

UNIVERSITAT DE BARCELONA

Departament d'Estratigrafia, Paleontologia i Geociències Marines

**TRANSFERÈNCIA DE MATERIAL FI I REGISTRE
AMBIENTAL EN CONQUES MARGINALS:
LES CONQUES D'ALBORAN I DE BRANSFIELD**

*TRANSFER OF FINE GRAINED MATERIAL AND ENVIRONMENTAL RECORD IN
MARGINAL BASINS:
ALBORAN AND BRANSFIELD BASINS*

Realitzada per:

Joan Fabrés i Francés

sota la direcció del **Doctor Antoni M. Calafat Frau**, al Departament d'Estratigrafia, Paleontologia i Geociències Marines dins del Programa de Doctorat de "Ciències del Mar", adscrit al Departament d'Ecologia, bienni 1996-1998, per optar al grau de Doctor en Geologia.

Barcelona, Octubre del 2002

El Doctorand

Joan Fabrés

El Director

Antoni Calafat Frau

Imatges de la portada:

Les dues fotografies que il·lustren la portada van ser preses durant la campanya MATER-1 realitzada a bord del vaixell Oceanogràfic “Garcia del Cid” durant el mes de juny de 1997. Corresponen a la maniobra de fondeig d’un dels ancoratges amb trapes de sediment i correntímetres destinats a obtenir part de les dades incloses en aquesta tesi. Cedides per la Dra. Ana Moreno.

La imatge de fons correspon a una representació artística de la “bomba biològica oceànica”. NASA - Goddard Space Flight Center Scientific Visualization Studio. http://svs.gsfc.nasa.gov/stories/biosphere_20010327/index.html

A Tina

Por darle sentido al esfuerzo

La culminació d'aquest treball de recerca ha estat possible gràcies al suport econòmic que he rebut d'una beca de "Formación del Profesorado Universitario del Programa Sectorial del Ministerio de Educación y Ciencia" (ref. AP95 44002743) i ha estat finançat amb fons dels projectes de la CICYT ("Comisión Interministerial para la Ciencia y Tecnología") GEBRA-93 (ANT93-1008-C03-01, ANT93-1008-C03-03), GEBRAP-96 (ANT95-0889-C02-01), MAYC-96 (AMB95-0196) i dels projectes MATER (MAS3-CT96-0051) i ADIOS (EVK3-CT-2000-00035) dels programes de Ciència i Tecnologia Marines, i d'Energia, Medi Ambient i Desenvolupament Sostenible de la Comissió Europea. El Grup de Recerca Consolidat en Geociències Marines rep també suport econòmic de la Comissió per a Universitats i Recerca de la Generalitat de Catalunya a través del seu programa de Grups d'Excel·lència (ref.1999 SGR-63) i de la Xarxa Temàtica "Barcelona Consortium on Marine Geosciences." (1999 XT-0025).

El Personal Investigador en Formació i Perfeccionament de l'Estat Espanyol està permanentment en lluita per millorar les seves condicions laborals i de futur.

<http://www.precarios.org>

Agraïments

Ha arribat per fi l'esperat moment de poder agrair a totes les persones i entitats el seu suport, ajuda, comprensió i paciència vers a mi i la meva tesi.

Així doncs vull, en primer lloc, agrair al Dr. Antoni Calafat el fet d'haver-se fet càrrec de la direcció d'aquesta tesi. A en Toni vull agrair el fet d'haver-me introduït al món de la sedimentologia i la geoquímica marines i d'haver-me ajudat i seguit, sempre amb bon humor, i malgrat les meves anades i vingudes, en la meva evolució dins d'aquestes disciplines al llarg dels anys. També li vull agrair el seu entusiasme i dedicació en l'organització i realització de les campanyes durant les que es van obtenir les dades incloses en aquesta tesi.

Al Dr. Miquel Canals per haver confiat en mi des del moment en què em va passar pel cap d'anar a fer un Erasmus a Holanda quan encara estava estudiant la llicenciatura i fins el dia d'avui. A ell li haig d'agrair haver-me brindat l'oportunitat de formar part del GRC Geociències Marines i participar en les seves tasques investigadores de tot caire, sobretot aquelles més agraïdes com la Campanya Antàrtica o algun dels congressos als que he pogut assistir. Agrair-li també les correccions detallades dels articles i l'ajut directe o indirecte per aconseguir el suport econòmic necessari per a poder realitzar aquesta tesi encara que fos en períodes discontinus.

