



Biogeoquímica dels fluxos de partícules en canyons submarins de la Mediterrània nord-occidental: Els efectes de les cascades d'aigües denses de plataforma

*Biogeochemistry of particle fluxes in submarine canyons of
the Northwestern Mediterranean Sea:
The effects of dense shelf water cascading*

Catalina Pasqual Mas

ADVERTIMENT. La consulta d'aquesta tesi queda condicionada a l'acceptació de les següents condicions d'ús: La difusió d'aquesta tesi per mitjà del servei TDX (www.tdx.cat) ha estat autoritzada pels titulars dels drets de propietat intel·lectual únicament per a usos privats emmarcats en activitats d'investigació i docència. No s'autoritza la seva reproducció amb finalitats de lucre ni la seva difusió i posada a disposició des d'un lloc aliè al servei TDX. No s'autoritza la presentació del seu contingut en una finestra o marc aliè a TDX (framing). Aquesta reserva de drets afecta tant al resum de presentació de la tesi com als seus continguts. En la utilització o cita de parts de la tesi és obligat indicar el nom de la persona autora.

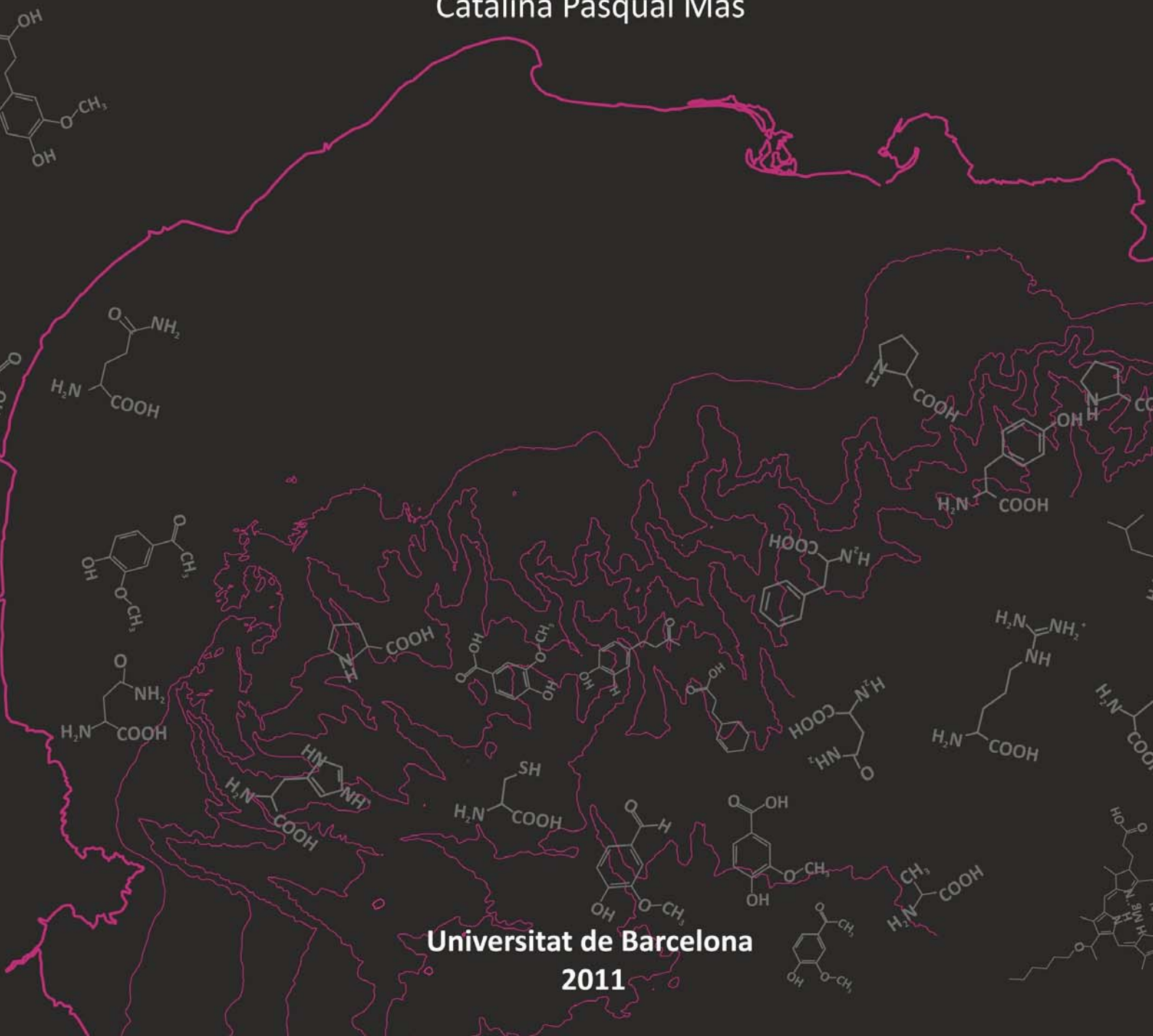
ADVERTENCIA. La consulta de esta tesis queda condicionada a la aceptación de las siguientes condiciones de uso: La difusión de esta tesis por medio del servicio TDR (www.tdx.cat) ha sido autorizada por los titulares de los derechos de propiedad intelectual únicamente para usos privados enmarcados en actividades de investigación y docencia. No se autoriza su reproducción con finalidades de lucro ni su difusión y puesta a disposición desde un sitio ajeno al servicio TDR. No se autoriza la presentación de su contenido en una ventana o marco ajeno a TDR (framing). Esta reserva de derechos afecta tanto al resumen de presentación de la tesis como a sus contenidos. En la utilización o cita de partes de la tesis es obligado indicar el nombre de la persona autora.

