

6. Resum de resultats

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 paleoceanogràfica 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	207

6.1. Processos de transferència i acumulació del material particular a la Conca d'Alboran (Mar Mediterrània)

Per a l'estudi dels fluxos de partícules a la columna d'aigua de la Mar Occidental d'Alboran es va dissenyar un experiment amb dues etapes clarament diferenciades. La primera etapa va estar destinada a obtenir dades de fluxos a 5 punts distribuïts en dues línies instrumentades, equipades amb trampes de sediment aparellades amb correntímetres, i amb una freqüència mitja de mostratge de 10 dies. La segona va estar destinada a obtenir dades de fluxos a 7 punts distribuïts en 4 línies instrumentades, dels quals 5 són comuns amb l'etapa anterior, i amb una freqüència màxima de mostratge de 3 dies. Per raons logístiques la primera etapa es va dividir en dos períodes diferents. La Taula 6.1 recull els detalls de la distribució de trampes de sediment i correntímetres durant tot l'experiment i la codificació per a cadascun dels punts de mostratge. La Figura 6.1 permet observar la seva distribució en l'espai. L'àrea escollida per a l'experiment cobreix un sector del talús i del fons de la Conca Occidental d'Alboran situat al sud de Màlaga sobre el que habitualment fluctua el marge nord del WAG. Les línies instrumentades comunes a les dues etapes de l'experiment (ALB-1 i ALB-2) es van col·locar seguint una radial perpendicular al talús. La línia ALB-1 es va fondejar sobre el talús inferior, a una profunditat d'uns 1000 metres, mentre que la línia ALB-2 es va fondejar a la Depressió de Màlaga, a una profunditat d'uns 1300 metres. Les dues línies que només es van emprar durant la segona etapa es van fondejar a uns 20 km a l'est (ALB-E) i l'oest (ALB-D) de la línia ALB-1, també sobre el talús inferior i a una profunditat similar. Durant el període total de mostratge es van recuperar 157 mostres de les 180 planejades originalment (87%). La majoria de mostres fallides van afectar la trampa ALB-2-I amb només 17 mostres recuperades d'un total de 36 mostres potencials i per tant les dades d'aquesta trampa juntament amb les de les trampes ALB-D-F i ALB-E-F no s'han utilitzat a les comparacions de fluxos mitjans ja que cobreixen només períodes d'unes quantes desenes de dies comparat amb els 11 mesos de la resta.

L'anàlisi de les dades obtingudes en les línies instrumentades comunes a les dues etapes, transformant matemàticament la freqüència de les dades de la segona etapa a una freqüència de 9 dies, ens ha permès establir la distribució dels fluxos en una secció transversal al talús continental i la seva variabilitat estacional durant gairebé un any, entre juliol de 1997 i maig de 1998.

L'anàlisi independent de les dades corresponents a la segona etapa, de major resolució temporal i cobertura espacial, ens ha permès estudiar la variabilitat d'alta freqüència dels fluxos durant la primavera de 1998.

Simultàniament a l'obtenció de les dades de fluxos de partícules i de corrents es van obtenir tot un ventall de dades físiques i biològiques complementàries. Aquestes dades van ser bé de caràcter esporàdic, com són perfils de CTD destinats a construir seccions de les característiques de les masses d'aigua en un moment determinat, o bé de caràcter periòdic, com les imatges de concentració de clorofil·la obtingudes pel sensor SeaWiFS o les dades de descàrrega fluvial dels cursos més importants en la zona.

LÍNIA INSTRUMENTADA	POSICIÓ MITJA	CODI	PERÍODES MOSTREJATS			
			I	II	III	
ALB-1	Longitud	36° 14,39' N				
	Latitud	04° 15,41' W				
	Profunditat del fons	1004				
	Prof. de la trampa S	471	ALB-1-S	x	x	x
	Prof. de la trampa F	974	ALB-1-F	x	x	x
ALB-2	Longitud	36° 00,63' N				
	Latitud	04° 17,49' W				
	Profunditat del fons	1337				
	Prof. de la trampa S	396	ALB-2-S	x	x	x
	Prof. de la trampa I	896	ALB-2-I	x	x	x
ALB-D	Prof. de la trampa F	1307	ALB-2-F	x	x	x
	Longitud	36° 14,23' N				
	Latitud	04° 28,49' W				
ALB-E	Profunditat del fons	984				
	Prof. de la trampa F	954	ALB-D-F			x
	Longitud	36° 13,90' N				
ALB-E	Latitud	04° 02,68' W				
	Profunditat del fons	1006				
	Prof. de la trampa F	976	ALB-E-F			x

Taula 6.1. Posició geogràfica, profunditat (m) i períodes de mostratge de les parelles de trapes de sediment-correntímetre fondejades al llarg de tot l'experiment en el marge ibèric de la Conca Occidental d'Alboran. Primera etapa: Període I (01/07/97-31/10/97) i període II (15/11/97-10/03/98). Segona etapa: Període III (01/04/98-22/05/98).

Finalment, per a l'estudi de les taxes d'acumulació de sediment al fons de la Conca d'Alboran durant els darrers centenars d'anys es van obtenir onze testimonis de sediment d'entre 21 i 42 centímetres de llarg mitjançant un sistema testificador múltiple. Els testimonis es van obtenir en tres zones geogràfiques, anomenades de Màlaga, Illa d'Alboran i Almeria-Oran durant tres expedicions oceanogràfiques a l'octubre de 1996, novembre de 1997 i abril de 1998 (Figura 6.1). A la zona de Màlaga es van obtenir cinc testimonis, T-1, ALB-1, ALB-D, ALB-E i ALB-2, quatre dels quals comparteixen posició amb les línies instrumentades de codi anàleg (Taula 4.1). A la zona de l'illa d'Alboran es van obtenir els testimonis T-2, a la part més estreta del Solc d'Alboran, T-3, al fons de l'EAB, i M-1 a la part més ampla del Solc d'Alboran situada al sud del Canyó d'Almeria. Finalment a la zona d'Almeria-Oran es van obtenir els testimonis T-4, T-5 i T-6 seguint una secció segons el meridià 1,5° W. El testimoni T-4 es va obtenir a l'eix de la part distal del Canyó de Gata.

Aquest plantejament en diferents ambients (columna d'aigua i fons) i escales temporals serà també seguit en aquest apartat del resum per fer la seva lectura més entenedora. Cal remarcar, però, que hi ha nombrosos aspectes que poden éser discutits a partir de dades dels diferents ambients i escales temporals.

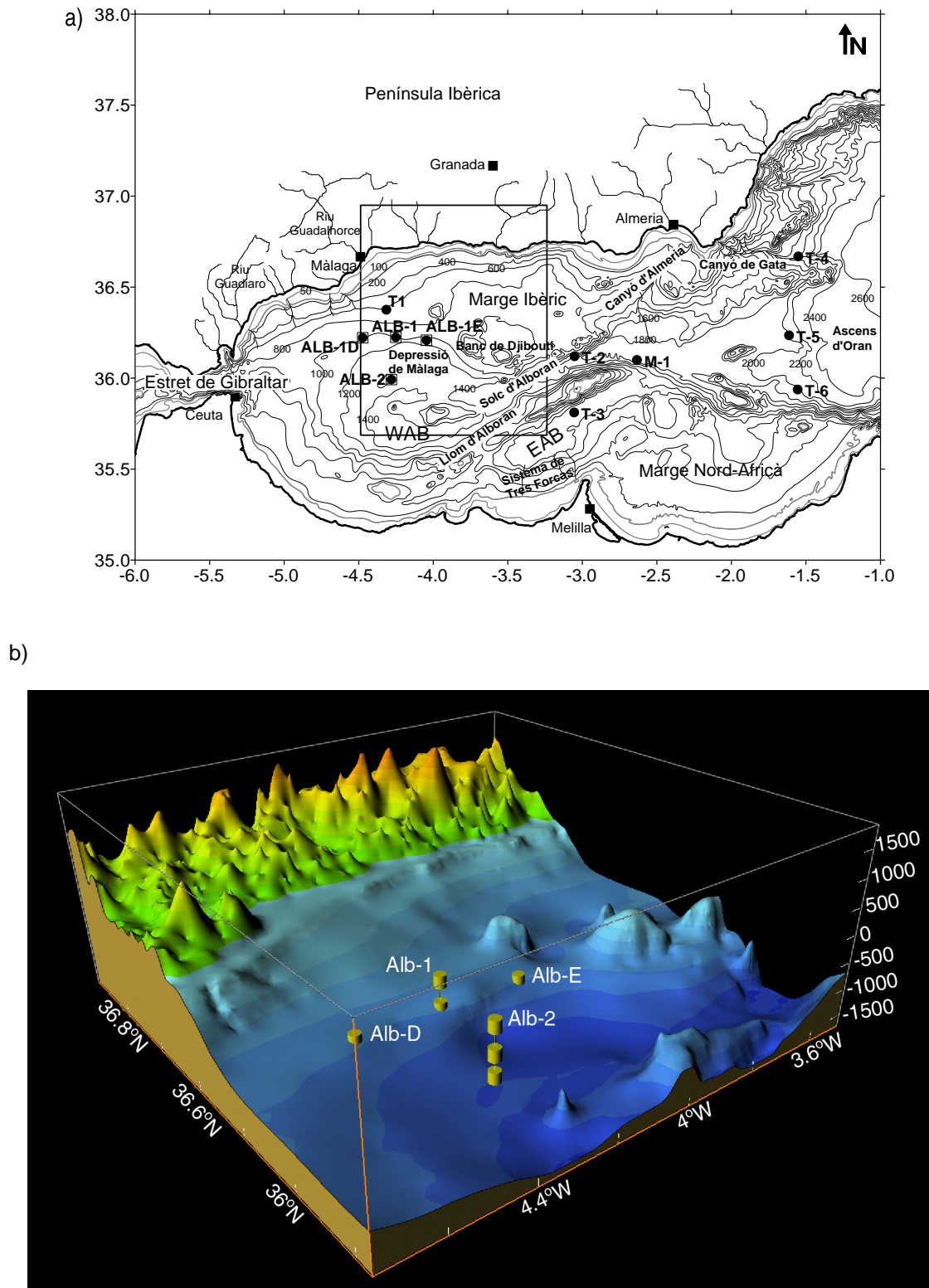


Figura 6.1. a) Mapa batimètric de la Conca d'Alboran en el que s'indica la posició de les línies instrumentades (□), els testimonis de sediment (●) i els elements fisiogràfics més importants. WAB: Conca Occidental d'Alboran ("Western Alboran Basin"); EAB: Conca Oriental d'Alboran ("Eastern Alboran Basin"). b) Representació tridimensional del marge ibèric de la Conca Occidental d'Alboran detallant la distribució de les diferents línies instrumentades i les parelles de trapes de sediment i correntímetres.

