade regional metamorphic rocks (slates, phyllites, quartzites) with interlayered metavolcanics (Durán *et al.*, 1984). The granitoids, which are part of an important calc-alkaline batholith (Enrique, 1990), are compositionally homogeneous and made up of quartz, plagioclase, K-feldspar and biotite (Vaquer, 1973). The intrusion of the granitoids affected the previously metamorphosed materials up to 2 km from the contact, where a variety of hornfel lithologies are found (San Miguel de la Cámara, 1929; Vaquer, 1973 and Gil Ibarra and Julivert, 1988). Porphyric, pegmatitic, and aplitic dikes crosscut both the granitoids and the metamorphic rocks. The NE part of the horst is called the Montnegre massif and consists of granitoids of the calc-alkaline batholith.

Some ages have been obtained for the granitoids of the CCR. K-Ar in biotites yields 284 ± 4 M.a. (Solé *et al.*, 1998), and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ in biotites and amphiboles yields $287,2 \pm 1,1$ M.a. to $284,0 \pm 1,4$ M.a. (Ferrés-Hernández *et al.*, 1997). These data indicates a fast cooling of granitoids below 300°C , which is in agreement with their shallow emplacement. Gil Ibarra and Julivert (1988) propose a burial emplacement of less than 4 km, with conditions of contact metamorphism of 1,5 kbar and 700°C .

The Garraf horst, which is up to 50 km long and 20 km wide (Fig. 1.2 and 1.3), consists of Mesozoic materials (Triassic, Jurassic and mainly Cretaceous limestones) and locally Palaeozoic materials (igneous and metamorphic rocks).

The Collserola massif and Barcelona half-graben link zone

The geological structure of the link zone is relatively complex (Fig. 1.3) and is constituted by several minor tectonic units that are progressively affected by different faults: the Tibidabo fault, the Turons fault, the Barcelona fault and the Morrot fault. These faults are orientated NE-SW and are downfaulted up to 300 m (Llopis, 1942b; Solé Sabarís, 1963; Medialdea Vega and Solé Sabarís, 1973; Alonso *et al.*, 1977; Roca and Casas, 1981).

The link zone from the Collserola massif to the Mediterranean Sea presents four tectonic units. 1) The Vall d'Hebron and Sarrià minor depressions (Llopis, 1942b) located at the base of the Collserola massif and probably controlled by the Tibidabo fault. These two minor depressions are separated by the Els Turons tilted block complex and are filled with quaternary deposits. 2) The Turons (Monteroles, Putxet, Vallcarca, and Carmel) tilted block complex, which is conformed by Ordovician and Silurian metamorphic pelitic rocks and Silurian-Devonian calcareous rocks. 3) The Barcelona city depression which is up to 300 m thick. This depression is controlled by the Els Turons fault along the northern edge and by the Barcelona fault along the southern one (Llopis, 1942b; Roca and Casas, 1981). The depression is filled with marine Pliocene and Quaternary continental deposits (Almera, 1894; Llopis, 1942b; Solé Sabarís, 1963;

Alonso *et al.*, 1977; Roca and Casas, 1981). 4) The Montjuïc tilted block is bounded by the Morrot fault to the south and by a minor fault oriented E-W (Roca and Casas, 1981) to the north. The Montjuïc tilted block probably shows a certain structural continuity to the NE (towards the old city centre), where the Pliocene deposits crop out below the historic buildings, forming the hypothetical Mont Taber tilted block.

C. SUMMARY

Petrology

From a petrological point of view, the main detrital components of the studied sandstones are: noncarbonate extrabasinal grains (NCE), carbonate extrabasinal grains (CE) and carbonate intrabasinal grains (CI). The main NCE components are quartz (monocrystalline, polycrystalline and inside plutonic rock fragments), feldspar (with the same typologies of quartz and with K feldspar > plagioclase) and low-grade metamorphic rock fragments. The main CE components are dolomite and calcite rock fragments. Finally, CI components are bioclasts and tufa fragments.

The Chattian sandstones of Montgat can be split in two different families (Figs. 2.13 and 2.18): (i) litharenites with high contents of quartz, feldspar, plutonic and carbonate rock fragments and; (ii) calcilitharenites with high contents of dolosparite and dolomicrite rock fragments.

The Burdigalian sandstones of the Vallès half-graben are litharenites (Figs. 3.14 and 3.19), which contain metamorphic rock fragments, quartz and variable amounts of carbonate rock fragments at the base. Towards the top, feldspar and mica fragments appear and the content of quartz increases. Finally, bioclasts show up at the top of the section.

The Serravallian sandstones of Montjuïc are litharenites and sublitharenites (Figs. 4.6 and 4.12) with quartz, K-feldspar and plutonic and metamorphic rock fragments. Towards the top of the section plagioclase is found.