WARNING. On having consulted this thesis you're accepting the following use conditions: Spreading this thesis by the TDX (www.tdx.cat) service has been authorized by the titular of the intellectual property rights only for private uses placed in investigation and teaching activities. Reproduction with lucrative aims is not authorized neither its spreading and availability from a site foreign to the TDX service. Introducing its content in a window or frame foreign to the TDX service is not authorized (framing). This rights affect to the presentation summary of the thesis as well as to its contents. In the using or citation of parts of the thesis it's obliged to indicate the name of the author.

Tesi Doctoral

**BIOGEOQUÍMICA DELS FLUXOS DE PARTÍCULES
EN CANYONS SUBMARINS
DE LA MEDITERRÀNIA NORD-OCCIDENTAL:
ELS EFECTES DE LES CASCADES
D'AIGÜES DENSES DE PLATAFORMA**

Catalina Pasqual Mas



Universitat de Barcelona
2011



**BIOGEOQUÍMICA DELS FLUXOS DE PARTÍCULES EN
CANYONS SUBMARINS DE LA MEDITERRÀNIA NORD-OCCIDENTAL:
ELS EFECTES DE LES CASCADES D'AIGÜES DENSES DE PLATAFORMA**

*BIOGEOCHEMISTRY OF PARTICLE FLUXES IN SUBMARINE CANYONS OF
THE NORTHWESTERN MEDITERRANEAN SEA:
THE EFFECTS OF DENSE SHELF WATER CASCADING*

Memòria de Tesi Doctoral presentada per

Catalina Pasqual Mas

per a optar al grau de Doctora per la Universitat de Barcelona.

Programa de Doctorat de "Ciències del Mar", adscrit al Departament d'Estratigrafia, Paleontologia i Geociències Marines de la Universitat de Barcelona (bienni 2006-2008).

Barcelona, març de 2011.