6.1.1. Fluxos de partícules a la columna d'aigua

Els fluxos mitjans totals mostraren una variabilitat limitada des de $503 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ a la trampa més soma de la línia ALB-1 a $855 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ a la trampa situada prop del fons a la línia ALB-2. La seva **distribució espacial** (Fig. 2.3) va estar caracteritzada per dos trets principals. El primer és que els fluxos mitjans totals augmenten en profunditat en ambdues estacions encara que l'increment és només significatiu a ALB-1 on prop del fons va ser aproximadament un 50% més alt que a profunditats intermèdies. Aquest increment resulta fonamentalment de l'increment en el flux de les fraccions terrígena i en menor part carbonàtica. Aquesta tendència vertical, que és observada a la majoria dels talussos continentals, és normalment explicada com el resultat de l'aportació advectiona de partícules a través de capes nefeloides intermèdies o de fons carregades en partícules terrígenes i carbonàtiques (p. e. Heussner et al., 1999 i les referències allà citades). L'existència al talús i peu del talús d'importantes capes nefeloides de fons va ser detectada en dues seccions hidrogràfiques transversals al marge realitzades durant dos expedicions oceanogràfiques realitzades a l'abril de 1998 i l'octubre de 1999 (Fig. 2.4).

El segon fet que domina la distribució dels fluxos totals mitjans és que el flux enregistrat a la trampa més soma situada a la línia ALB-2 és uns $300 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ més alt que l'enregistrat a la trampa més soma de la línia ALB-1 (Fig. 2.3). Aquesta diferència en el flux mitjà és deguda a un flux molt més alt de les fraccions terrígena i orgànica. Aquesta distribució amb un increment del flux a mida que ens allunyem del marge és bastant inusual per als marges continentals on els fluxos a una determinada profunditat disminueixen a mida que ens allunyem del marge. Les imatges satèl·lit obtingudes pel sensor SeaWiFS mostren que la concentració de clorofil·la és normalment més elevada al marge del WAG que no pas al centre i, per tant, completament oposada a la distribució dels fluxos. Aquesta discordança entre la producció de partícules en superfície i la transferència a profunditats intermèdies podria resultar de la focalització per subducció de les aigües superficials, i les partícules que aquestes contenen, des de la perifèria cap al centre del WAG. Les aigües superficials altament productives situades al nord del gir són empeses cap a mar obert per l'aflorament costaner d'aigües profundes lligat a l'acció dels vents de mar cap a terra o al desplaçament cap al sud del doll d'aigua atlàntica (Sarhan et al., 2000). Les aigües superficials mediterrànies en trobar-se amb les aigües atlàntiques del WAG subdueixen per sota d'elles introduint, al llarg de les isopícnes, les partícules generades en superfície. Part d'aquestes partícules són probablement incorporades al doll d'aigua atlàntica per moviments verticals ageostròfics i arrossegades cap a l'est. No obstant, les partícules que escapen aquest arrossegament poden ser arrossegades cap al sud i cap avall al llarg de les isopícnes i arribar a la part central del gir on les condicions menys dinàmiques poden afavorir la seva floculació, agregació i decantació. La distribució de material particular enregistrada a partir dels perfils de CTD realitzats a l'abril de 1998 i a l'octubre de 1999 (Fig. 2.4) il·lustren aquesta advecció de material en profunditat i mostren que el procés és més actiu quan el gir està ben establert i hi ha un front de densitat marcat en superfície. La focalització cap al centre del gir de les partícules terrígenes, introduïdes al medi marí a la costa septentrional, juntament amb les partícules orgàniques, produïdes localment, explicaria els fluxos més elevats d'ambdós constituents que s'hi registren. L'anàlisi de les dades d'alta resolució obtingudes durant la primavera de 1998 permet, com s'explica més avall, fer algunes precisions més sobre el funcionament d'aquest mecanisme.

L'evolució temporal dels fluxos totals de massa estigué caracteritzada per una alta variabilitat amb diferències d'almenys un ordre de magnitud entre el mínim i el màxim de cada estació. El flux màxim es va enregistrar a la trampa ALB-2-S ($2026 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$) i el flux mínim es va enregistrar a la trampa ALB-1-S ($30 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$). Degut a que les fluctuacions en el flux total de massa cobreixen un rang amb diferents ordres de magnitud i en canvi els percentatges de constituents majors es troben dins d'un rang força estret, els fluxos de cadascun dels constituents majors segueixen, en general, l'evolució temporal del flux total de massa i, per tant, mostren també una elevada variabilitat temporal. Malgrat aquesta elevada variabilitat l'evolució és similar a tots els punts de mostratge i està caracteritzada per un pic a l'inici de l'estiu del 97, un segon pic compost i ample durant la darrera part de la tardor del 97 i l'hivern del 98, i un tercer pic a la primavera del 98. Els valors mínims es van enregistrar a finals d'agost i principis de setembre del 97 i de nou des de mitjan febrer fins a finals de març del 98. Una comparació més acurada de les sèries temporals obtingudes a aigües intermèdies (ALB-1-S, ALB-2-S i ALB-2-I, Fig. 2.5) i a les aigües properes al fons (ALB-1-F i ALB-2-F, Fig. 2.6) revela una evolució encara més sincrònica dins de cada grup el que indica que l'evolució temporal dels processos que aporten partícules i els seus mecanismes de control poden ser almenys parcialment diferents a les dues zones de la columna d'aigua.

Els fluxos de partícules a profunditats intermèdies van ser més alts durant la darrera part de la tardor i l'hivern que a la primavera i al final de l'estiu. Les partícules que es van sedimentar durant la primavera i finals d'estiu són relativament més riques en matèria orgànica i òpal biogènic, pobres en fracció terrígena i amb continguts mitjos de carbonat. En canvi, les que es van sedimentar durant la darrera part de la tardor i l'hivern tenen relativament més material terrigen, menys matèria orgànica i òpal biogènic i una quantitat variable de carbonat en funció del punt de mostratge.

La comparació dels fluxos de material terrigen a profunditats intermèdies amb l'evolució dels cabals dels rius més propers, Guadiaro i Guadalhorce (Fig. 2.7), revela una evolució paral·lela en ambdós registres durant l'hivern del 98. Els esdeveniments de fluxos màxims estan precedits amb un decalatge d'uns 10 o 20 dies per importants pics en el cabal d'aquests dos rius. Aquesta correlació temporal apunta cap a un **origen fluvial** del material terrigen recollit a profunditats intermèdies. Les primeres avingudes, entre les darreries de setembre i finals de novembre de 97, van tenir cabals mòdics, mentre que els increments de flux corresponents van ser bastant dràstics. Per contra la darrera avinguda cabalosa de l'inici de febrer de 98 sembla que va tenir un efecte molt més moderat en els fluxos de partícules terrígenes. L'aparent desavinença entre els cabals fluvials i els fluxos terrígens pot ser el resultat del règim erosiu de les conques de drenatge, caracteritzades per una descàrrega sòlida més important a l'inici de la temporada de pluges (p.e Martins i Probst, 1991; Eisma, 1993). L'absència de descàrrega fluvial durant la primavera i l'estiu explica també la menor proporció de material terrigen durant aquestes estacions. L'aportació eòlica de material terrigen juga probablement un paper limitat ja que els fluxos anuals enregistrats a Granada per Diaz i Miranda (1997) són un ordre de magnitud inferiors als fluxos de material terrigen enregistrats en les trampes més somes.

El segon mecanisme de control dels fluxos de partícules a les aigües intermèdies és la **producció primària** que proporciona partícules de matèria orgànica, carbonat i sílice biogènica. L'evolució de la

concentració de clorofil·la en les imatges mitges per a períodes de 10 dies (Fig. 2.8) mostra que l'evolució temporal de la producció biològica per tota l'àrea del WAG pot ser comparada amb els fluxos de matèria orgànica enregistrats en les trapes més somes. Sense tenir en compte la seva magnitud hi ha una sèrie de pics sincrònics a les dues trapes més somes que van ser enregistrats entre 10 i 20 dies més tard del desenvolupament d'importants floracions de fitoplàncton a les aigües superficials del WAG indicades per concentracions elevades de clorofil·la (Fig. 2.9). L'anàlisi de les dades d'alta freqüència obtingudes durant la primavera del 98, que és abordada més endavant, també aporta informació sobre les relacions entre els esdeveniments productius en superfície i els fluxos de partícules a les aigües intermèdies.

La comparació entre l'evolució temporal dels **fluxos de partícules prop del fons** i l'evolució a profunditats intermèdies mostra que, malgrat l'evolució en general similar que implica una certa connexió entre ambdós ambients, durant alguns períodes de l'any els fluxos prop del fons van ser superiors als fluxos a profunditats intermèdies. Aquests períodes s'estenen des de mitjan juliol fins a finals d'agost i de mitjan febrer fins a finals de maig per ambdues estacions. Entre la segona meitat novembre i finals de desembre es va donar el mateix fet però només a la línia ALB-1. Les diferències són degudes als majors fluxos de material terrigen, carbonat i òpal prop del fons que a profunditats intermèdies. Com ja ha estat discutit anteriorment l'increment en profunditat dels fluxos totals de massa en ambients de talús continental és un fet comú (Heussner et al., 1999), i encara que els processos concrets involucrats en cada cas concret siguin diferents, el marc general que causa aquesta distribució de fluxos és el transport talús avall de material que provoca la injecció i dispersió de quantitats suplementàries de material en profunditat.

A la trampa ALB-1-F els períodes amb un flux més alt són tres i coincideixen amb tres esdeveniments caracteritzats per fluxos màxims entre els 1200 i 1700 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ seguits d'un descens en el flux fins a un valor de base d'uns 300 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$. Concretament els esdeveniments amb un flux intensificat s'estenen des de juny fins a mitjan juliol, de finals de setembre fins a finals de novembre i de mitjan febrer fins a mitjans de maig. La comparació del flux total prop del fons i les dades corresponents a la component E-W de la velocitat del corrent (Fig. 2.11a) suggereixen algun tipus de relació entre l'activitat de remolins que provoquen la inversió periòdica del sentit del corrent prop del fons i la intensificació dels fluxos en aquesta zona. Novament la major resolució de les dades obtingudes durant la primavera del 98 i exposades tot seguit permeten precisions relatives a la transferència de material prop del fons almenys durant aquest període.

