

LA MEDITERRÀNIA OCCIDENTAL

"Mapa litològic i batimètric de la costa de l'Emporda", corresponent als resultats d'un primer assaig de campanya oceanogràfica a la nostra costa, organitzada l'estiu del 1915 per la Institució Catalana d'Història Natural amb la subvenció de la Diputació de Barcelona. (Junta de Ciències Naturals, Anuari 1916, Ajuntament de Barcelona)

(ciència 18

juliol-agost 1982/Volum 2/431) 7

actualment és diferent de les moltes Mediterrànies que han existit i diferent també de les que probablement la seguiran.

Actualment l'única connexió d'aquest mar amb la resta de masses oceàniques que cal tenir sempre en compte és la de l'estret de Gibraltar. Des d'un punt de vista global, la Mediterrània actua com un estuari negatiu: per l'estret de Gibraltar entra aigua atlàntica per la capa més superficial i surt pel fons aigua mediterrània. L'aigua entrant té una salinitat de l'ordre de 36,1 per mil i la sortint de 37,9. Per tant, i resumint, la Mediterrània actua com una conca de concentració: "transforma" l'aigua atlàntica entrant en aigua Mediterrània més densa i salada que s'escola cap a fora. A la conca mediterrània la pèrdua d'aigua per evaporació és més gran que la que rep per la precipitació i els rius, i l'aigua necessària per mantenir l'equilibri hídric la pren de l'Atlàntic. L'equilibri de sal s'obté automàticament ja que la salinitat mitjana de la Mediterrània (que és constant, almenys a escala humana) se situa per sobre de la de l'Atlàntic just el necessari per fer que les expressions de l'equilibri d'aigua i sal es compleixin:

$$V_c + P + R = V_s + E$$
$$S_A \cdot V_c = S_M + V_s$$

on: V_c = volum d'aigua entrant, V_s = volum d'aigua sortint, P = precipitació, R = aigua que entra pels rius, E = evaporació, S_A salinitat de l'aigua atlàntica entrant i S_M = salinitat de l'aigua mediterrània sortint.

Si bé el model d'equilibri anterior és molt simple, respon essencialment a la realitat. De tota manera els detalls dels processos que tenen lloc a Gibraltar, entre el mar d'Alboran i el golf de Cadis, són objecte d'investigació i resulten força complicats². Especialment es fa difícil el seu estudi perquè l'intercanvi d'aigua entre l'oceà i la Mediterrània es produeix en un lloc que té una geometria complicada i que el procés està sotmès als impulsos de les marees. La interacció amb els fons

i les vores no és desdenyable i l'efecte dels vents s'ha de sumar a les forces associades a la tendència a mantenir l'equilibri hidrostàtic entre les dues masses d'aigua en contacte. És per això que l'amplitud de la barreja entre les aigües que entren i surten per l'estret és variable i, per tant, difícil de modelar.

A l'estret de Sicília, que connecta les conques Occidental i Oriental del nostre mar es dona també un intercanvi d'aigua: per sota entra a la Mediterrània Occidental una aigua més salada i per dalt s'escola cap a l'est una aigua ja mediterrània, però barrejada amb una bona dosi d'aigua atlàntica. Des de Gibraltar la salinitat augmenta cap a l'est bastant ràpidament. Fins fa poc s'havia sobreestimat la importància de l'evaporació en el procés, però Bethoux³ va fer veure recentment que en gran part l'augment de salinitat es deu a la barreja de l'aigua atlàntica amb la mediterrània que queda per sota.

La figura ens mostra la circulació general de la Mediterrània en superfície i correspon a un dibuix (aparegut a un article de Lacombe i Tchernia⁴ que ja ha esdevingut clàssic en la literatura sobre aquest mar per les vegades que s'ha copiat. Encara que s'hagi avançat una mica en el coneixement de la circulació de la Mediterrània, l'escala del dibuix tampoc no permet de fer-hi gaires modificacions. Pel que fa a la circulació a un nivell de fondària mitjà, en què juga un paper fonamental l'aigua intermèdia d'origen llevantí (de la conca oriental o llevantina), també el mapa de Wüst⁵, que mostrem a la figura ha esdevingut igualment clàssic. És de domini públic que la Mediterrània no és un mar especialment fèrtil, que es pot considerar més aviat pobre. Es calcula que la mitjana de la quantitat de carboni fixat per les algues del plàncton (fito plàncton) és d'uns 70-80 g C m⁻² any⁻¹. Per comparar podríem dir que mars poc profunds i rics, d'aspecte generalment més verdós, fixen de l'ordre de 100 a 300 g m⁻² any⁻¹, i que les zones riques d'aflorentament on es donen les pes-