La Doctoranda,

El Director,

La Directora,

Catalina Pasqual Mas

Antoni M. Calafat Frau

Anna Sànchez Vidal

Aquesta Tesi Doctoral ha estat possible gràcies al suport econòmic rebut per la doctoranda a través de la Beca de Formació en la Recerca i la Docència de la Universitat de Barcelona (BRD; 2006-2007) i de la beca de Formació de Personal Investigador del Ministeri d'Educació i Ciència (FPU AP2006-02616; 2007-2010), així com també a les borses de viatge rebudes de la Facultat de Geologia i del Ministeri d'Educació i Ciència. El treball realitzat està associat, i ha rebut el suport econòmic, dels següents projectes de recerca: HERMES (GOCE-CT-2005-511234-1), SESAME (GOCE-036949), HERMIONE (FP7-ENV-2008-1-226354), PROMETEO (CTM2007-66316-C02-01/MAR) i GRACCIE (CSD2007-00067, Programa Consolider-Ingenio). El Grup de Recerca Consolidat en Geociències Marines, GRC-GM, dins el qual està inscrit la doctoranda, està finançat per la Generalitat de Catalunya a través del programa de Grups d'Investigació d'Excel·lència (2009 SGR-1305).

*Enmig de la mar
s'aixeca ma terra
fins tocar al cel
que es besa amb la terra...*

(Pere Capellà)

Resum

L'estudi dels fluxos de partícules té per objectiu quantificar el carboni que s'exporta cap a l'oceà profund, el qual controla el segrest de CO₂ atmosfèric a llarg termini. Els marges continentals juguen un paper important en aquest cicle oceànic, ja que són una bomba de carboni i nutrients entre l'ecosistema terrestre i l'interior de l'oceà. En aquest treball s'ha investigat la transferència de material al llarg del marge continental del golf de Lleó. Aquest marge, situat al nord-oest de la Mediterrània occidental, està format per una ampla plataforma que s'estén fins a un talús solcat per un gran nombre de canyons submarins. La major part dels sediments que entren al golf de Lleó provinents dels rius o resuspesos de la plataforma, circulen cap al sud-oest empesos per la circulació ciclònica de la massa d'aigua i són deflectits majoritàriament a través dels canyons submarins més occidentals (canyons de Cap de Creus i Lacaze-Duthiers) cap a l'interior de la conca. Aquest procés té lloc sobretot durant les tempestes marines d'hivern i durant els esdeveniments de cascades submarines.

L'objectiu d'aquest treball és estudiar la variabilitat temporal i espacial dels fluxos de partícules així com l'origen i el grau de degradació de la matèria orgànica dins els canyons de Lacaze-Duthiers i Cap de Creus i al talús de la zona més meridional del golf de Lleó. La mesura directa dels fluxos ha estat possible gràcies al fondeig de línies instrumentades dotades amb trapes de sediments i correntímetres al llarg de tres transsectes. Les dades obtingudes indiquen que hi ha una ràpida resposta del sistema als forçaments físics. Així, es detecta una forta relació entre els condicionants atmosfèrics (que desencadenen la cascada d'aigua densa, les onades i les aportacions fluvials i atmosfèriques), la producció primària, i la quantitat i qualitat del material que sedimenta al llarg del marge continental.

La cascada d'aigua densa de plataforma continental (DSWC) enregistrada durant els mesos de gener, febrer i març de 2006, esdevé el principal factor que controla la sedimentació de partícules a la zona estudiada. Les aigües de la cascada que s'enfonsen canyó avall, escapen de la constricció que suposa el canyó a la zona baixa, continuen el seu camí paral·leles a les isòbates, i afecten el talús superior. Aquest fet denota la capacitat de la cascada per conduir el material erosionat de la plataforma continental cap als canyons i dispersar-lo cap al talús sud. Per tant, la DSWC pot esdevenir un factor important en la sedimentació en els canyons, el talús i el fons de la conca de la Mediterrània nord-occidental. Independentment dels esdeveniments de DSWC, les parts altes dels canyons estan afectades per un continu intercanvi de material amb la plataforma. Per contra, la zona d'oceà obert (les zones baixes dels canyons i el talús) rep l'arribada de material de la plataforma només com a conseqüència directa de la DSWC, mentre que durant la resta de l'any hi imperen condicions de calma amb el predomini de fluxos pelàgics.