Durant els mesos d'**abril i maig de 1998 l'evolució temporal** del flux total de massa va ser similar a totes les estacions i va estar caracteritzada per la presència de dos períodes diferenciats (Fig. 6.2). Durant el primer període, des de l'inici de l'experiment fins a finals d'abril, els fluxos de partícules van ser baixos a les estacions situades sobre el talús (ALB-1, ALB-D-F i ALB-E-F) i van decreixer des d'un valor inicialment alt cap a un valor mínim a finals d'abril o principis de maig, a l'estació situada sobre la Depressió de Màlaga (ALB-2). El flux total de massa oscil·là en aquest primer període entre els 200 i 500 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ a ALB-1-S (Fig. 6.2a), entre 500 i 1500 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ a les trapes de prop del fons situades sobre el talús (ALB-1-F, ALB-D-F i ALB-E-F, Fig. 6.2b) i va decreixer des de valors de 1000 i 1500 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ fins a valors entre 200 i 700 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ a ALB-2 (Fig. 6.2a). El segon període, que

comprèn des de finals d'abril-principis de maig fins al final del període de mostratge, es va caracteritzar per l'increment generalitzat del flux total de massa a totes les estacions i profunditats mostrejades, excepte a ALB-2-I on només es va detectar un augment relativament moderat que va ser, no obstant, de més d'un 100% respecte del valor mínim enregistrat a principis de maig. Aquest increment generalitzat es va iniciar i culminar en moments lleugerament diferents (alguns dies) en funció de la localització i la profunditat del punt de mostratge (Fig. 6.6). La **distribució vertical** dels fluxos de partícules estigué marcada per l'important ascens prop del fons enregistrat a les dues línies amb trampes a diferents profunditats (ALB-1 i ALB-2, Fig. 6.6 c i d) i pel seu descens en augmentar la profunditat en aigües intermèdies, enregistrat a la línia ALB-2 (Fig. 6.6d). Els fluxos mitjans a la línia ALB-1 augmenten de 523 a 1100 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ entre les trampes situades a 500 metres de profunditat i 30 metres sobre el fons. A la línia ALB-2 els fluxos mitjans enregistrats decreixen de 660 a 513 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ entre les trampes situades a 400 i 900 metres de profunditat i creixen de nou fins a 1188 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ a la trampa situada a 30 metres sobre el fons.

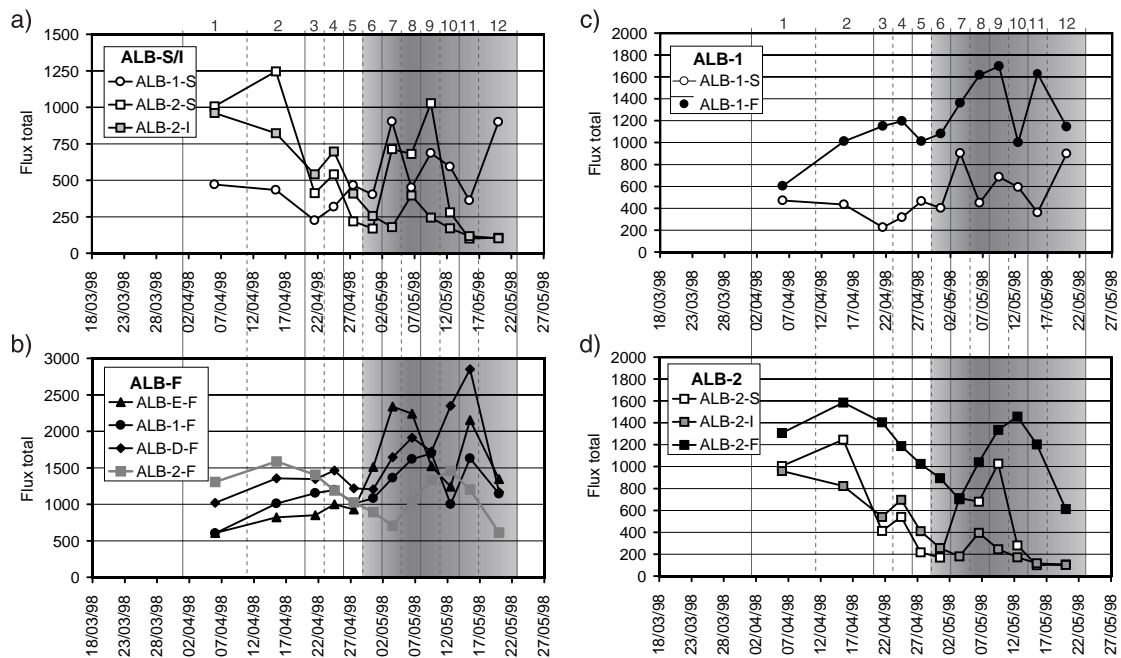


Figura 6.2. Evolució temporal del flux total de massa ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$) durant la primavera de 1998. a) Comparació entre les trampes situades a aigües intermèdies. b) Comparació de les trampes situades a 30 metres sobre el fons. c i d) Comparació entre trampes situades a les línies ALB-1 i ALB-2, respectivament. L'interval de color gris correspon amb el segon període descrit al text.

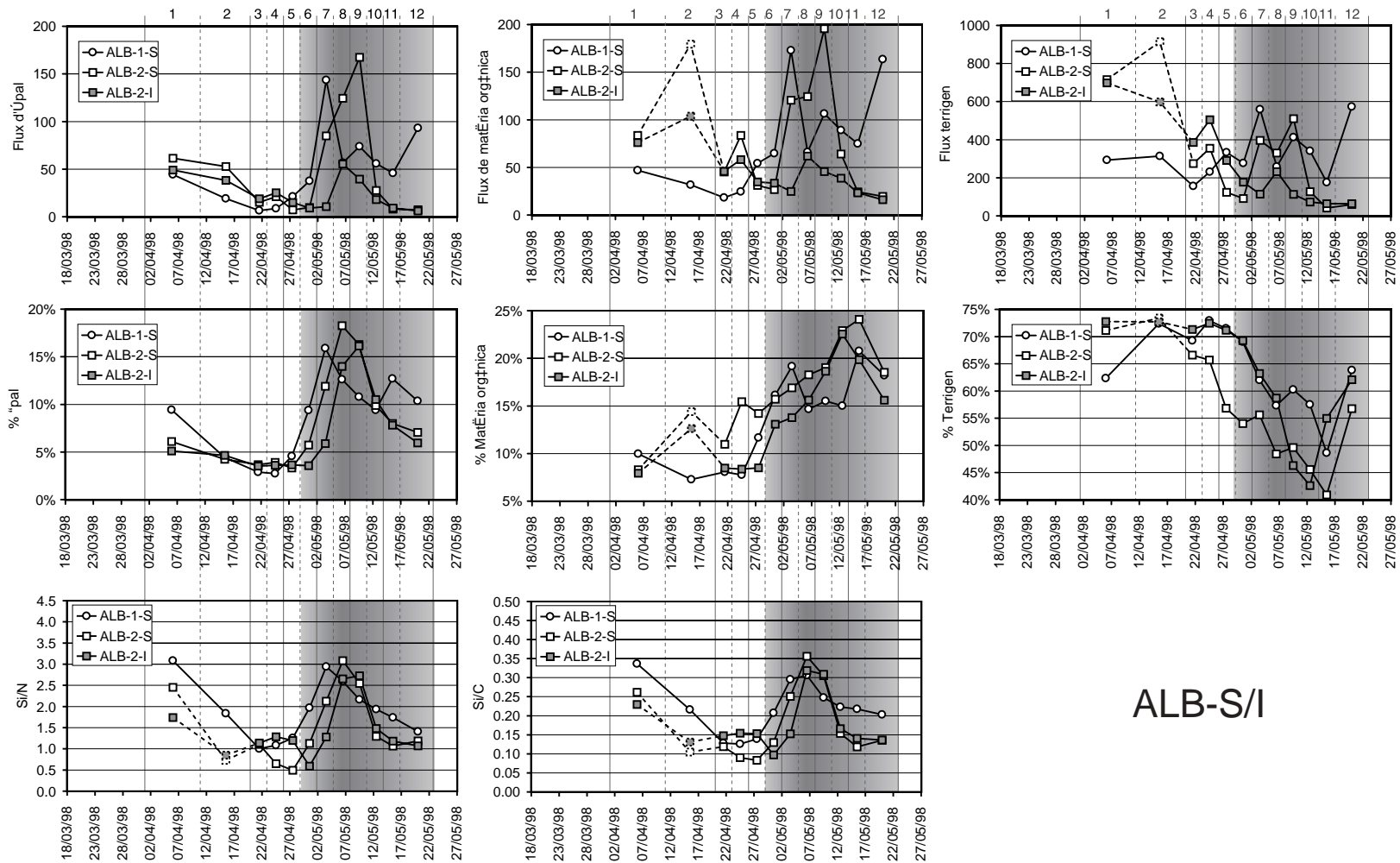
L'alta resolució de les sèries temporals de flux durant aquesta part de l'experiment ha permès calcular la **velocitat de sedimentació** de les partícules recollides a les mostres obtingudes amb una freqüència de tres dies. Aquestes velocitats varien al llarg del temps entre 80 $\text{m}\cdot\text{d}^{-1}$ i més de 300 $\text{m}\cdot\text{d}^{-1}$, velocitats que impliquen que les partícules van ser exportades de la capa fòtica (considerant que aquesta té 100 m de gruix) entre quatre i menys d'un dia abans de ser capturades a les trampes més somes (ALB-1-S i ALB-2-S). Conèixer quan les partícules van ser exportades de la capa fòtica permet la comparació directa de les sèries temporals de fluxos de partícules d'alta resolució i les sèries de dades complementàries obtingudes a la superfície marina (imatges de SST i concentració de clorofil·la).

Aquesta comparació possibilita la discussió de quines són les condicions i factors de control de primer ordre que impulsen la producció i exportació de partícules des de les aigües superficials.

L'**evolució del flux de partícules a les aigües intermèdies** del marge nord de la WAB durant la primavera del 98 va estar caracteritzada pels dos períodes esmentats abans. El primer, que comprengué aproximadament el mes d'abril, va estar caracteritzat per fluxos de material biogènic regularment baixos que podríem considerar com a soroll de fons en la sedimentació pelàgica. L'esdeveniment més remarcable en els fluxos es va enregistrar durant el segon període, que s'estengué des de finals d'abril en endavant i va estar caracteritzat per la intensificació dels fluxos de tots els constituents però especialment els de matèria orgànica i òpal (Fig. 6.3). Dins d'aquest esdeveniment es poden diferenciar tres fases, una d'increment, una de fluxos màxims i una de decrement.