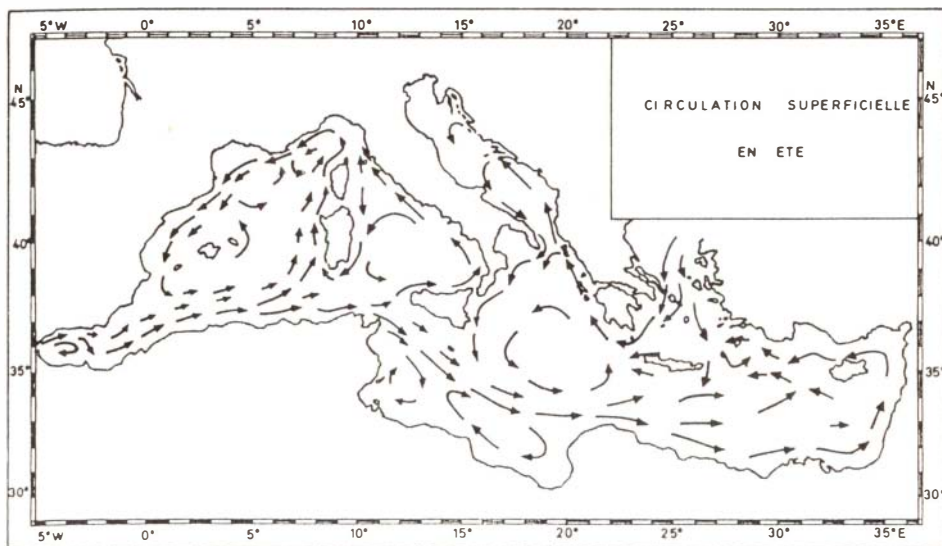
queries mundials més importants (NW d'Àfrica, Sud-àfrica, Califòrnia i Perú) fixen de l'ordre de 600 g C m⁻² any⁻¹. Les selves tropicals tenen una producció semblant o superior i la producció de la resta de boscos ben formats oscil·la entre 150 i 300 g m⁻² any⁻¹. La Mediterrània té una producció superior a la mitjana dels deserts, que és d'uns 50 g C m⁻² any⁻¹, però no gaire més (en alguns indrets és de l'ordre dels 30 g C m⁻² any⁻¹). És per aquesta raó que l'aigua de la Mediterrània és en general tan clara i transparent.

De tota manera, aquests valors estimats de producció primària per la Mediterrània, encara podrien resultar notables si tenim en compte l'íntima quantitat de nutrients disponible⁶. Per altra banda, algunes observacions fetes en altres nivells tròfics permeten sospitar que: o bé la producció primària és molt ben aprofitada pels herbívors (zooplàncton)*, o bé les estimacions de producció són inferiors als valors reals. Com a mínim el que ja sembla clar és que probablement els mars oligotrófics com el nostre exigeixen una metodologia especial (no la mateixa que es pot utilitzar a les zones d'aflorentament tan riques), potser més fina, i també una mentalitat diferent per part de l'investigador.

La pobresa de la Mediterrània es justifica globalment perquè l'aigua que entra en superfície per l'estret és més pobre en nutrients que la que surt per baix, encara que fer un balanç de qualsevol nutrient comporta unes dificultats considerables i encara és un problema no resolt del tot. La producció primària de la biosfera, ja sigui en sistemes aquàtics o terrestres, exigeix la coincidència en un mateix lloc i moment dels elements necessaris per a la fotosíntesi: organismes (algues, plantes), nutrients (font dels elements C, N, P, etc.) i llum. Als sistemes aquàtics, la llum s'extingeix cap al fons quan penetra a l'aigua i per tant la capa il·luminada és la més superficial i com a màxim arriba a tenir un gruix de 50 a 100 metres. La mateixa producció primària que es dona