Al Cap i tots els membres docents i d'administració i serveis del Departament d'Estratigrafia, Paleontologia i Geociències Marines per acollir-me i ajudar-me durant la realització d'aquest treball.

Als Membres del Tribunal per avaluar el present treball i trobar un forat a les seves agendes per assistir a la seva defensa.

A la tripulació dels vaixells oceanogràfics Garcia del Cid i Hespérides i als tècnics de la UGBO (ara UTM, Unitat de Tecnologia Marina) per la seva entrega, professionalitat i dedicació, i en concret a tots aquells (científics, tècnics i tripulació) que van fruir i patir les dures campanyes dedicades al fondeig i manteniment dels ancoratges de trapes de sediment a la Mar d'Alboran.

A tots aquells que en algun moment m'han ajudat a la realització de les nombroses anàlisis. Molt especialment vull agrair l'esforç i col·laboració de l'Anna Sanchez, la Belén Oliva i la Valentina Civano que han passat llargues jornades al laboratori de trapes per processar mostres i preparar-les per les anàlisis. Gràcies Anna per arribar amb tanta empena quan tanta falta feies! També vull fer esment de l'important ajuda rebuda del personal dels Serveis Científic-Tècnics de la Universitat de Barcelona i més concretament de tots aquells que formen part de les unitats d'Anàlisi Elemental (Subunitats de Laboratori Químic i de Plasma Òptic (ICP-OES)), de Cromatografia i de Difracció de Raigs-X. També vull tenir un record pel malaurat Sr. Ramón Castilla que va col·laborar en la realització de les anàlisis granulomètriques.

A totes aquelles persones amb qui m'he creuat durant les meves estades a l'estranger. Al Dr. Serge Heussner per haver-me acollit al CEFREM (CEntre de Formation et de Recherche sur l'Environnement

Marin) de la Universit  de Perpignan on vaig tenir l'oportunitat d'aprendre la metodologia per l'anàlisi de mostres de trampes de sediment i per haver col·laborat en la redacció d'alguns dels articles que formen part d'aquesta tesi. Molt especialment a la Nicole Delsault, també del CEFREM, que va patir la meua inexperiència en el processat de les mostres de les trampes i es va fer càrrec directe del meu aprenentatge en aquest gran món de les partícules petites. A totes les altres persones d'aquest laboratori que em van acollir i ajudar durant les meves estades, el Dr. André Monaco, director del centre, i els Drs. Bruno Charrier, Xavier Durrieu de Madron (sempre disposat a respondre preguntes i revisar les qüestions relacionades amb les dades de corrents) i Phillippe Picon. També vull agrair l'acollida que em van brindar el Dr. Brian Price, en Tim Brand i la Francis Lindsay durant la meua estada a la Marine and Environmental Geosciences Unit de la University of Edinburgh.

Als Drs. Pere Masqué i Joan Albert Sánchez Cabeza del Laboratori de Radioactivitat Natural de la Universitat Aut noma de Barcelona per l'estreta col·laboració mantinguda en els treballs del projecte MATER i en la redacció d'un dels articles de la present tesi. Haig d'agrair a en Pere el seu entusiasme i el suport que sempre m'ha donat per tirar endavant quan més difícil se'm feia i per totes les bones estones compartides. Gràcies Titola!

Als Drs. Jose Abel Flores i M   ngeles B rcena del Departamento de Geolog  de la Universidad de Salamanca per l'estreta col·laboració mantinguda en els treballs de l'Estret de Bransfield, per als que van cedir-me amablement els testimonis de sediment, i també per la col·laboració en els treballs de la Mar d'Alboran.

A la Dra. Belén Alonso, Cap del Departament de Geologia Marina i Oceanografia Física de l'Institut de Ciències del Mar de Barcelona (CSIC) per permetre'ns de participar en la campanya MAYC-96 al Mar d'Alboran en la que es van obtenir alguns dels testimonis utilitzats en aquesta tesi.

A en Francisco Plaza del Departamento de Física Aplicada II de la Universidad de M laga pel processat de les dades dels corrent metres i per respondre sempre tan amablement les meves preguntes. A en Frederic Melin de la Environmental Unit del Space Applications Institute per les imatges de SeaWiFS i a en José María Díaz de la Confederació Hidrogr fica del Sur per les dades de cabals fluvials.