La DSWC va ser el principal factor que controlà l'arriba de matèria orgànica tant marina com terrestre al sistema, amb la transferència de grans quantitats de matèria orgànica d'origen terrestre durant el gener de 2006 (provinent de dipòsits de la plataforma), i matèria orgànica d'origen marí durant març i abril de 2006 (provinent del bloom fitoplàntic). Per tant, la dispersió del material orgànic marí i terrestre va ser controlat per les condicions energètiques que afavoriren la resuspensió i el transport mar endins del material de la plataforma. La matèria orgànica es

degradà no només durant el seu transport al llarg dels canyons, sinó també a través de la columna d'aigua, abans d'arribar a la zona de convergència dels canyons i al talús obert. Tot i que les aportacions laterals de matèria orgànica de la plataforma adjacent predominaren durant els esdeveniments de DSWC, les aportacions provinents d'esdeveniments esporàdics de producció primària i la constant advecció de material marí varen ser evidents durant períodes de condicions energètiques i fluxos baixos.

Abstract

Particle flux studies aim at quantifying the amount of carbon and other components that are exported into deep ocean, which controls the long term atmospheric CO₂ sequestration. Continental margins play an important role in this oceanic cycle as they pump carbon and nutrients from aerial ecosystems to the interior of the ocean. This work analyzes the transference of material along the continental margin of the Gulf of Lion. This margin, located in the northwestern Mediterranean, is a broad platform that extends to a slope cut by a large number of submarine canyons. Most of the sediments entering the system by rivers or resuspension in the shelf travel to the southwest due to the cyclonic circulation where are deflected mainly through the Cap de Creus and Lacaze-Duthiers submarine canyons to the deep basin. This process occurs mainly during winter sea storms and dense shelf water cascading events.

The purpose of this study is to analyze the temporal and spatial variability of particle fluxes and the source and degree of degradation of the organic matter within the Lacaze-Duthiers and Cap de Creus submarine canyons and the southern slope, in the Gulf of Lion. Direct flux measurements has been carried out by the deployment of 9 instrumented lines equipped with sediment traps and currentmeters along three transects along the axis of the Lacaze-Duthiers and Cap de Creus canyons and the southern slope. Data indicate that there is a quick response of the system to physical forcings, with a close relation among atmospheric drivers (that trigger the dense water cascade, waving and river and atmospheric inputs), primary production, and the quantity and quality of settling material across the continental margin.

The severe dense shelf water cascading (DSWC) event observed during January-March 2006 was the main factor controlling the sedimentation in the studied area. The dense waters escaped the lower canyon where it widens to flow along the isobaths and impacted the southern open slope. This denotes the capacity of such events to funnel and spread southwardly shelf eroded material through canyons. Therefore DSWC may become an important factor for the sedimentation in the middle and lower slope of the northwestern Mediterranean. Upper and middle canyon was primarily affected by continuous cross-slope exchanges with the shelf. The deeper ones were less affected by horizontal transferences and shelf material arrived only associated to the DSWC event, whereas outside the DSWC period pelagic fluxes become a significant part of the total mass flux.

The severe DSWC event controlled also the arrival of organic matter to the sea floor, with the transfer of large quantities of land derived organic matter in January 2006 (from shelf deposits), and marine derived organic matter in March-April 2006 (from the concomitant spring bloom). Therefore, the timing of the dispersion of both terrigenous and marine derived organic material was controlled by the energetic conditions that enhance the resuspension and off-shore transport of material in the shelf. In addition, this organic matter was degraded not only during its transport along the canyons but also in the water column before reaching the canyon mouth and open slope, as indicated by trends in amino acid and chloropigment concentrations and compositions. Furthermore, although lateral input of organic matter from the adjacent shelf predominated during DSWC events, sporadic primary production events and constant advection of land derived material were also evident during low energy and low-flux periods.