The main authigenic minerals identified in sandstones are: calcite, quartz (together with chalcedony and opal), K-feldspar and minor contents of iron oxides, clay minerals, barite and alunite. Most of these minerals grow in the primary intergranular porosity, away from the clay minerals that are replacing feldspar grains and the microquartz/opal that is replacing the original matrix in the Montjuïc sandstones.

Three types of calcite cement the Chattian sandstones of Montgat (Table 2.5). The first type is an oncolitic calcite that coats grains that constitute the rock framework. The second type is a spar calcite cement that precipitates in the intergranular porosity and the third type is a spar calcite cement filling fractures. Geochemically, the first calcite type is Fe-rich, the second calcite type is poor in trace elements and the third type is Mn-rich.

Burdigalian sandstones of the Vallès half-graben are cemented by intergranular spar calcite. Three types of spar calcite are identified from a geochemical point of view (Table 3.8), one is poor in trace elements, another is rich in Mn and the other one is Fe-rich.

Finally, the Serravallian sandstones of Montjuïc show a large diversity of authigenic mineralogies (Fig. 4.9). The main cements are quartz and K-feldspar overgrowths and microquartz replacing the original matrix of the sandstones, causing the massive cementation of the Montjuïc sandstones. Intergranular spar calcite precipitate forming nodules in unsilicified parts of the Montjuïc section (Fig. 4.5.C).

The lutitic layers of the Montgat, Vallès and Montjuïc sections are composed of clay minerals (between 30 and 50 %) and other minerals in variable contents (quartz, calcite, dolomite, feldspar and hematite).

Clay minerals in the Chattian series of Montgat are mainly illite, chlorite and irregular interstratified illite-smectite and chlorite-smectite (Fig. 2.17). Illite and chlorite have been interpreted as detrital, whereas the high contents of irregular interstratified minerals are probably due to a shallow diagenesis that occurred in a palustrine-lacustrine environment.

The lower lutitic layers in the Burdigalian materials of the Vallès half-graben contain illite, chlorite and minor quantities of kaolinite and chlorite-smectite, whereas upper lutitic layers contain smectite, illite and minor quantities of chlorite, kaolinite, illite-smectite and chlorite-smectite (Fig. 3.26). Clay minerals of the Vallès section have a detrital origin; the presence of smectites in the upper part of the section has been interpreted as the result of the erosion of Palaeogene materials of the Prelitoral Range.

The lutites of the Serravallian rocks of Montjuïc are formed by detrital illite and minor amounts of chlorite-smectite and chlorite (Fig. 4.11) of detrital origin as well.

The low contents of irregular interstratified clay minerals in the Burdigalian lutites of the Vallès half-graben and the Serravallian lutites of Montjuïc are probably due to high rates of sedimentation in the respective half-graben basins, preventing the development of shallow diagenetic processes.

Provenance

The composition of the detrital grains in the studied sandstones indicates that the source area of these sediments was mainly located in the present Litoral Range, specifically in the Collserola massif and the adjacent parts of the Garraf and Montnegre massifs. However, the Upper Burdigalian-Langhian sediments of the Vallès half-graben had the source area located in the Prelitoral Range, where Palaeozoic, Mesozoic and Palaeogene rocks were being eroded.

During Chattian times (Fig. 2.25), the adjacent parts of the Collserola and Montnegre massifs were composed of a Palaeozoic basement overlaid by a Mesozoic cover. Palaeozoic rocks were Late Hercynian granitoids, low-grade metamorphic rocks, Silurian and Cambro-ordovician in age and Devonian dolomites. The Mesozoic cover was constituted by Triassic rocks (sandstones, dolomites and evaporites; *Buntsandstein*, *Muschelkalk* and *Keuper* facies), Jurassic rocks (dolosparites with oolite phantoms) and Cretaceous rocks (dolosparites and bioclastic grainstones-wackestones of Barremian-Aptian age).

During Lower Burdigalian times (Fig. 3.28), the north-western part of the Collserola massif and the adjacent part of the Garraf massif had a Palaeozoic basement made up of Cambro-ordovician low-grade metamorphic rocks and a Mesozoic cover with the Triassic, Jurassic and Cretaceous materials, as cited above.

From Upper Burdigalian times onwards, the Collserola massif was mostly constituted by Palaeozoic rocks (as in the present day), but with some remnants of Triassic rocks (*Buntsandstein* facies) (Fig. 3.29). During the Serravallian times, the Collserola massif was already exclusively formed by Palaeozoic rocks (Cambro-ordovician to Carboniferous low-grade metamorphic rocks and granitoids and porphyroids of Late Hercynian age) (Fig. 4.16). Therefore, the whole erosion of the Mesozoic cover of the Collserola massif took place mainly during Lower Burdigalian times. Since there are no Mesozoic fragments in the sandstones of Serravallian age in Montjuïc, this erosion continued until the Langhian stage.