La **fase d'increment**, que s'enregistrà abans a ALB-1 (26/04- 01/05) que a ALB-2 (29/04-04/05), va estar caracteritzada per l'augment en els percentatges de carboni orgànic i òpal i per índexs Si/N i Si/C entre baixos i mitjos (Fig. 6.3) típics de diatomees d'aigües temperades (Brzezinski, 1985) i d'una barreja de diatomees i material fecal procedent del zooplàncton que ha exercit una pressió depredadora baixa sobre una comunitat fitoplànctònica dominada per diatomees (Dugdale et al., 1995), respectivament. Durant aquesta fase el contingut en clorofil·la es mantingué entre valors baixos i moderats a les aigües superficials de la vora nord del gir, sobre ALB-1, i a les aigües que recircularen més cap al centre d'aquest, sobre ALB-2, procedents de la vora sud.

La **fase de fluxos màxims** tingué una evolució diferent a ALB-1 que a ALB-2. A ALB-1-S s'enregistrà un pic molt estret primer centrat en el dia 3 de maig seguit d'una davallada i d'un segon pic més baix centrat en el dia 9. En canvi a ALB-2-S l'evolució fou en certa manera oposada ja que es va enregistrar un augment brusc fins al dia 3, seguit d'una petita descelaració en el ritme d'increment que torna a augmentar per donar el pic màxim en el dia 9. Tant els percentatges d'òpal com els índexs Si/N i Si/C següeren una evolució molt similar assolint-se els valors màxims en el mateix moment que els fluxos màxims o lleugerament abans (Fig. 6.3). Aquesta evolució estigué lligada a dos fets. Primer, el pas sobre la zona d'estudi d'una sèrie de petits girs anticiclònics associats al marge del WAG, clarament visibles en les imatges de SST i SeaWiFS, entre els dies 3 i 6 de maig (Fig. 3.2). L'activitat d'aquest girs és aparentment responsable de l'advecció cap al centre del gir, seguint les isopicnes, d'aigües carregades en fitoplàncton, majoritàriament diatomees. Segon, l'augment dels índexs Si/N i Si/C fins a valors màxims en torn a 3 i 0,3, respectivament, pot ser atribuït al desenvolupament d'una comunitat zooplànctònica que exercí una important pressió depredadora (Dugdale et al., 1995) sobre la comunitat fitoplànctònica arrossegada des de la vora cap al centre del gir. Aquesta acció depredadora va estar efectuada, al menys en part, per zooplàncton microfàgic com les apendiculàries (restes dels quals es van identificar en les mostres de les trapes) i salpes (molt nombroses en les pesques realitzades en la part alta de la columna d'aigua durant aquest període). El zooplàncton microfàgic juga normalment un paper molt important en l'empaquetament de tot tipus de fitoplàncton i en la transferència d'aquest a profunditats pelàgiques a través de pèl·lets fecals i restes mucilaginoses. En part final d'aquesta fase l'acumulació de fitoplàncton i els seus depredadors en la part central del gir va condicionar possiblement la intensificació de la depredació



ALB-S/I

per una banda i de l'agregació física de totes les partícules (biogèniques i no biogèniques) d'una altra, propiciant l'augment de l'exportació de partícules de la capa superficial que resultà en els fluxos màxims enregistrats a la trampa ALB-2-S en aquest moment. Aquesta advecció d'aigua i partícules associada al pas de petits girs associats al marge del WAG i la seva influència en la transferència de material cap a la part central d'aquest és molt probablement un dels mecanismes responsables de la distribució de fluxos anuals a la WAB.

La **fase de decrement** d'aquest esdeveniment va estar caracteritzada pel descens dels fluxos de tots els constituents i dels valors dels índexs Si/N i Si/C (Fig. 6.3). Aquesta evolució va estar probablement causada per l'aturada en l'advecció d'aigües des de la perifèria del gir cap al centre degut a la desaparició dels petits girs associats a la vora del WAG. L'agregació i sedimentació massiva de la fase anterior va provocar possiblement la neteja de partícules de la columna d'aigua ja que durant aquesta fase les partícules sedimentàries que arribaren a aigües intermèdies tenien continguts mínims de fracció terrígena i màxims absoluts de matèria orgànica.

Pel que fa a la **transferència vertical a profunditats mesopelàgiques** la comparació de les dades d'alta freqüència obtingudes a ALB-2-S i ALB-2-I (Fig. 6.2) permeten constatar que només una part del material que arribà a 400 metres fou transferit fins a 900. Hi ha diferents processos biològics, químics i físics que poden explicar aquesta disminució en el flux. Entre els processos biològics consten la degradació microbiana de la matèria orgànica durant la seva sedimentació, la qual pot afectar les substàncies que mantenen les partícules agregades, l'esbocinament físic per predadors i la predació i incorporació en el zooplàncton. Dins dels processos químics la dissolució pot afectar totes les partícules que es sedimenten a la columna d'aigua encara que les partícules que són més afectades són les formades per carbonat, òpal i matèria orgànica. Qualsevol dels esmentats processos contribueix a la disminució de la mida dels agregats i per tant a la de la velocitat de sedimentació que fins i tot pot arribar a zero. Les partícules amb velocitats de sedimentació baixa i les substàncies dissoltes són susceptibles de ser transportades per fluxos d'aigua encara que aquests siguin poc intensos com seria el cas del flux cap a l'oest de la LIW i la WMDW. Aquest flux pausat podria ser responsable del segrest d'una part de les partícules i les substàncies dissoltes resultants de la degradació d'aquestes entre 400 i 900 metres i la seva transferència cap a les aigües profundes de l'Atlàntic.

D'altra banda la comparació dels valors dels fluxos de tots els constituents majors durant la primavera de 1998 a les dues profunditats en les que es van obtenir mostres a ALB-1 i a les tres en les que se'n van obtenir a ALB-2 (Fig. 6.2) posa en relleu la important **aportació de material prop del fons**. L'entrada de partícules prop dels fons va aportar partícules de tot tipus. No obstant, les diferències van ser més notòries en els fluxos de carbonat i material terrigen, que van ser més alts que a les aigües intermèdies durant tot el període estudiat (Fig. 6.4), mentre que les diferències entre els fluxos de matèria orgànica i òpal van ser més notables al llarg del mes de maig, durant l'esdeveniment de fluxos elevats a profunditats intermèdies (Fig. 6.4). Aquest fet indica que, malgrat l'aportació lateral prop del fons, els fluxos a aquesta zona tenen també una certa relació amb els fluxos verticals a la zona mesopelàgica. Aquesta relació no només queda reflectida per l'evolució similar dels fluxos de matèria orgànica i òpal, sinó que també és evident en els percentatges d'aquests components i en els índexs Si/N i Si/C (Fig. 6.5). Aquests índexs permeten identificar l'arribada a les trampes de fons de material que havia travessat la

columna d'aigua uns dies abans i havia estat capturat en les trampes situades a profunditats intermèdies. Així simultàniament o poc després de l'increment brusc d'aquests índexs enregistrat a primers de maig a les trampes situades a profunditats intermèdies, aquest es va registrar també en els índexs de les trampes properes al fons que es van mantenir elevats durant la resta del període estudiat. Aquesta evolució estigué probablement causada per esdeveniments episòdics de sedimentació de material a través de la columna d'aigua fins al fons de les zones més somes (plataforma i part alta del talús) on, poc després o simultàniament a la seva arribada i acumulació com una capa de material poc cohesiu, va ser remobilitzat i transferit, juntament amb d'altre material prèviament acumulat, cap a aigües més profundes. El poc decaïment temporal entre l'evolució enregistrada a profunditats intermèdies i prop del fons (Fig. 6.5) indica que la seqüència de sedimentació i remobilització es donà de manera ràpida. La transferència sostinguda de material acumulat en zones somes cap a zones més profundes explica el manteniment dels valors elevats dels índexs Si/N i Si/C durant més temps i la natura més ampla dels pics dels fluxos de partícules.

La comparació dels registres dels fluxos de partícules biogèniques amb els registres de la component E-W del corrent (Fig. 3.12) suggereix l'existència d'una certa relació entre ambdós registres. És possible que durant els períodes en els que es van donar importants increments en la velocitat del corrent cap a l'oest es donés una intensificació en el transport de les partícules ressuspeses en detriment de la sedimentació, mentre que just després d'aquests polsos s'enregistressin forts increments en la deposició resultant en fluxos màxims prop del fons.

Tota aquesta sèrie de processos de sedimentació intensificada de material biogènic durant períodes amb una exportació elevada i la seva posterior degradació al llarg de la columna d'aigua i redistribució prop del fons constitueixen un mecanisme efectiu per extreure quantitats importants de carboni orgànic de la superfície i transferir-lo cap a reservoris amb menor intercanvi amb l'atmosfera com els sediments o les aigües profundes. A més, aquesta sèrie de processos tenen implicacions profundes en els estudis paleoceanogràfics i paleoclimàtics basats en registres obtinguts en les parts profundes de conques restringides com és la Conca Occidental d'Alboran. Aquest estudi demostra que aquests poden registrar de manera acurada esdeveniments amb una elevada producció i transferència de material biogènic que es produeixin a tota la conca i no només en el punt on es va obtenir el registre.