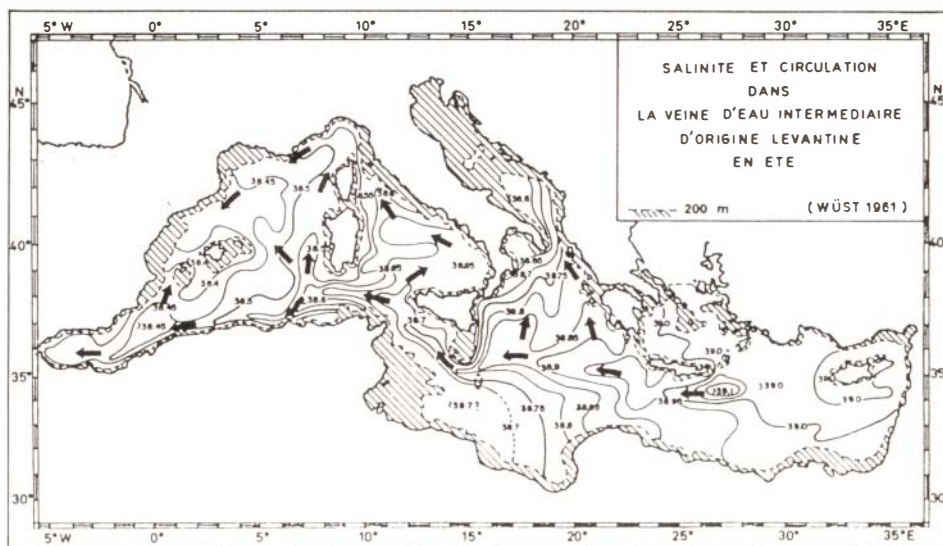
Circulació de les aigües superficials a la Mediterrània (4)

Circulació de l'aigua levantina (5)



en aquesta capa n'escota els nutrients i, per tant, generalment, en aigües tranquil·les, tindrem una zona il·luminada sense nutrients a sobre d'una profunda zona fosca rica en nutrients (els organismes que han incorporat els elements nutritius que estaven dissolts sedimenten quan es moren i es descomponen a la part baixa de la columna de l'aigua).

La producció primària dels sistemes aquàtics depèn, doncs, en gran mesura, de la possibilitat de fer arribar els nutrients a la capa superficial amb llum. Això últim pot donar-se de diferents maneres, però en totes la interacció entre l'atmosfera i el mar juga un paper fonamental. La situació que he descrit de la llum a dalt i els nutrients a baix és la típica de l'estiu. En aquesta època l'aigua s'ha escalfat (per la superfície) i la calor s'ha transmès cap avall per acció del vent i les onades, però com que l'aigua calenta és menys densa que la freda, aquest transport de calor cap avall aviat a causa de la flotabilitat creixent de l'aigua escalfada pel Sol es fa difícil de manera que només s'estén fins a una certa fondària en la qual trobem un canvi vertical de la temperatura molt fort i brusc, la termoclina. S'estableixen, per tant, dues capes superposades, on la superficial és més calenta i menys densa que la de sota, i entre les quals no hi ha gairebé transport d'aigua i per tant tampoc de substàncies dissoltes, com serien els nutrients. Aquesta situació fa que la producció primària disminueixi molt. Quan arriba la tardor, el flux de calor a través de la superfície entre el mar i l'atmosfera s'inverteix i és el mar que cedeix a l'aire la calor acumulada durant l'estiu. El mar es refreda per dalt i l'acció dels vents cada cop més intensos de cara a l'hivern fa que s'igualin a poc a poc les densitats de les dues capes. Finalment, la diferència de densitat és prou petita i l'aigua es barreja fins a una certa fondària de manera que els nutrients tornen a arribar a la superfície (a la Mediterrània Occidental aquest procés de barreja comença a mitjan octubre i acaba a final de novembre). Durant la barreja de tardor la producció del fito-

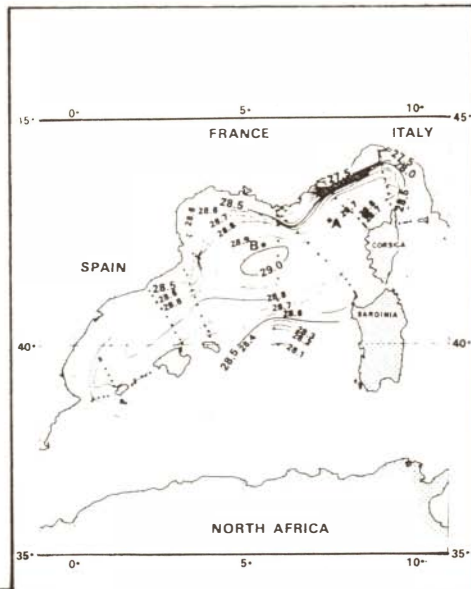


plàncton augmenta. Més tard, amb la barreja continuant a l'hivern però amb menys llum (el Sol és més baix) torna a disminuir la producció, en part perquè les algues del plàncton, que són transportades amunt i avall pels moviments turbulents de l'aigua, passen massa temps fora de la zona il·luminada per poder desenvolupar-se bé. A finals d'hivern o principi de la primavera, en el moment en què comença a establir-se un gradient vertical de temperatura (i per tant de densitat) a causa de la situació atmosfèrica més tranquil·la, els moviments verticals de l'aigua són molt frenats i torna a augmentar la producció primària, que és també afavorida per l'allargament del dia i l'augment de la lluminositat. A mesura que s'acosta l'estiu la termoclina es va enfortint i finalment ens trobem al punt de partida, amb una producció primària baixa ja que els nutrients s'han vist relegats a la zona no il·luminada i freda de sota.