Presentació, objectius i estructura

PRESENTACIÓ. El concepte de cicle biogeoquímic sorgí a mitjan anys 80, època en què els científics començaren a explicar als polítics d'arreu del món el conjunt de processos interconnectats que intervenen en el canvi climàtic global (Brewer et al., 2003). Els estudis anteriors eren bàsicament físics i pocs contemplaven termes terrestres o oceànics referents al CO₂. Llavors, quan els especialistes intentaren introduir-hi els factors reals i de retroalimentació, tan terrestres com marins, reconegueren que hi havia una manca important de coneixement sobre les taxes, reservoris i mecanismes que intervenen en el cicle oceànic del CO₂. Naixé així la biogeoquímica oceànica i el programa JGOFS (Estudi Conjunt sobre el Flux Oceànic Global). Els objectius principals de JGOFS eren, per una banda, determinar i comprendre, a escala global, els processos que controlen la variabilitat temporal dels fluxos de carboni i dels elements biogènics associats dins l'oceà i, per altra banda, avaluar la relació dels intercanvis amb l'atmosfera, el fons oceànic i els marges continentals. El programa JGOFS contemplà el paradigma de la biogeoquímica oceànica, és a dir, la idea que l'oceà és un sistema organitzat de cicles químics, induïts físicament i controlats biològicament, els quals regulen el clima planetari a escales espacials i temporals de gran magnitud (Ducklow, 2003).

De fet, el JGOFS és la suma de molts estudis que varen ser realitzats a diferents províncies biogeoquímiques de l'oceà (Ducklow, 2003). De la Mediterrània, concretament, es contemplaren els projectes DYFAMED (Dinàmica dels Fluxos Atmosfèrics a la Mediterrània) i ECOMARGE (Ecosistema del Marge Continental), els quals tingueren lloc entre 1986 - 1997 i 1988 - 1992 respectivament. D'ençà, els estudis

de la variabilitat dels fluxos de carboni a la Mediterrània occidental, han continuat a través de diversos projectes europeus i nacionals (p. ex. EUROMARGE, MATER, ADIOS, etc.) entre els quals s'hi troba l'HERMES (Recerca en els Punts Calents dels Ecosistemes dels Marges de les Mars Europees), on s'inclou el projecte de recerca objectiu d'aquesta Tesi. Els principals objectius del projecte HERMES són l'adquisició de nous coneixements sobre la biodiversitat, estructura, funció i dinàmica dels ecosistemes dels marges oceànics profunds de les costes europees des d'una perspectiva multidisciplinària, integrant geosfera, hidrosfera i biosfera. La investigació se centra en les zones d'elevada biodiversitat, els anomenats punts calents o "hotspots", associats a determinades estructures geològiques o hidrològiques. A causa de la susceptibilitat d'aquests punts calents a esdeveniments catastròfics, al canvi global i a la pressió de les activitats antròpiques, és de cabdal importància entendre'n el funcionament per tal d'establir les mesures adients per a la seva conservació i per a la seva possible gestió.

Aquesta Tesi s'integra dins dels grups de treball que pretenen estudiar els ecosistemes profunds dels marges continentals. El treball es du a terme, concretament, en els canyons submarins i talussos continentals, on s'investiga la riquesa d'espècies, l'estructura de les comunitats bentòniques i la seva relació amb els factors ambientals (règim de corrents, tipus de sediment i entrades de matèria orgànica (OM), i contaminants). Els canyons submarins són incisions profundes al marge continental, amb una dinàmica i un funcionament marcadament diferents de la resta del talús. L'estudi dels canyons submarins presenta diverses dificultats tècniques associades a la seva geomorfologia,

per la qual cosa sovint han estat ignorats. Se'ls reconeixen unes característiques bàsiques: ser zones d'elevada biodiversitat, representar vies de transport i embornals de carboni orgànic en els oceans, i fer de corredors ràpids per al material transportat des de les zones emergides cap a les profundes (Weaver et al., 2004). Per altra banda, la determinació dels factors ambientals resulta relativament difícil, ja que els processos més importants de transport de material particulat i nutrients dins els canyons, com són les cascades d'aigua densa de plataforma (DSWC), són de caire episòdic. Val a dir que, durant el període de mostreig, tingué lloc una important DSWC que afectà a totes les estacions, fet que en permetrà l'estudi amb una resolució espacial i temporal sense precedents.