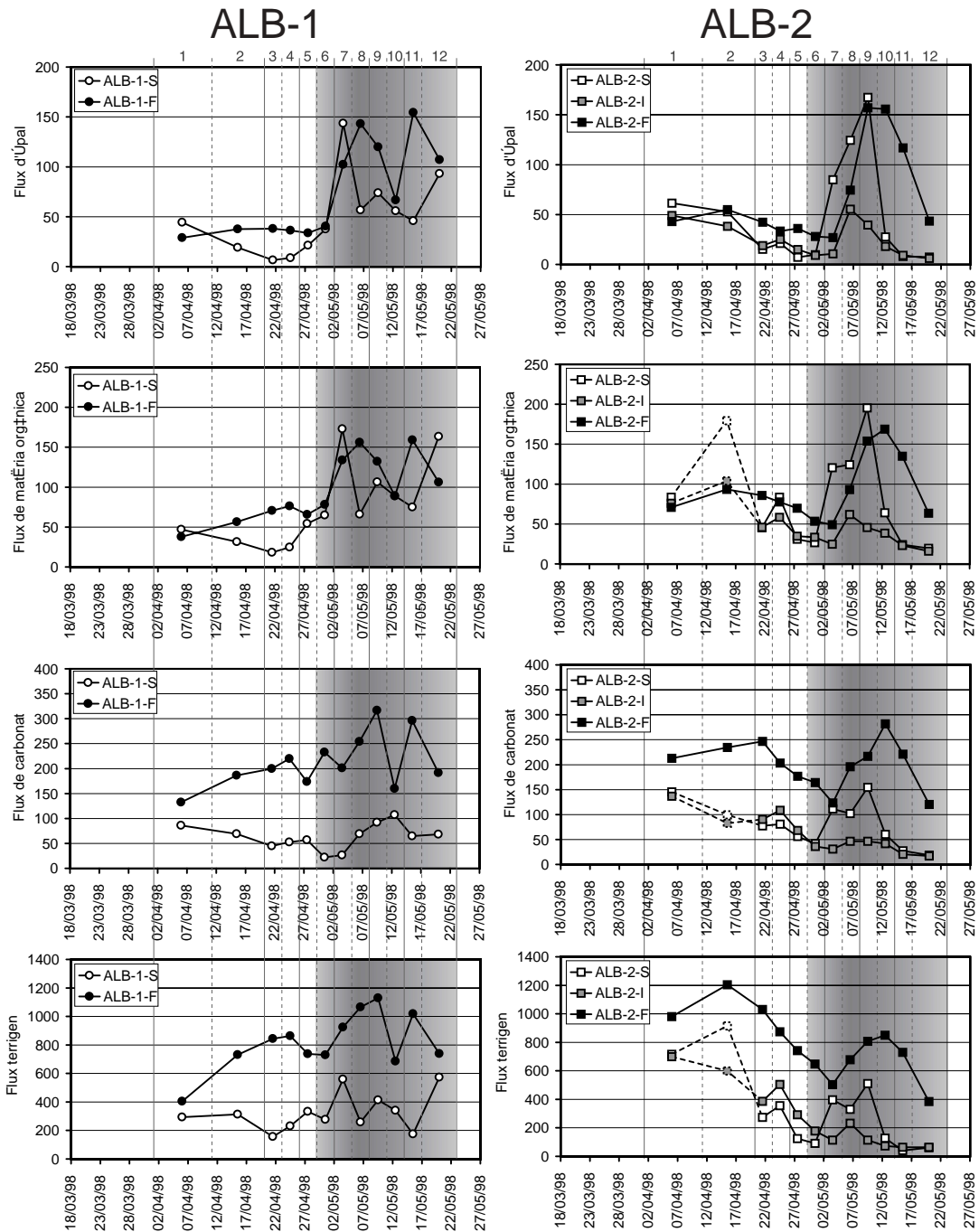


Fig. 6.4. Comparació de l'evolució temporal dels fluxos de constituents majors (òpal, matèria orgànica, carbonat i fracció terrigena, $\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$) a les diferents profunditats a les que es van obtenir mostres a les línies ALB-1 i ALB-2. L'interval de color gris correspon amb el segon període descrit al text.

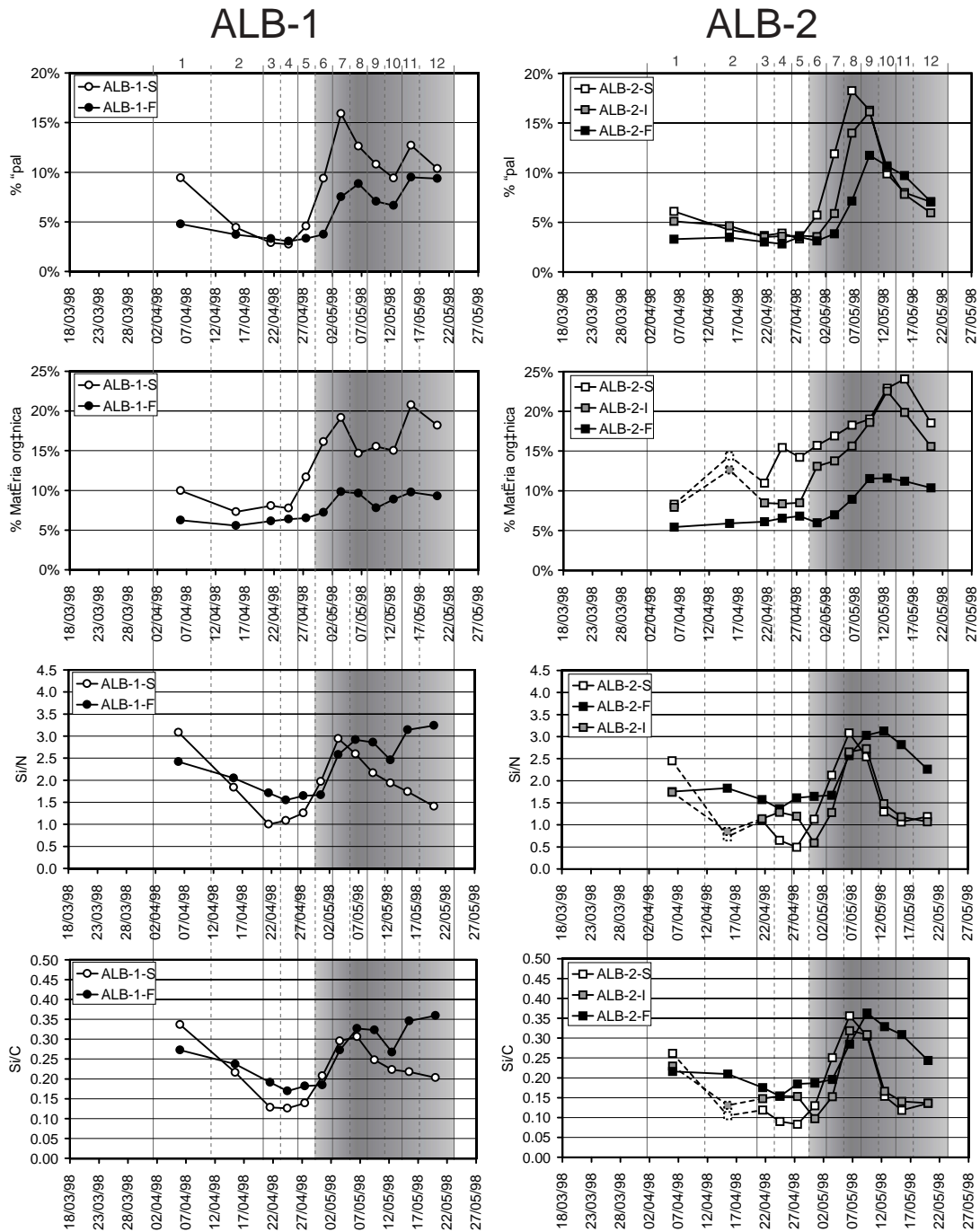


Fig. 6.5. Comparació de l'evolució temporal dels percentatges d'òpal i matèria orgànica ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$) i dels índexs Si/N i Si/C a les diferents profunditats a les que es van obtenir mostres a les línies ALB-1 i ALB-2. L'interval de color gris correspon amb el segon període descrit al text.

6.1.2. Taxes d'acumulació de sediment i constituents majors al fons

Les taxes d'acumulació de constituents majors al fons marí poden ser calculades en base als índexs d'acumulació de sediment obtinguts a partir dels perfils de ^{210}Pb . Aquests índexs d'acumulació i l'abundància relativa de cadascun dels constituents majors són útils per a discernir les diferents contribucions de les partícules al·lòctones i autòctones i les seves vies de transport i sedimentació. Addicionalment, la comparació d'aquests índexs d'acumulació amb els fluxos de cadascun dels constituents majors a les aigües profundes locals poden ser utilitzats per a calcular els balanços de massa que són necessaris per a establir quin és el potencial de la Conca d'Alboran com a desguàs de carboni orgànic i altres elements clau dels cicles biogeoquímics oceànics.

Tots els sediments recuperats per a l'estudi de les taxes d'acumulació són fangs hemipelàgics de mida llim exceptuant alguns nivells de llims sorrencs rics en closques de foraminífers de mida superior a les 63 μm (als testimonis ALB-1 i ALB-2) i alguns nivells de llims sorrencs rics en partícules terrígenes grolleres. Per sota de la interfície aigua-sediment es va identificar, en tots els testimonis, una capa de coloracions ocres d'entre 1 i 4 cm de gruix per sota de la qual es trobaren sediments amb una coloració marró o gris oliva. Excepcionalment al testimoni T-4 aquesta capa arriba als 14 centímetres de gruix. En el límit entre les dues coloracions s'identificà normalment un nivell irregular de coloracions més fosques. Els perfils de potencial d'oxidació (Eh) mostraren valors positius al llarg d'aquesta capa superficial i fins a 6 cm per sota (Fig. 4.2).

Les **taxes d'acumulació de sediment** ("Sediment Accumulation Rate", SAR) varien entre 0,043 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ i 0,182 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ (Taula 4.2). La comparació conjunta de tots els testimonis permet identificar una tendència de decreixement de les SAR amb la profunditat a la que el testimoni va ser obtingut. Això és especialment notori en la zona de Màlaga on la SAR per al testimoni T-1, obtingut a 654 metres de profunditat, és més del doble (0,182 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$) que la SAR a la resta d'estacions situades per sota de 900 metres al talús inferior i al fons de la Depressió de Màlaga. Les darreres estacions mostren un clar patró de decreixement des de l'WNW cap a l'ESE essent més alt a les estacions ALB-D (0,101 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$) i ALB-1 (0,079 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$) que a les estacions ALB-2 (0,075 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$) i ALB-E (0,043 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$). A la zona de l'Illa d'Alboran les SAR són similars a les de la part pregona de la zona de Màlaga, més alt a les estacions M-1 (0,084 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$) i T-3 (0,075 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$) que a l'estació T-2 (0,053 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$). Finalment les SAR a la zona d'Almeria-Oran són similars a les SAR més baixes enregistrades en les dues zones anteriors, tenint l'estació situada més al sud un valor lleugerament més alt (0,063 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$) que les altres dues que tenen unes SAR pràcticament idèntiques (0,052 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$) (Fig. 4.6).

La distribució de les taxes d'acumulació dels sediments hemipelàgics està controlada per diversos factors dels quals el més important és la **fisiografia**. Zuo et al. (1997) ja van identificar una tendència en el decrement de les SAR a mida que augmentava la profunditat i la distància als marges a la Mediterrània Nord-Occidental. En els sediments estudiats, les SAR disminueixen amb la profunditat posant de manifest la influència del primer dels factors identificats per Zuo et al. (1997). L'elevada SAR enregistrada en el testimoni T-1 suggereix que l'àrea del talús superior rep una quantitat superior de partícules derivades de la plataforma que el talús inferior i el fons de conca. Les dades de transmissivitat obtingudes seguint una

secció perpendicular al marge des de T-1 fins a ALB-1 i ALB-2 (Fig. 2.4) mostren concentracions de partícules superiors a la capa nefeloide de fons a la zona del testimoni T-1. La ubicació concreta de T-1 sobre una terrassa lleugerament inclinada pot possiblement afavorir una major retenció de sediment.