A la Mediterrània Occidental el cicle anual és aproximadament així i en aquest sentit el nostre mar es comporta de manera semblant a com ho faria un gran llac a la zona temperada. De tota manera en un llac podem esperar que l'aigua arribi a tenir temperatures força baixes a l'hivern, fins i tot pot gelar-se per dalt. A la Mediterrània la temperatura de l'aigua no baixa pràcticament mai per sota dels

12,7 °C i si ho fa és en zones reduïdes prop de la superfície en temps molt fred a l'hivern i el fenomen té poca durada. A partir dels 100 metres cap avall, la temperatura de la Mediterrània Occidental es manté durant tot l'any al voltant dels 13° C. Tot això fa veure que no es tracta d'un llac sinó d'un oceà en miniatura, ja que any darrera any es mantenen les característiques de salinitat i temperatura de les diferents masses d'aigua que es poden identificar a la Mediterrània. A la conca Occidental⁷ podem distingir-ne essencialment tres: a) la capa superficial i subsuperficial típica mediterrània amb més o menys influència d'aigua atlàntica, b) la capa d'aigua intermèdia, d'origen oriental, una mica més calenta i més salada que les que estan immediatament per sobre o per sota, que es pot trobar entre 100 i 500-600 metres, i c) per sota s'hi troba l'aigua fonda fins a 2.300-2.600 metres, força homogènia amb una temperatura potencial de 12,7° C, una salinitat entre 38,40 i 38,41 per mil i una $\sigma_t = 29,10$.⁸

El dipòsit d'aigua fonda pràcticament homogènia és, doncs, important. Una de les qüestions que han mogut més investigadors, vaixells i diners en els últims 15 anys probablement deu haver estat la formació d'aquesta aigua fonda⁹. A la Mediterrània hi ha alguns punts on l'aigua superficial és refredada i evaporada (a



Zona de circulació ciclònica al golf de Lleó. Les densitats més elevades es troben al centre (σ_t més gran que 29)(15)

Els vents forts del sector nord que afecten la Mediterrània Occidental (15)



perifèria. Concretament, l'aigua intermèdia és elevada al centre del gir de manera que s'apropa a la superfície. En aquestes condicions els vents freds i forts del nord fan augmentar la densitat de l'aigua superficial fins als valors de la de l'aigua intermèdia. La situació esdevé inestable i uns quants dies de vents forts que poden evaporar 2 cm diaris d'aigua poden fer barrejar tota la columna d'aigua fins als 2.000 metres. Un cop acabada la situació de barreja intensa i restablert l'equilibri, l'aigua profunda formada s'enfonsa i s'estén horitzontalment ocupant el lloc que li pertoca segons la densitat aconseguida (les capes d'aigua s'ordenen una sobre l'altra, de manera que les més denses queden a sota de les que ho són menys). El procés de formació d'aigua profunda es produeix en àrees d'una extensió que va de les 20 a les 60 milles de diàmetre i se suposa que el fenomen es fa i es desfà, aquí i allà, per la zona del golf de Lleó i mar Lligur que abans he assenyalat.

No tots els hiverns són igualment freds ni igualment ventosos, i així, en hiverns successius les quantitats d'aigua fonda formada no són iguals ni tenen exactament la mateixa densitat (o la mateixa salinitat i temperatura). Es trobaran, per tant, en principi, ocupant nivells diferents de forma ordenada, no cronològicament, sinó segons la densitat assolida. De tota manera és extremament difícil distingir les aigües d'anys diferents mitjançant l'anàlisi dels diagrames T-S (temperatura-salinitat, que són els dos paràmetres generalment utilitzats per identificar les masses d'aigua. Tanmateix, les sondes de temperatura i salinitat de gran poder de resolució i exactitud existents actualment han permès abordar l'anàlisi fina de l'estructura vertical de tota la columna d'aigua.