OBJECTIUS. Dins del context descrit, els objectius concrets d'aquesta Tesi són:

- 1) Analitzar la distribució temporal i espacial dels fluxos de partícules en els canyons submarins del Cap de Creus i Lacaze-Duthiers, i el talús adjacent.
- 2) Determinar l'origen i els processos de transferència de OM en el sistema de canyons a partir de la seva caracterització quantitativa i qualitativa.

La finalitat de tot plegat és avaluar el paper dels canyons submarins com a vies de transport de material particulat (especialment OM), des de les plataformes continentals cap a les conques profundes; així com estudiar l'entrada de sediment des de la plataforma als canyons submarins. Això possibilitarà la identificació dels factors ambientals que controlen el funcionament dels ecosistemes en aquesta zona de la Mediterrània occidental.

ESTRUCTURA. Aquesta Tesi es presenta com a compendi de publicacions, i s'estructura seguint la normativa de la Universitat de Barcelona (*Normativa reguladora dels procediments relatius a l'elaboració, defensa i avaluació de les tesis doctorals a la UB*, aprovada per la Comissió de Doctorat de Consell de Govern de data 24 de juliol de 2008 i modificada per la Comissió de Doctorat de Consell de Govern de 28 d'abril de 2010) i la normativa interna de la Facultat de Geologia (*Procediment intern de la Facultat de Geologia referent a les tesis doctorals*, aprovada el 21

de juliol de 2010 per la Comissió de Doctorat de la Facultat de Geologia de la UB).

El primer capítol (CAPÍTOL 1) s'articula en forma de pròleg, on s'hi presenta el context científic que justifica el treball realitzat. S'inicia amb una introducció general que deixa palesa la importància de l'estudi del flux de partícules dins l'oceà per poder establir el cicle de carboni global. S'hi explica i justifica l'àrea d'estudi i la metodologia utilitzada.

Els següents capítols (2-6) corresponen a les publicacions realitzades per la doctoranda o bé, aquelles en les quals hi ha participat. Són una còpia completa i fidedigna dels treballs presentats, on s'hi fa constar el nom i la filiació de cada un dels coautors, així com la referència completa de la revista en què s'han publicat o s'enviaran per a la seva publicació. A més, s'adjunta un resum en català de cada treball.

En el CAPÍTOL 2 es presenta l'estudi de la composició dels fluxos de partícules detectats a trampes de sediment (situades al llarg de tres transsectes que transcorren dins els canyons de Lacaze-Duthiers i Cap de Creus, i al talús sud adjacent, des d'octubre de 2005 fins a octubre 2006). S'hi discuteixen, específicament, els fluxos totals, així com la composició relativa dels constituents denominats majors o principals (OM, òpal, carbonat de calci i litogènics). Els resultats indiquen que l'esdeveniment de cascada, que tingué lloc entre gener i març de 2006, va remobilitzar grans quantitats de material canyó avall, així com cap al sud al llarg del talús continental. Aquest treball contribueix a una millor comprensió del transport de partícules des de la plataforma i de la dinàmica interna dels esdeveniments DSWC.

El CAPÍTOL 3 és un estudi de l'origen (terrestre o marí) dels fluxos de matèria orgànica realitzat a partir de la composició isotòpica del C i el N. S'hi discuteix el contingut de carboni orgànic (OC) i nitrogen total (TN), així com la seva composició isotòpica ($\delta^{13}\text{C}$ i $\delta^{15}\text{N}$). Els resultats obtinguts suggereixen una exportació de matèria orgànica de diferents fonts cap a la conca profunda de la Mediterrània.