Les diferències en les SAR dels testimonis ALB-D, ALB-1-i ALB-E obtinguts a profunditats similars poden ser degudes a la situació concreta de cadascun dels testimonis. La terrassa en la que es va obtenir T-1, que està situada per sobre dels darrers testimonis, s'eixampla cap a l'est i, per tant, també la seva capacitat de retenció de partícules derivades de zones més somes causant possiblement una menor transferència de material cap a l'àrea en la que es va obtenir el testimoni ALB-E. Aquesta influència és aparentment força intensa ja que la SAR enregistrada a ALB-E és fins i tot més baixa que l'enregistrada a ALB-2 que està situat 300 metres més avall al fons de la Depressió de Màlaga. A més, la distribució de les SAR està possiblement influenciada per la presència, a l'oest de la zona on es van obtenir els testimonis, d'alguns canyons submarins encaixats en el talús superior. Aquests canyons podrien actuar com a conductes preferencials del material particular i, per tant, aportar més partícules a les zones on es van obtenir els testimonis més occidentals.

A la zona de l'Illa d'Alboran, la SAR del testimoni T-3, obtingut al fons de la EAB, és similar a la del testimoni ALB-1. Els altres dos testimonis recuperats en aquesta zona exemplifiquen clarament la influència de la fisiografia local en les SAR. Malgrat que M-1 està situat a una zona lleugerament més profunda que T-2 la seva SAR és un 60% superior, i semblant a l'enregistrada al testimoni T-3, situat 750 metres més amunt. Les elevades taxes de sedimentació de M-1 són interpretades com el resultat de l'arribada focalitzada de partícules des del marge nord i més concretament a través del canyó d'Almeria. El testimoni T-2 per contra representa la influència de l'aïllament a l'arribada de material des dels marges ja que es va obtenir també en el fons del solc d'Alboran però en una zona envoltada de marges abruptes que no estan, però, directament connectats amb les zones més somes degut a la presència de lloms submarins.

Els tres testimonis de la zona d'Almeria-Oran il·lustren l'homogeneïtat de les SAR en aquesta zona i es troben dins del mateix rang que les obtingudes per als testimonis T-2 i ALB-2. Semblaria doncs que les SAR enregistrades en aquestes zones són típiques d'ambients de base de talús o fons de conca en els que l'arribada de material sedimentari és restringida. El testimoni T-4 malgrat estar situat a l'eix del Canyó de Gata presenta una SAR molt baixa fet que pot ser explicat per l'absència de sistemes fluvials que nodreixin de partícules fines les zones del marge drenades per aquest canyó. Les taxes lleugerament més altes enregistrades al testimoni T-6 són probablement degudes a la seva situació pròxima al marge nord-africà on els processos de ressuspensió i transferència poden ser més actius. Aquests processos de ressuspensió poden estar lligats a l'acció erosiva del Corrent Algerià que flueix sovint amb una certa intensitat sobre la plataforma continental.

Les **taxes d'acumulació dels constituents majors i carboni orgànic** han estat calculades en tots els testimonis a partir de les concentracions mitges per sota del límit redox. Les concentracions per sota d'aquest límit poden ser considerades com a representatives del material que és enterrat en el fons ja que la majoria de l'activitat diagenètica es dona per sobre d'aquest límit. A més, aquestes taxes d'acumulació poden ser considerades com a representatives dels processos sedimentaris hemipelàgics que es donen en

cadascuna de les estacions ja que les característiques dels sediments recuperats indiquen que aquests van ser els processos dominants. L'única excepció en el domini dels processos hemipelàgics la constitueixen els sediments de la secció entre els 8 i els 12 cm de profunditat del testimoni T-4 que han estat interpretats com a acumulats a partir de corrents de terbolesa. En aquest testimoni es van prendre els valors de composició per sobre d'aquesta secció, una part dels quals per sobre del límit redox, com a representatius de l'acumulació per processos hemipelàgics en la zona del Canyó de Gata.

La distribució de les taxes d'acumulació dels constituents majors estan clarament influenciades per les SAR i per tant per la profunditat, la distància als marges i la fisiografia local. En tots els testimonis es van enregistrar taxes d'acumulació dels constituents majors dins del mateix rang exceptuant en el testimoni T-1 que va enregistrar valors dos o tres cops més alts que la resta (Fig. 4.6). Malgrat això les variacions en les abundàncies relatives de cadascun d'ells van posar de manifest diferències que no són obvies si només es consideren les SAR.

Els percentatges de la **fracció terrígena** van mostrar un patró clarament decreixent d'est a oest, amb valors propers al 80% a la zona de Màlaga, 75% a la zona de l'Illa d'Alboran i 70% a la zona d'Almeria-Oran (Fig. 4.8). Les taxes d'acumulació resultants per als testimonis obtinguts per sota de 900 metres varien entre 82 i 63 $\text{mg}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ als testimonis ALB-D, ALB-1, M-1 i T-3 i valors més baixos, entre 47 i 34 $\text{mg}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$, als testimonis ALB-2, T-6, T-2, T-4, T-5 i ALB-E (Fig. 4.6). Aquest patró decreixent de l'abundància de la fracció terrígena cap a l'est reflecteix clarament que l'aportació més elevada de partícules terrígenes a la Conca d'Alboran es dona en el seu extrem occidental. Més en detall, la comparació dels percentatges i taxes d'acumulació de fracció terrígena entre dels testimonis de cada zona permet d'identificar la influència de les fonts locals de material terrigen i el control de la fisiografia local. Així, a la zona de Màlaga s'identifica un decrement d'ambdós paràmetres cap a l'est, resultant possiblement de la ubicació dels dos rius més cabalosos de la zona a l'oest de l'àrea d'estudi i del paper dels canyons submarins esmentats abans com a conductes per a la dispersió del material terrigen acumulat a les plataformes properes a aquests rius. A la zona de l'Illa d'Alboran és el testimoni T-3 el que té un contingut relatiu de material terrigen més alt, resultant probablement de la seva major proximitat al marge nord-africà i l'absència de barreres fisiogràfiques que eviten l'arribada d'aquest material des de la zona costanera. A la zona d'Almeria-Oran tant el testimoni T-4 com el T-6 mostren abundàncies relatives lleugerament més altes que el testimoni T-5 degut a la seva major proximitat als marges ibèric i nord-africà respectivament.

Els percentatges de **carbonat** mostren un patró oposat al dels constituents terrígens, augmentant clarament d'oest a est amb valors lleugerament per sota del 20% a la zona de Màlaga, entre el 21% i el 24% a la zona de l'illa d'Alboran i propers al 30% a la zona d'Almeria-Oran (Fig. 4.8). Les taxes d'acumulació de carbonat van oscil·lar entre els 9 i els 20 $\text{mg}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$. Els valors més baixos es van enregistrar als testimonis ALB-E i ALB-2 amb valors de 8,6 i 10,3 $\text{mg}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$, mentre que als altres testimonis van oscil·lar entre els 12,7 i els 19,6 $\text{mg}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ (Fig. 4.6). Aquest patró simètric respecte al del material terrigen és interpretat com un efecte de la dilució. En general, com més lluny de les fonts de material terrigen i dels marges, més alt és el contingut en carbonat.

Els percentatges de **matèria orgànica** van ser més baixos a la zona d'Almeria-Oran, amb valors entre l'1,3% i l'1,5% en comparació amb les altres dues zones on van oscil·lar entre l'1,7% i el 2,2% (Fig. 4.8). Les taxes d'acumulació de matèria orgànica van ser paral·leles a les de la fracció terrígena. Els testimonis ALB-D, ALB-1, T-3 i M-1 van mostrar valors entre 1,4 i 1,8 $\text{mg}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ i els testimonis ALB-2, T-6, T-2, T-5, T-4 i ALB-E entre 0,7 i 1,1 $\text{mg}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ (Fig. 4.6).

La concentració de matèria orgànica als sediments marins està controlada per la interacció de diferents factors essent els majors l'aportació, la preservació i la dilució. En relació a l'**aportació** la producció primària autòctona és de mitjana més alta a les àrees on es dona aflorament d'aigües pregonas, allà on es desenvolupen fronts de densitat intensos amb circulació vertical associada o allà on la descàrrega fluvial fertilitza les aigües superficials. A la Mar d'Alboran aquestes condicions es donen a la vora nord del WAG i ocasionalment al AOF. Tant els índexs C/N com la comparació entre els biomarcadors d'origen marí i terrestre acumulats en els sediments indiquen que les diferències en la contribució de matèria orgànica d'origen marí són molt més determinants per a la distribució d'aquesta que no pas la contribució de matèria orgànica d'origen terrestre. La distribució dels percentatges de matèria orgànica acumulada als sediments mostren una clara tendència decreixent des de les zones de Màlaga i l'Illa d'Alboran cap a la zona d'Almeria-Oran resultant de la major i més constant producció primària a la Mar Occidental d'Alboran.

La redistribució de material particular per processos de resuspensió en el fons és probablement responsable de l'homogeneïtat en els valors d'abundància de matèria orgànica enregistrats dins de la mateixa zona fisiogràfica malgrat les diferències locals en la producció a les aigües superficials.

El segon factor que juga un paper important en la distribució de matèria orgànica en els sediments és la **preservació**. La preservació/degradació de la matèria orgànica depèn de la quantitat d'oxigen disponible per a oxidar-la, que depèn en última instància de les SAR i del contingut d'oxigen en les aigües locals. En els sediments recuperats s'observa una relació positiva entre les SAR i el percentatge de carboni orgànic (Fig. 4.9a), mentre que la relació entre el gruix de la capa situada per sobre de límit redox (Fig. 4.9c), que indicaria fins a quina profunditat hi ha oxigen disponible per a l'oxidació, és menys clara i per tant sembla que la SAR seria un factor molt més determinant. Hi ha a més una relació negativa entre el percentatge de carboni orgànic i la profunditat a la que el testimoni va ser obtingut (Fig. 4.9b). Aquesta relació pot estar lligada al fet de que els testimonis obtinguts a la part occidental de la Mar d'Alboran, on s'enregistren les condicions més productives, van ser també els obtinguts a menys profunditat encara que una certa influència de la degradació de la matèria orgànica durant la seva transferència a través de la columna d'aigua no pot ser del tot descartada.

