

CAPÍTOL 7

CONCLUSIONS

El primer gran experiment amb trapes de sediment fondejades durant gairebé un any (de juliol de 1997 a maig de 1998) a la mar d'Alborán ha aportat informacions trascendents sobre l'origen i els processos de transferència de material particulat en una regió que és a cavall entre la mar Mediterrània i l'oceà Atlàntic. Els fluxos de partícules a la mar d'Alborán estan caracteritzats per

1) una elevada variabilitat espacial, amb mitjanes anuals que oscil·len entre $176 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ (extrem nord de la mar d'Alborán oriental a 1190 m de fondària) i més de $850 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ (centre de la mar d'Alborán occidental a 1310 m de fondària),

2) una elevada variabilitat temporal, amb valors puntuals de fluxos de massa que oscil·len entre $16 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ (abril de 1998 a l'extrem nord de la mar d'Alborán oriental a 1190 m de fondària) i $2360 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ (gener de 1998 al centre de la mar d'Alborán oriental a 510 m de fondària),

3) i una elevada variabilitat en la composició, amb fluxos alts de material litogènic i carbonat de calci a l'hivern, i d'òpal i carboni orgànic a la primavera-estiu.

L'anàlisi combinada dels fluxos de partícules amb dades de corrents marins i cabals de rius, i imatges de concentració de clorofil·la i temperatura de l'aigua superficial, ha permès determinar que els principals factors que controlen l'arribada de material particulat als sediments profunds són les fluctuacions en la productivitat primària, la descàrrega fluvial i el relleu submarí local.

L'arribada de grans quantitats de carboni orgànic i òpal al fons marí durant l'estiu de 1997 i la primavera de 1998 estigué controlada per la dispersió cap al sud i cap a l'est de les masses d'aigua riques en nutrients que havien afluït al sud de la península Ibèrica. El transport de nutrients per la circulació de les masses d'aigua permet el desenvolupament de comunitats fitoplànctòniques riques en diatomees a les aigües superficials i la sedimentació massiva d'agregats de matèria orgànica, amb velocitats de sedimentació mínimes de 155 m d^{-1} . Aquest fenomen d'enriquiment de les aigües superficials comporta que l'eficiència de la bomba biològica a la zona sigui la més elevada de les que s'han enregistrat a la mar Mediterrània, amb un 0,5-0,9% del carboni produït per fotosíntesi a les aigües superficials transferit verticalment i emmagatzemat als sediments profunds a més de 2000 metres. Dins el context de la mar Mediterrània, les estructures hidrològiques superficials de la mar d'Alborán (afluïment i girs d'Alborán) són un dels mecanismes transportadors de carboni cap als sediments profunds més eficaços.

El material terrígen, principal component dels fluxos a la mar d'Alborán, és introduït per les descàrregues fluvials dels rius situats al sud de la península Ibèrica, com en els episodis de finals de la tardor de 1997 i l'hivern de 1997-1998. La connexió directa d'aquests rius amb les parts més profundes de la conca d'Alborán occidental a través de canyons submarins, i la circulació superficial de les masses d'aigua en direcció sud-est, nodreixen d'abundant material litogènic tota la conca.

L'efecte llast proporcionat per aquestes partícules litogèniques en períodes d'elevada productivitat impedeix el procés natural de formació de bari biogènic dins els agregats de matèria orgànica, resultant així una relació entre el bari biogènic i el carboni orgànic (bio-Ba/Corg) molt inferior a l'enregistrada a les regions oceàniques obertes. La diferència notable entre els valors enregistrats en ambients de marge continental (bio-Ba/Corg $\times 100 < 1$ a 2000 m de profunditat) i ambients d'oceà obert (bio-Ba/Corg $\times 100 \sim 2$ a 2000 m de profunditat), suggereix que l'ús del bari biogènic com a indicador global "quantitatiu" de productivitat, és a dir, mitjançant una única equació que vinculi la quantitat de bari biogènic al registre sedimentari amb la producció primària superficial, és una aproximació massa simplista. Calen, doncs, més estudis en contextos fisiogràfics, oceanogràfics i de productivitat diferents. Cal també establir models de la relació entre el bari biogènic i la productivitat primària per a cadascun d'ells.