A partir d'aquest estudi, on s'evidencià una elevada variabilitat en l'origen de la OM, es decidí analitzar biomarcadors específics de la OM amb

l'objectiu d'aprofundir en l'estudi del seu origen i determinar-ne, a més, el seu estat de degradació. Així, es realitzaren dues estades al laboratori de química orgànica de la Dra. Cindy Lee del Centre de Recerca de Ciències Marines (MSRC) de la Universitat Estatal de Nova York (SUNY). Els primers resultats de la composició d'aminoàcids i cloropigments feren pensar que, a causa de la gran advecció lateral de material que pateix aquest marge continental, calia caracteritzar en detall la matèria orgànica d'origen terrestre per tal de completar-ne les fonts i l'estat de degradació. Per tant, es decidí realitzar una estada al laboratori del Dr. Miguel Goñi del Col·legi de Ciències Marines i Atmosfèriques (COAS) de la Universitat Estatal d'Oregon (OSU).

A partir de les estades esmentades, es realitzà el treball que es presenta en el CAPÍTOL 4, on s'hi discuteix l'origen i la degradació de la matèria orgànica dins els canyons submarins estudiats, emprant la informació que ens proporcionen els biomarcadors. Els resultats il·lustren la importància dels esdeveniments pelàgics, tan estacionals com esporàdics, així com dels esdeveniments laterals o de plataforma, pel que fa al control de l'intercanvi de OM a través d'aquest marge.

El CAPÍTOL 5 se centra en la discussió de les característiques que presenta, en concret, el material terrestre. Els resultats obtinguts a partir de l'estudi dels fenols derivats de la lignina suggereixen que existeixen diferències pel que fa a l'origen i als processos de transport de la matèria orgànica d'origen terrestres transportada a través dels canyons. Concretament, es detecten aportacions de material procedent de la plataforma continental durant l'hivern i, durant la primavera i l'estiu, procedents d'aportacions atmosfèriques.

En el CAPÍTOL 6 s'analitza en detall l'impacte de la DSWC en la composició isotòpica del carboni de la OM i en la granulometria de les mostres. Els resultats indiquen que el règim de corrents i la selecció dels grans, varen ser els responsables del gradient geoquímic de les partícules orgàniques que sedimentaren al llarg del talús.

En el CAPÍTOL 7 se sintetitzen i comparen tots els resultats obtinguts en els treballs anteriors. Aquest capítol s'estructura en funció dels objectius marcats:

l'anàlisi de la variabilitat espacial i temporal dels fluxos de partícules, així com la caracterització qualitativa de la OM, des d'una perspectiva integral. A més, s'hi fa una anàlisi dels resultats obtinguts dintre d'un context global.

En el CAPÍTOL 8 apareixen les conclusions, amb les respostes a les preguntes formulades inicialment, les quals foren el punt de partida d'aquesta tesi. Així mateix, s'inclou una ressenya sobre les implicacions i possibles línies d'actuació futures, sorgides arran d'aquest treball. Per tal de facilitar la lectura fluida del text, s'adjunten en darrer lloc les REFERÈNCIES, la TERMINOLOGIA i els SÍMBOLS I ACRÒNIMS.