A la Laura Ar n i en Francesc Pag s del Departament de Biologia Marina i Oceanografia de l'Institut de Ciències del Mar (CSIC) per les discussions i comentaris sobre el fitoplàncton i zooplàncton de la Mar d'Alboran.

Als revisors dels articles que formen el cos d'aquesta tesi. Als Drs. E.W. Domack, M. Rebesco, A. Monaco, i tres revisors anònims pels comentaris i suggeriments que van ajudar a millorar els manuscrits.

Vull fer constar també el meu especial agraïment a tots aquells que formen o han format part del dia a dia de la facultat (amb tot el que això comporta!). Moltes són les persones que em venen al cap en aquests moments i que d'una manera o altra m'ha ajudat durant el seu pas més o menys dilatat pel GRC Geociències Marines. Els dels inicis, alguns dels quals ja no veig amb la freq ncia que voldria: Isa, Mariajo, B rbara, Roger, José Luís (gracias por las figuras 3D y la asistencia para insertar las otras!), Eulàlia, Jordi S., Paulino... Els que van anar arribant a mida que altres anaven marxant: Belén, Ana,

Maria, Laura, Miguel Ángel, Anna A., Raimon, Hèlene, Jordi T. i Juan. I finalment els de la darrera fornada, que per sort em veuran marxar a mi (tot s'acaba un dia o altre no?) Anna S., Galderic #☛@ç&?©!, Teresa, Verónica, Pedro (y sus imágenes), Sergi, Diana, Jaume, Núria, David, Rainer, Sara... També a la Carlota Montori per aclarir-me nombrosos dubtes sobre l'embolic de tràmits administratius que cal fer per sotmetre la tesi.

A més de totes les persones del GRC he tingut el plaer de compartir moments entranyables amb molta d'altra gent que han passat pels departaments de la facultat. Molt especialment a tots els integrants del ja desafortunadament desaparegut "Esplai de Becaris" i amb els que vaig compartir àpats i el que ve després dels àpats en nombroses ocasions: Dom, Carles, Françoise, Ángel, Xavi pufiku, Marta, Miguelillo, Bernat, Ramon, Ana Z., Jorge, Juan Cruz, Virginio, Jeohva... I moltes gràcies també als "Almeja Suckers" que han fet més fàcils els dies de partit. Sobretot a en Manu per jugar amb mi a moltes altres coses a part de futbol i a la interminable llista de "cracks i estrelles" que han passat per l'abasiu camp de les pistes universitàries: David, Charli, Arnau F. i Arnau C., Silvia, Rafa, Valen, Ivone, José, Dani, Ramon, François, Ignacio, Jaime...

A tota la gent amb qui m'he creuat i compartit coses durant tots els anys que ha durat la realització d'aquest treball. A l'Oriol, el meu confident i company de batalletes que sempre ha sabut escoltar-me especialment en els moments més durs. Graciñas al Monjo Team (Marta R., Marta M. i José) per tants sopars de quatre forquilles i tantes escapades aquí i allà. A l'Eli i els seus mails encoratjadors i divertits (gràcies per passar son a Lyon per nosaltres). I a totes aquelles persones (masiaires, australians "fiesteros", etc...) que amb les seves activitats lúdico-festives han sabut fer-me oblidar, més o menys intencionadament, que tenia una tesi per acabar.

També vull donar les més efusives i sinceres gràcies a tots aquells amb qui he compartit pis o han patit la meva okupació repetida de la seva llar. Als que van passar pel calorós i efímer pis del carrer Romans. A en Juan Cruz (lo más seguro es que quien sabe, pero, lo que si que es seguro es que he terminado la tesis, gracias!) i a la Belén (eres más majaaaa!). I als del pis del carrer Providència, molt especialment a la Mar, que és possiblement qui m'ha suportat més temps seguit durant els períodes en els que estava sumit en la redacció d'aquest volum o dels articles que en formen part i que també ha sabut distreure-me'n i apartar-me'n amb una admirable capacitat de convicció. També per escoltar-me tantes i tantes vegades. A la Maria pels concerts particulars. A en Xavi pels nostres duets de piano i "teclat" i per no dir mai que no a una escapada al Cafè. A la Lola per deixar-me imprimir cosetes a la seva impressora. I a la Marta que m'ha fet riure sovint, amb qui he departit sobre això i allò després de sopar (que malament està el món, oi?) i que no s'ha cansat mai de demanar-me i escoltar-me sobre els meus progressos (o encallades) en la fase final de redacció. També vull agrair molt especialment als camarades de la República de Santa Madrona que m'hagin acollit tant sovint (potser més del que ells voldrien!). A en John, l'home tranquil, i la Isa quan hi és, i a en Lluís que sempre te una "collonada" a punt o un relat espatarrant per fer-me petar de riure. Gràcies a vosaltres, i a tots els altres que no anomeno aquí, i que heu conviscut amb mi i amb la meva tesi i heu tingut tanta paciència i m'heu encoratjat dia a dia a acabar-la.