La **degradació** de la matèria orgànica un cop arribada **al fons** pot ser estimada a partir de la comparació de les taxes d'acumulació en el sediment amb els fluxos mesurats a la columna d'aigua a partir de l'ús de trampes de sediment situades prop del fons. Així doncs les dades mitjanes obtingudes a les trampes ALB-1-F i ALB-2-F poden ser comparades amb les obtingudes als testimonis ALB-1 i ALB-2 (Taula 4.4). La comparació d'aquestes dades, assumint que no hi ha aportació de matèria orgànica entre la trampa i el fons, permet estimar que el 28% i el 41% de la matèria orgànica que arriba al fons a ALB-1 i ALB-2, respectivament, és degradada entre la interfície aigua-sediment i el límit redox.

La comparació de les dades de trapes i dels testimonis no només permet calcular la degradació de matèria orgànica sinó que a més permet també estimar l'**aportació de material** entre la trapa més profunda i el fons a la part del talús on es situa l'estació ALB-1 i a la Depressió de Màlaga, on es troba l'estació ALB-2 (Taula 4.4). En l'anàlisi de les dades obtingudes mitjançant aquesta estimació, cal tenir en compte que aquestes han estat obtingudes per dos mètodes que cobreixen escales temporals molt diferents i que assumim dues premisses que impliquen que els valors obtinguts han de ser considerats com a valors mínims: (i) que l'entrada de matèria orgànica i òpal per sota de la trapa és negligible i (ii) que les fraccions terrígenes i carbonàtiques no experimenten degradació un cop arriben al fons. Aquestes estimacions revelen que la meitat i dues terceres parts dels sediments acumulats a ALB-1 i ALB-2, respectivament, han estat aportats per sota de 30 metres per sobre del fons. Aquesta important aportació queda també confirmada per les concentracions superficials i inventaris de ^{210}Pb en els sediments i la comparació de les dades de fluxos de ^{210}Pb a les trapes i al fons. El contingut aproximat de carbonat del material que és aportat per sota de 30 metres sobre el fons està entre el 17% i el 19% (Taula 4.4), abundància molt similar a la dels sediments acumulats en el fons d'aquesta zona. Aquest fet reforça la interpretació de que aquest material procedeix de la ressuspensió de partícules acumulades en zones més somes del talús i confirma que, tant l'estimació d'aportació de material prop del fons com les estimacions de degradació de matèria orgànica, són valors mínims ja que els sediments de la part superior del talús d'aquesta zona (testimoni T-1) contenen al voltant d'1,9% de matèria orgànica.

La darrera variable que regula en general l'abundància de matèria orgànica en els sediments és la **dilució**. Aquesta no sembla tenir una importància excessiva en els sediments de la Conca d'Alboran ja que trobem una relació directa entre els percentatges de matèria orgànica i les SAR, mentre que un control intens per la dilució implicaria una relació inversa.

Finalment, l'absència de quantitats significatives d'**òpal** en els sediments en comparació amb els fluxos mesurats a la columna d'aigua, fins i tot a les trapes properes al fons, permet d'afirmar que l'òpal produït a les aigües superficials i que arriba a les aigües profundes no és preservat en els sediments. Aquest fet és força sorprenent ja que als sistemes productius caracteritzats pel desenvolupament de floracions estacionals dominades per diatomees, com la Mar Occidental d'Alboran, es sol donar exportació i acumulació d'òpal en els sediments de fons (Nelson et al., 1995). L'explicació a aquesta manca de preservació en el fons pot radicar en la important degradació de la matèria orgànica que forma part de les mateixes diatomees i dels agregats en els aquestes estan incloses. Aquesta degradació pot fer augmentar la superfície dels frústuls directament exposada a l'acció corrosiva de les aigües profundes i intersticials, subsaturades en sílice (Stumm i Morgan, 1981), facilitant la seva completa dissolució.

6.2. Processos sedimentaris i reconstrucció climàtica dels darrers mil·lenis a la Conca de Bransfield (Península Antàrtica)

Per a l'estudi dels processos sedimentaris i l'evolució paleoceanogràfica i paleoclimàtica de la Conca de Bransfield durant els darrers mil·lenis es van obtenir dos testimonis de gravetat de les subconques Central i Occidental de Bransfield. El testimoni GEBRA-1, de 252 cm de longitud, es va obtenir a una zona plana de l'eix de la subconca Central de Bransfield entre dos edificis volcànics (62°35,36'S/ 58°32,53'W, 1652 m de profunditat). El testimoni GEBRA-2, de 444 cm de longitud es va obtenir al cim d'un llog sedimentari de 300 metres d'alçada que és part del talús meridional de la subconca Oriental de Bransfield (61°56,56'S/ 55°20,21'W, 1106 m de profunditat) (Fig. 5.1). Els sediments d'ambdós testimonis van ser datats mitjançant ^{14}C i ^{210}Pb i mostrejats sistemàticament per a l'estudi de les característiques sedimentològiques (mida de gra i propietats físiques) i geoquímiques (contingut en C, N i òpal).

Els sediments recuperats són bàsicament llims argilosos de color verd o gris oliva i amb diferents graus de laminació paral·lela mil·limètrica o centimètrica definida per l'alternança de làmines clares i fosques. Intercalats entre aquests llims argilosos es van identificar alguns nivells més grollers, amb continguts en sorra més alts que la mitjana, els quals van ser més abundants a GEBRA-2 conferint-li un caràcter general més groller (Fig. 5.2 i 5.3). Les partícules de mida sorra són de composició majoritàriament volcànica a GEBRA-1 mentre que a GEBRA-2 els frústuls de diatomees, les espícules d'esponja i els grans de quars predominen sobre els components volcànics. Els continguts mitjans de carboni i nitrogen en cada testimoni són molt similars essent de 1,19% i 0,18% i de 1,15% i 0,19% per a GEBRA-1 i GEBRA-2, respectivament. La diferència més gran en composició entre els dos testimonis és el contingut mitjà d'òpal que és molt superior a GEBRA-2 (22,63%) que a GEBRA-1 (16,73%). La comparació entre l'evolució dels valors de C, N i òpal en profunditat en ambdós testimonis mostrarà que aquests estan directament relacionats, essent la correlació entre el contingut de C i òpal a GEBRA-1 la més alta ($r^2=0,88$) i entre el nitrogen i l'òpal la més baixa ($r^2=0,16$).

Els sediments recuperats van mostrar edats ^{14}C superficials superiors a les esperades si considerem que no es van perdre seccions importants del sostre de la successió sedimentària durant la testificació (entre 5 i 13 cm a GEBRA-1 i uns 16 cm a GEBRA-2). La causa d'aquestes edats anòmales és la combinació de l'efecte reservori de les aigües antàrtiques (Gordon i Harkness, 1992; Pudsey i King, 1998) i de la resuspensió i redeposició a escala secular de la matèria orgànica particular (Harden et al., 1992). No obstant, les datacions de ^{14}C van permetre d'establir les taxes de sedimentació, que van ser de $0,128 \pm 0,010 \text{ cm}\cdot\text{a}^{-1}$ per a GEBRA-1 i de $0,161 \pm 0,09 \text{ cm}\cdot\text{a}^{-1}$ per a GEBRA-2, i estimar que els registres obtinguts cobrien l'evolució sedimentària durant els darrers 2000 i 2850 anys a les zones on es van obtenir els testimonis GEBRA-1 i GEBRA-2, respectivament.

6.2.1. La sedimentació hemipelàgica

La majoria dels sediments recuperats en ambdós testimonis van ser interpretats com a acumulats a partir de processos hemipelàgics. Només les seccions entre els 246 cm de profunditat i la base de GEBRA-1 i la secció entre 302 i 306,5 cm de profunditat a GEBRA-2 han estat interpretades com a dipositades a partir de corrents de terbolesa.

Les fonts principals del **material terrigen** particular que arriba a la Conca de Bransfield són la descàrrega subglacial des de glaceres de marea que alimenten capes nefeloides carregades de sediment (Griffith i Anderson, 1989; Domack i Ishman, 1993; Domack et al., 1994; Yoon et al., 1997) i la descàrrega fluvial dels cursos pro- i/o supraglacials que generen plomes superficials en algunes de les badies de les illes Shetland del Sud i que són després dispersades per l'Estret de Bransfield per la circulació superficial. Una altra font de material terrigen són les partícules transportades pel glaç flotant ("Ice-rafted debris") que és probablement responsable de la presència dispersa de material més groller d'1 mm a les seccions hemipelàgiques. Finalment, la darrera font de material terrigen és l'arribada a través de l'aire de pols d'origen volcànic procedent de l'erosió de les superfícies volcàniques exposades a terra emergida o procedents directament dels edificis volcànics com sembla ser el cas per a les capes riques en cendres identificades prop del sostre de GEBRA-1. Aquests nivells rics en cendres volcàniques s'han pogut correlacionar amb algunes erupcions històriques de l'illa de Decepción situada a la Conca Occidental de Bransfield.

La segona font de material particular susceptible de ser dipositat per processos hemipelàgics són les **partícules biogèniques** resultants de la producció primària a les aigües superficials durant l'estiu austral.

El **transport** d'aquest material particular fins cap a les parts profundes de la conca es realitza per diferents mecanismes. Els experiments realitzats amb trapes de sediment a la Conca Central de Bransfield, en localitats no gaire allunyades del lloc on es va obtenir el testimoni GEBRA-1 (Fig. 5.1), han demostrat que els fluxos verticals de partícules durant els mesos en que la superfície no està coberta de glaç estan entre els més alts de l'oceà Austral i que l'empaquetament en pèl·lets fecals és clau per a la transferència d'aquest material (Wefer et al., 1988 i 1990). No obstant, la presència de frústuls intactes en les trapes de sediment i en els sediments de fons (Bárcena et al., 1998) implica que altres mecanismes a part de l'empaquetament en pèl·lets fecals han participat en la transferència de material particular des de les aigües superficials. La sedimentació de partícules individuals i la incorporació en agregats deu també jugar un paper important (Bodungen et al., 1986; Leventer, 1991). Aquests mateixos experiments de trapes de sediment mostren que l'advecció lateral des d'altres àrees també aporta partícules terrígenes i biogèniques cap a les zones profundes del centre de conca durant els períodes en que la superfície està lliure de glaç i fins i tot quan aquesta n'està coberta (Gersonde i Wefer, 1987; Wefer et al., 1988 i 1990; Abelman i Gersonde, 1991).