Sumari

Capítol 1. Introducció, àrea d'estudi i metodologia	1
1.1 Introducció	1
1.1.1 L'oceà, el flux de partícules i el cicle del carboni	1
1.1.2 El flux de material particulat	3
1.1.3 Els traçadors de la matèria orgànica particulada	7
1.2 Àrea d'estudi	8
1.2.1 La mar Mediterrània	8
1.2.2 El golf de Lleó	9
1.3 Metodologia	10
1.3.1 Les trapes de sediment	10
1.3.2 Anàlisis	12
1.3.3 Altres paràmetres	14
Capítol 2. Flux and composition of settling particles across the continental margin of the Gulf of Lion: the role of dense shelf water cascading	17
Abstract	18
Resum	18
2.1 Introduction	19
2.2 Study area and oceanographic settings	19
2.3 Material and methods	20
2.3.1 Experimental design and data recovery	20
2.3.2 Sediment trap efficiency	21
2.3.3 Sample treatment and analytical procedures	21
2.3.4 Forcing conditions	22
2.4 Results	22
2.4.1 River, waves and Chl a measurements	22
2.4.2 Near-bottom temperature and currents measurements on the slope	23
2.4.3 Spatial and temporal variability of downward particle fluxes	23
2.4.4 Trends in composition of settling particles	25
2.5 Discussion	27
2.5.1 Lateral transport of material by DSWC	27
2.5.2 Pelagic signal in settled material	32
2.6 Conclusions	33
Acknowledgements	34
Capítol 3. Across margin export of organic matter traced by stable isotopes during and off cascading events, Northwestern Mediterranean Sea	35
Abstract	36
Resum	36

3.1	Introduction.....	37
3.2	Methods	38
3.2.1	Experiment design and analytical methods	39
3.3	Results	41
3.4	Discussion.....	41
3.4.1	Physical factors controlling organic carbon and total nitrogen fluxes	41
3.4.2	Sources of organic matter as revealed by stable isotopes of carbon and nitrogen	44
3.4.3	Implications for the deep export of carbon	48
	Acknowledgements	49

Capítol 4. Use of organic biomarkers to trace the transport of marine and terrigenous organic matter through the southwestern canyons of the Gulf of Lion 51

	Abstract.....	52
	Resum.....	52
4.1	Introduction.....	53
4.2	Regional setting.....	54
4.3	Material and methods.....	55
4.3.1	Sample collection and preparation	55
4.3.2	Analytical methods	55
4.3.3	Statistical Analyses.....	55
4.4	Results	56
4.4.1	Pigments	56
4.4.2	Lignin.....	57
4.4.3	Amino acids.....	58
4.5	Discussion.....	59
4.5.1	Marine OC inputs	59
4.5.2	Terrigenous OM inputs	62
4.5.3	Degradation state of the OM.....	62
4.6	Conclusions.....	65
	Acknowledgements	65

Capítol 5. Composition and provenance of terrigenous organic matter transported along submarine canyons in the Gulf of Lion (NW Mediterranean) 67

	Abstract.....	68
	Resum.....	68
5.1	Introduction.....	69
5.2	Background.....	69
5.3	Methods	70
5.3.1	Sample treatment	71
5.3.2	Elemental analyses	71
5.3.3	CuO oxidation	72
5.4	Results	72
5.4.1	Bulk Compositions	72
5.4.2	CuO products	73
5.5	Discussion.....	77
5.5.1	TOM transport along canyons.	77
5.5.2	Temporal contrasts in TOM inputs	79
5.6	Conclusions.....	82
	Acknowledgements	82

Capítol 6. Impact of Dense Shelf Water Cascading on settling particles in the Western Mediterranean.....	83
Abstract.....	84
Resum	84
6.1 Introduction	85
6.2 Data and Methods.....	85
6.3 Results and Discussion	86
6.4 Concluding remarks.....	88
6.5 Acknowledgements.....	89
Capítol 7. Resum i discussió dels resultats.....	91
7.1 Variabilitat temporal	91
7.1.1 La cascada d'aigua densa de plataforma durant l'hivern de 2006 (gener-març).....	91
7.1.2 Estiu i tardor	94
7.2 Variabilitat espacial.....	98
7.2.1 Diferències entre els canyons.....	98
7.2.2 Diferències geomorfològiques (canyons - talús).....	98
7.2.3 Diferències batimètriques (al llarg de transectes)	99
Capítol 8. Conclusions	101
8.1 Implicacions	102
Referències	103
Terminologia	113
Acrònims i sigles.....	115