Als meus pares, Joan i Lluïsa, per animar-me a seguir estudiant i inocular-me aquest verí lluitador i perseverant que els corre per les venes i que tanta falta m'ha fet per acabar aquest treball. Per tenir

sempre totes les portes obertes i dedicar tanta comprensió i tolerància vers la meva manera de fer les coses, encara que no sigui la mateixa que la seva. A la meva germana, Núria, per escoltar-me, estimar-me i tenir sempre un somriure a punt encara que al darrera hi clavi un NO! També per les correccions del català. A en Claudi per preocupar-se de la meva forma física primer i de la Núria després (je, je!). En aan Pieter en Claudine, die me onmiddellijk in hun huis thuis deden voelen en me nooit vroegen wanneer ik deze thesis zou afmaken. Dank u wel!

Y finalmente, y no por eso menos importante, Gracias a ti, Tina, por ser el común denominador de muchas de las cosas que he nombrado antes. Por tu beca de finalización de doctorado. Por aparecer un día en la facultad, reaparecer después y permanecer a mi lado depositando en mi toda tu confianza y creer que un día terminaría esta tesis. Por ser la salsa de mi vida y por esforzarte tanto para que pudiéramos disfrutar juntos al menos de la mitad de nuestro tiempo. Por abrir mis horizontes, y por enseñarme y dejarme soñar contigo. Gracias por tantísima ayuda. Eres un encanto!

TRANSFERÈNCIA DE MATERIAL FI I REGISTRE AMBIENTAL EN CONQUES MARGINALS: LES CONQUES D'ALBORAN I DE BRANSFIELD

Índex

Agraïments	i
Thesis abstract	1
Pròleg	5
Les conques marginals i els seus marges: una visió biogeoquímica	5
Presentació de la tesis	7
Objectius.....	9
1. Introducció	11
1.1. Fluxos de partícules i processos sedimentaris	13
1.1.1. La sedimentació hemipelàgica	13
1.1.2. La sedimentació pelàgica.....	14
1.2. El cicle del carboni i la bomba biològica	20
1.2.1. El desgasament de l'atmosfera i l'impacte humà en el clima	20
1.2.2. El paper de l'oceà global	21
1.2.3. L'òpal biogènic	26
1.2.4. Els marges continentals com a fonts o pous de carboni.....	27
1.3. Del dia al mil·leni: complementarietat entre estudis sedimentològics de diferents escales temporals.....	29
1.4. Les zones d'estudi.....	31
1.4.1. La Conca d'Alboran.....	31
1.4.1.1. Fisiografia	31
1.4.1.2. Oceanografia física i producció primària.....	31
1.4.2. La Conca de Bransfield	35
1.4.2.1. Fisiografia	35
1.4.2.2. Oceanografia física i producció primària.....	36
1.4.2.3. Les condicions climàtiques, règim glacial i distribució del gel marí	37
Referències citades al Capítol 1.....	38