La comparació dels fluxos de sediment i l'abundància dels constituents majors (matèria orgànica, òpal i fracció terrígena) mesurats en les trapes de sediment i calculats en les seccions pelàgiques dels testimonis GEBRA-1 i GEBRA-2 (Taula 5.4) revela diferències ben notables. En l'anàlisi d'aquestes

diferències cal tenir en compte que les dades de fluxos han estat obtingudes per dos mètodes que cobreixen escales temporals molt diferents i, per tant, podrien estar en part causades per aquest fet. Els fluxos anuals de partícules mesurats en trapes situades a 500 metres de profunditat són més baixos però més rics en components biogènics (matèria orgànica i òpal) que els calculats a les seccions hemipelàgiques. La mateixa diferència és observada si comparem els fluxos per als sediments hemipelàgics i els fluxos de partícules mesurats a profunditats majors (1588 metres, 364 metres sobre el fons). Considerant que la dinàmica sedimentària de la Conca de Bransfield no ha canviat substancialment durant els darrers milers d'anys (Singer, 1987; Harden et al., 1992), aquestes diferències poden ser explicades per l'aportació lateral i prop del fons de material particular transportat per capes nefeloides que es nodreixen del material ressuspès al marge de plataforma o al talús. La comparació de la composició dels sediments hemipelàgics, del material recollit a les trapes i dels sediments de plataforma permet veure que els sediments de les seccions hemipelàgiques del testimoni GEBRA-1 i GEBRA-2 poden ser considerats una barreja de partícules procedents de les aigües superficials (al voltant del 30%) i de partícules procedents de la plataforma i del talús superior (aproximadament el 70%).

La concentració de material particular prop del fons a les àrees de plataforma de la Conca de Bransfield i especialment en els solcs encaixats en el talús de la Península Antàrtica (Palanques et al., 2002) és considerable, almenys durant els períodes en què la superfície es troba lliure de glaç. Aquesta ressuspensió és deguda a l'agitació de les aigües properes al fons per l'onatge durant els períodes de tempesta, corrents de marea (López et al., 1994) i per ones internes associades a les interfícies de densitat (García et al., 1994; Calafat et al., 1997). Aquest sediment ressuspès pot ser escombrat de la plataforma per corrents locals o l'influx d'aigües fredes i salines procedents de la plataforma de Weddell (Withworth et al., 1994; López et al., 1999). L'absència d'acumulació de material fi en les zones de plataforma i part alta del talús (cobertes majoritàriament per sediments grollers (Yoon et al., 1992)) remarca la importància de la ressuspensió i els processos d'exportació del material fi des d'aquestes zones cap a zones més pregones.

La fluctuació de la contribució de material pels dos processos sedimentaris dominants, és a dir, la sedimentació pelàgica de partícules des de les aigües superficials i l'advecció de material prop del fons des de zones més somes, ha estat interpretada com la responsable de la natura laminada dels sediments hemipelàgics. Així un decrement en la definició de les làmines sedimentàries (de nivells foscos, deguts a la proximitat entre les làmines, a nivells massius) pot ser interpretada com una dilució de la contribució de material biogènic procedent de les aigües superficials per material terrigen procedent de zones més somes.

6.2.2. Reconstrucció paleoceanogràfica i paleoclimàtica

La determinació dels processos sedimentaris responsables de l'acumulació dels sediments recuperats a GEBRA-1 i GEBRA-2 ens permet establir la relació entre les condicions oceanogràfiques i climàtiques de la zona d'estudi i la composició química dels sediments acumulats al fons de la conca.

Durant els períodes càlids la quantitat de partícules terrígenes aportades al medi marí per les aigües de fusió epi-, pro-, i subglacials augmenten substancialment. A més, en aquests períodes càlids, amb estius més prolongats durant els quals la superfície roman descoberta de glaç durant més temps, la resuspensió en les àrees somes també s'intensifica. Finalment, la circulació profunda a la Conca de Bransfield, i per tant, l'activitat de les capes nefeloides de fons, pot ser també intensificada durant els períodes càlids. Tots aquests factors afavoreixen el transport prop del fons de material terrigen cap a les zones profundes de la conca. A més la major circulació profunda també pot afavorir la degradació i dissolució de la matèria orgànica i l'òpal biogènic.

Els factors que controlen les floracions de fitoplàncton a les aigües superficials de l'Oceà Austral i per tant també la producció i exportació de material particular són objecte de debat. L'obertura i fusió del gel marí és un factor determinant en la producció ja que permet l'entrada de llum en la part superior de la columna d'aigua (Wefer et al., 1988; Ablemann i Gersonde, 1991; Abelmann, 1992; Dunbar et al., 1998). Les floracions de fitoplàncton no es desenvoluparan doncs durant períodes freds en els que la superfície romangui coberta permanentment pel gel, fet que comportarà un decrement substancial en el flux de partícules biogèniques des de les aigües superficials. El desenvolupament de les floracions és més afavorit pel desenvolupament d'una capa superficial de barreja que per l'augment en la durada de l'estació en la que la superfície es troba lliure de glaç (Leventer, 1991; Mitchell i Holm-Hansen, 1991; Abelmann, 1992; Leventer et al., 1996). La formació d'una capa superficial de mescla està relacionada entre d'altres factors amb la fusió ràpida del gel marí en una àrea extensa (Smith i Nelson; 1985; Fischer et al., 1988), temperatures més elevades durant la primavera i l'estiu (Leventer, 1991) i la reducció de la intensitat dels vents durant la primavera i l'estiu (Dunbar et al., 1998). L'elevat contingut biogènic i l'elevada abundància d'espores de *Chaetoceros* (un gènere de diatomees) en tot el registre sedimentari estudiat (Bárcena et al., 1998) suggereix que, malgrat les fluctuacions climàtiques dels darrers milers d'anys, les condicions que afavoreixen el desenvolupament de floracions fitoplanctòniques s'han donat repetidament durant l'estació càlida en les aigües de l'estret de Bransfield.

Tenint en compte els processos que aporten material particular a les zones profundes de la Conca de Bransfield, la proporció entre el material terrigen i biogènic en els sediments allà acumulats sembla que està més influenciada per les fluctuacions en l'entrada i transferència de material terrigen que per les fluctuacions en la producció primària. Així les èpoques caracteritzades per l'acumulació de sediments massius o poc laminats i rics en material terrigen poden ser interpretats com a períodes més càlids que els períodes caracteritzats per l'acumulació de sediments laminats amb una proporció major de constituents biogènics.

Bárcena et al. (1998) ja havien proposat una primera interpretació paleoclimàtica per a l'evolució dels darrers mil·lenis a la zona de l'estret de Bransfield a partir de la interpretació de les associacions de diatomees dels testimonis GEBRA-1 i GEBRA-2 i havien trobat una relació entre els períodes en què abundaven les espècies típiques de gel marí i les fluctuacions de les glaceres alpines. La interpretació de les dades geoquímiques permet també la identificació d'una sèrie de polsos climàtics molt semblants als identificats per Leventer et al. (1996) a la Conca de Palmer situada també al marge pacífic de la Península Antàrtica però una mica més al sud (Fig. 5.6). La relació entre l'evolució climàtica enregistrada en

aquesta conca i l'evolució deduïda a partir de l'estudi del testimoni de gel de Groenlàndia GISP-2 va ser posteriorment postulada per Domack i Mayewski (1999).

Els polsos climàtics més destacats són comuns als registres de la Conca de Bransfield (GEBRA-1 i GEBRA-2) i al registre de la Conca de Palmer (PD92-30). El refredament a l'inici de la Petita Edat del Gel (LIA, "Little Ice Age") i les fluctuacions dins d'aquest període poden ser correlacionats en tots els nostres registres, especialment en el testimoni GEBRA-2. L'eventual ajustament necessari per obtenir una bona correlació entre els dos registres de la Conca de Bransfield i els registres de la Conca de Palmer i del GISP2 és dins del rang d'error de les datacions per ^{14}C i les possibles fluctuacions en la taxa de sedimentació entre dos punts datats. Algunes de les fluctuacions amb períodes de 200-300 anys identificades per Leventer et al. (1996) entre 2850 anys i l'inici de la LIA poden també ser identificats a la Conca de Bransfield. Finalment cal dir que totes les coincidències identificades entre els registres de la Conca de Bransfield i els de la Conca de Palmer i el testimoni de gel GISP2 de Groenlàndia demostren que els sediments hemipelàgics de la Conca de Bransfield contenen un registre d'alta resolució de les fluctuacions climàtiques globals durant l'Holocè més recent.

Referències citades al capítol 6

- Abelmann, A. i Gersonde, R. 1991. Biosiliceous particle flux in the Southern Ocean. *Mar. Chem.*, 35, 503-536.
- Abelmann, A. 1992. Radiolarian flux in Antarctic waters (Drake Passage, Powell Basin, Bransfield Strait). *Polar Biol.*, 12, 357-372.
- Bárcena, M.A., Gersonde, R., Ledesma, S., Fabrés, J., Calafat, A.M., Canals, M., Sierro, F.J. i Flores, J.A. 1998. Record of Holocene glacial oscillations in the Bransfield Basin as revealed by siliceous microfossil assemblages. *Antarct. Sci.*, 10, 269-285.
- Bodungen, B.V., Smetacek, V.S., Tilzer, M.M. i Zeitschel, B. 1986. Primary production and sedimentation during spring in the Antarctic Peninsula region. *Deep-Sea Res.*, 33, 177-194.
- Brzezinski, M.A. 1985. The Si:C:N ratio of marine diatoms: interspecific variability and the effect of some environmental variables. *J. Phycol.* 21, 347-357.
- Diaz, J.L. i Miranda, J.M. 1997. Tasas de deposición de polvo atmosférico en un área semiárida del entorno mediterráneo occidental. *Estud. Geol.*, 53, 211-220.
- Domack, E.W. i Ishman, S. 1993. Oceanographic and physiographic controls on modern sedimentation within Antarctic fjords. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 105, 1175-1189.
- Domack, E.W., Foss, D.J.P., Syvitski, J.P.M. i McClennen, C E. 1994. Transport of suspended particulate matter in an Antarctic fjord. *Mar. Geol.*, 121, 161-170.
- Domack E.W. i Mayewski, P.A. 1999. Bi-polar ocean linkages: evidence from Late-Holocene Antarctic marine and Greenland ice-core records. *Holocene*, 9, 247-251.
- Dugdale, R.C, Wilkerson, F.P i Minas, H.J. 1995. The role of silicate pump in driving new production. *Deep-Sea Res. I.* 42, 697-719.