There is a low plagioclase (Figs. 3.24 and 4.14) and mica content in sandstones deriving from plutonic source areas; this is probably due to the existence of a well developed weathering profile in the source area. We suggest that this weathering profile corresponds to the Mesozoic-Palaeozoic unconformity where Permian alterations have been identified along the CCR. The erosion of this profile together with the *Buntsandstein* caused the red coloration of the Burdigalian sediments of the Vallès half-graben (Fig. 3.15).

Diagenesis

Each of the studied areas has a characteristic diagenetic history depending on the composition of the source areas and sediments, the tectonic history, the sedimentation environment and the type of fluids that circulated through the sediment, among other factors. An early calcite cementation related with shallow meteoric fluids is the only common observed event.

The Chattian sandstones of Montgat have not undergone a significant burial, although they show high compaction due to a compressive phase (Fig. 2.26). The calcite cementation is the most important diagenetic event and occurs in three stages (Fig. 2.28). In the first stage, during the sediment transport, an oncolitic cementation took place due to cyanobacteria activity. During the second stage, intergranular spar calcite precipitated from shallow meteoric fluids. In the last stage, during a period of intense fracturation, spar calcite precipitated from meteoric fluids. These fluids had a high residence time in the rock and circulated through fractures.

In the Burdigalian sandstones of the Vallès half-graben the burial was also insignificant (Fig. 3.30). The cementation is characterized by one single stage of calcite precipitation associated with circulation of shallow meteoric fluids through the sediments. Nevertheless, the geochemical features of these fluids (and calcites) varied according to the sedimentary environment (Figs. 3.36 and 3.37). Thus, in proximal alluvial environments, fluids were very oxidizing and precipitated a trace elements-poor calcite. In medium to distal alluvial environments the increase in the residence time of the meteoric fluids resulted in a decrease in their oxidizing state precipitating a Mn-rich calcite. Finally, the distal alluvial (lacustrine) environments were characterized by the presence of reducing from which fluids a Mn and Fe-rich calcite precipitated.

In comparison with the other studied areas, the Serravallian sandstones of Montjuïc have an atypical diagenesis. There are no compaction evidences due to a shallow burial or to an early cementation (Fig. 4.17). The cementation occurred in three main stages. A first stage of calcite precipitation was due to shallow meteoric fluids. A second stage of intense silicification (Fig. 4.21 and 4.22) was caused by the circulation of acidic ($\text{pH} \leq 4$) and oxidizing phreatic fluids (Fig. 4.24). Finally, a second calcite precipitation related to the circulation of shallow meteoric fluids took place. The nature of the fluids that silicified the sandstones of Montjuïc and the reasons for this peculiar diagenesis in Montjuïc are not known. The probable main causes of the Montjuïc silicification are: (i) the presence of pyrite in the original sediment (responsible for the acidification) and (ii) a possible presence of relatively saline fluids (marine fluids??).

D. CONCLUSIONS

Three different stages in the evolution of the source areas have been identified with the study of the sediments of the Chattian of Montgat, the Burdigalian of Vallès and the Serravallian of Montjuïc. These stages can be correlated with the tectono-sedimentary evolution of the area

and, at the same time, with the fluid dynamics recognized during the diagenesis of the studied materials.

- 1- During Upper Oligocene times, there was a Mesozoic cover that overlaid the massifs of Garraf, Collserola and Montnegre. This situation is concordant with the pre-rift stage prior to the Miocene extension. On the other hand, the last stage of cementation of the Montgat sandstones, occurring in relation with fluids that circulated preferably through fractures in a compressive context, reinforces this conclusion.
- 2- In Lower Burdigalian times, the formation of the Vallès and Barcelona basins promoted a strong erosion that caused the disappearance of the Mesozoic cover from the Collserola massif and, probably, from the Montnegre massif as well. This situation is concordant with the Miocene sin-rift stage. Shallow meteoric fluids that circulated pervasively through the Lower Burdigalian sediments of the Vallès half-graben are in accordance with this point.
- 3- Finally, in the Collserola massif, and from the Upper Burdigalian onwards, the erosion of the Palaeozoic rocks, and the associated Permian weathering profiles, took place, whereas in the Prelitoral Range the Mesozoic cover and the Palaeogene materials of the Ebro basin were being eroded. This situation points to a Miocene post-rift stage. As in the previous stage, during this one the cementation that took place was related with fluids circulating pervasively through the sediments: meteoric fluids in the case of the Upper Burdigalian materials of the Vallès half-graben, and indeterminate fluids in the case of the Serravallian sediments of Montjuïc.