L'accidentat relleu de la mar d'Alborán afavoreix l'existència de processos laterals de transferència de material. La proximitat al marge continental provoca la gènesi de capes nefeloides intermèdies i de fons originades al talús les quals s'enriqueixen en partícules resupeses per l'acció dels corrents, augmentant així llur concentració en material litogènic i carbonat de calci. En esdeveniments d'elevada productivitat, com els de l'estiu de 1997 o la primavera de 1998, aquestes aportacions laterals també són riques en carboni orgànic, constituint una de les fonts més importants de carboni cap als sediments profunds. Més concretament, un 60-80% del carboni que s'emmagatzema als sediments hauria estat aportat lateralment. L'existència d'aportacions laterals de bari biogènic a la zona més pròxima al marge continental ibèric qüestiona també l'ús del bari biogènic com a indicador directe de productivitat primària a les aigües superficials.

Per tant, quan hom estudia els fluxos de carboni orgànic (o altres indicadors de productivitat com el bari biogènic) prop del fons o en el registre sedimentari cal tenir en compte que una part del "senyal" enregistrat no està directament relacionat amb la producció primària a les aigües superficials. Els estudis integrats de fluxos de partícules a diferents nivells de la columna d'aigua permeten discriminar els processos de transferència laterals i avaluar l'eficiència real de la bomba biològica.

Pensem que les conclusions a les que hem arribat després d'aquest estudi són rellevants per a la comunitat científica dedicada a l'estudi dels sistemes marins, sobretot biòlegs bentònics, sedimentòlegs i paleoceanògrafs. L'estudi de sèries temporals llargues des d'una perspectiva integradora del conjunt del sistema, des de les aigües superficials fins als sediments profunds, ha permès determinar l'origen i els processos de transferència que actuen sobre el material que s'emmagatzema al fons de la mar d'Alborán. L'estudi ha estat centrat en bona part en processos biològics, havent-se utilitzat els fluxos de carboni orgànic com una eina per a calcular l'eficiència de la bomba biològica a la zona. També s'ha prestat atenció preferent a l'avaluació d'un indicador de productivitat usat tradicionalment en el estudis paleoceanogràfics, el bari biogènic. Les nostres línies d'investigació futures es centraran en l'estudi detallat de la fracció terrígena dels fluxos de partícules enregistrats a la mar d'Alborán. El coneixement de la composició en elements minoritaris (Ti, Al, Mn, Cu, Fe, Mg, V, Cr, Cd, Pb, etc.) i terres rares (REE) del material litogènic que sedimenta cap al fons podria aportar informació d'interès sobre llur procedència. Així, potser es podria discriminar exactament la influència de cadascun dels rius, o grups de rius, que incorporen sediments a la mar d'Alborán mitjançant l'estudi combinat de material terrestre de les conques de drenatge, o també avaluar una possible entrada de metalls pesants provinents de la descàrrega dels rius Odiel i Tinto al golf de Cadis.

Aquest estudi, realitzat a partir de la recollida en continu de mostres i dades durant gairebé un any a la mar d'Alborán, també posa de manifest la necessitat d'estudis de sèries temporals encara més llargues per tal d'assolir una visió més precisa dels processos que afecten als sistemes marins. Els experiments amb sèries temporals molt llargues permeten recollir informació contínua de variabilitat estacional, interanual i, fins hi tot, decenal, del tot imprescindible si hom pretén realitzar inventaris acurats de carboni als oceans i determinar llur importància en el canvi climàtic, tal i com demana l'IPPC (cf. Capítol 1). Actualment ja hi han uns quants experiments d'aquest tipus en funcionament com, per exemple, les estacions BATS ("Bermuda Atlantic Time-Series Station") i HOTS ("Hawaii Ocean Time-Series Station"), ambdues del programa JGOFS, que duen ja més de 15 anys recollint dades de fluxos de partícules o, més a prop, les estacions ESTOC ("Estación de Series Temporales Oceánicas de Canarias") i DYFAMED ("Dynamics of Atmospheric Fluxes in the MEDiterranean Sea"), amb més de 10 anys de recollida de dades.