2. Composition and spatio-temporal variability of particle fluxes in the Western Alboran Gyre, Mediterranean Sea.....	43
Abstract	45
2.1. Introduction.....	45
2.2. Study area	47
2.2.1. Physiography.....	47
2.2.2. Physical oceanography	47
2.2.3. Sources of particles.....	48
2.3. Material and methods.....	49
2.3.1. Sediment traps and data recovery	49
2.3.2. Sample treatment and analytical procedures.....	50
2.3.3. Current meter data and hydrological profiles	52
2.3.4. SeaWiFS satellite images and fluvial discharge time series.....	52
2.4. Results and discussion.....	53
2.4.1. Hydrodynamic conditions	53
2.4.2. Spatial distribution of mean composition and fluxes of settling particles	54
2.4.3. Temporal evolution of total mass and major constituents fluxes	59
2.4.3.1. Temporal evolution of fluxes to mid water depths.....	59
2.4.3.2. Temporal evolution of fluxes to near bottom waters	67
2.5. Conclusions	69
Acknowledgements	70
References	70
3. Biophysical control on particle transfer to mesopelagic depths: Results of a High Frequency Flux experiment in the Western Alboran Sea, Western Mediterranean	77
Abstract	79
3.1. Introduction.....	79
3.2. Data set and methodology	82
3.2.1. Mooring configuration.....	82
3.2.2. Treatment of sediment trap samples.....	83
3.2.3. Satellite imagery.....	83
3.2.4. Hydrographic data	84
3.2.5. Current meter data	84
3.3. Hydrodynamic evolution	85
3.3.1. Surface circulation and chlorophyll concentration from satellite imagery	85
3.3.2. Hydrographic structure	88
3.3.3. Deep circulation.....	90
3.4. Particle fluxes	91
3.4.1. Total mass flux	91
3.4.2. Fluxes of major constituents.....	93

3.4.3. Ratios of major biogenic elements	98
3.5. Discussion	100
3.5.1. Particle vertical settling speed.....	100
3.5.2. Particle flux export from surface waters	104
3.5.3. Vertical particle transfer towards mesopelagic depths.....	108
3.5.4. Near bottom particle transfer.....	109
3.6. Summary and conclusions	113
Acknowledgements	113
References	114

**4. Accumulation rates of major constituents of hemipelagic sediments in the deep
Alboran Sea: a centennial perspective of sedimentary dynamics..... 119**

Abstract	121
4.1. Introduction.....	121
4.1.1. Physiography and sediment types	123
4.1.2. Circulation of water masses and primary production	124
4.2. Materials and methods	125
4.2.1. Sampling.....	125
4.2.2. Radiometric analyses	126
4.2.3. Calculation of sedimentation and mixing rates.....	127
4.2.4. Grain size, physical and geochemical analyses.....	128
4.3. Results.....	129
4.3.1. Sediment description.....	129
4.3.2. ²¹⁰ Pb and ¹³⁷ Cs profiles	131
4.3.3. C, N, carbonate, opal and molecular biomarkers.....	133
4.4. Discussion	135
4.4.1. Mixing and sediment accumulation rates	135
4.4.2. Excess ²¹⁰ Pb inventories and scavenging from the water column.....	138
4.4.3. Concentrations of major constituents and accumulation rates below the Eh boundary	140
4.4.4. Factors controlling organic matter accumulation rates	143
4.5. Conclusions.....	146
Acknowledgements	148
References	148

**5. Bransfield Basin fine grained sediments: Late Holocene sedimentary processes and
oceanographic conditions..... 153**

Abstract	155
5.1. Introduction.....	155
5.2. Setting	156

5.2.1. Geodynamic framework and physiography	156
5.2.2. Physical oceanography	156
5.2.3. Present climatic conditions, glacial setting and sea-ice distribution.....	157
5.3. Materials and methods	158
5.4. Results.....	159
5.4.1. Chronology	159
5.4.2. Lithological description	160
5.4.3. Sediment grain size and dry density	160
5.4.4. Mineralogy	164
5.4.5. Geochemistry (C, N and opal).....	165
5.5. Discussion	168
5.5.1. Age model	168
5.5.2. Hemipelagic sedimentation	169
5.5.3. Turbiditic sedimentation	172
5.5.4. Palaeoceanographic and palaeoclimatic interpretation	174
5.5.4.1. Climatic and oceanographic control on the composition of hemipelagic sediments	174
5.5.4.2. Climatic evolution of the last three millennia	176
5.6. Conclusions	177
Acknowledgements	177
References	178
6. Resum de resultats	183
6.1. Processos de transferència i acumulació del material particular a la Conca d'Alboran (Mar Mediterrània).....	185
6.1.1. Fluxos de partícules a la columna d'aigua	188
6.1.2. Taxes d'acumulació de sediment i constituents majors al fons	198
6.2. Processos sedimentaris i reconstrucció climàtica dels darrers mil·lenis a la Conca de Bransfield (Península Antàrtica).....	203
6.2.1. La sedimentació hemipelàgica	204
6.2.2. Reconstrucció paleoceanogràfica i paleoclimàtica	205
Referències citades al capítol 6	207
7. Conclusions i perspectives de futur	211
7.1. Conclusions	213
7.2. Perspectives de futur.....	215