Sembla que el fenomen de la formació d'aigua fonda està relacionat també amb la fertilitat de la Mediterrània Occidental. És probable que l'aigua fonda formada a l'hivern, que s'enfonsa i s'estén, actui com a èmbol empenyent cap amunt el nivell de fondària on es comencen a trobar concentracions importants de nu-

causa del vent fort), en alguns moments durant l'hivern, el suficient per augmentar-ne la densitat fins a uns valors similars als de l'aigua fonda ($V_t = 19,1$) i provocar una barreja vertical intensa, amb un enfonsament net, fins a fondàries de més de 1.000 m. La formació de l'aigua que omple els fons dels oceans mundials es produeix en alguns llocs del Planeta (com per exemple el Mar de Noruega i el mar de Weddell, a l'Antàrtida) i els processos involucrats són de dos tipus: a) refredament intens i augment de la salinitat en aigües sobre el talús on l'aigua que esdevé més densa baixa en cascada cap al fons, b) un procés també de refredament i augment de la densitat en zones una mica més allunyades de la costa; en general el fenomen s'associa a una situació de circulació ciclònica de

l'aigua. És aquest segon fenomen el que principalment es dona al Golf de Lleó, on hi ha quasi permanentment una circulació ciclònica de l'aigua i on, a l'hivern, els vents gelats i fortíssims de tramuntana i mistral refreden i evaporen l'aigua superficial i en fan augmentar la densitat en extensions considerables. Al nord de la línia que uneix Menorca i l'estret de Bonifaci hi ha una circulació ciclònica que ocupa una àrea més o menys el·líptica entre els $41^\circ N$ $3^\circ E$ fins als $43^\circ N$ $8^\circ E$. La força de Coriolis en una circulació ciclònica es dirigeix del centre cap a fora i és compensada per la força associada al gradient de pressió (desnivellament del mar). El resultat és que la superfície del mar està a un nivell lleugerament més baix al centre del gir on trobem aigua més densa que en la

Distribució de la densitat en superfície a la zona estudiada en la campanya CARON-82 del vaixell "Garcia del Cid". Es pot veure el traçat del recorregut del vaixell. Les creus assenyalen els punts on es van fer perfils verticals de temperatura i salinitat.

10 (434/Volum 2/juliol-agost 1982

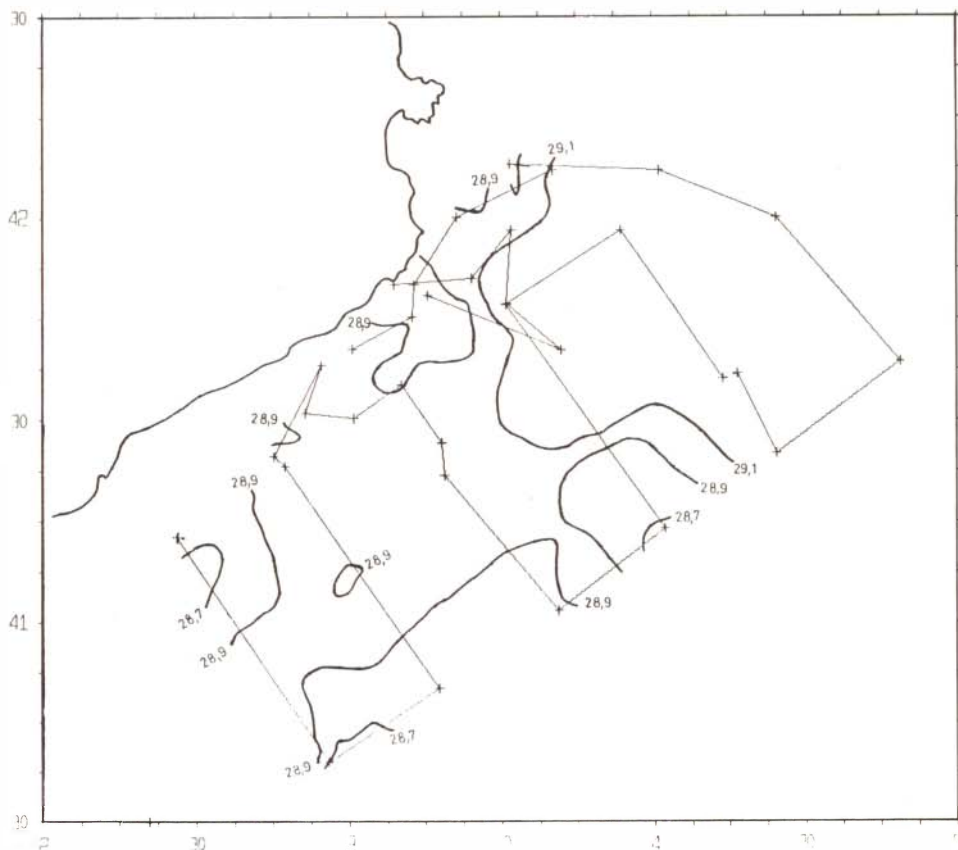
trients. Hi ha evidències que els hiverns més freds han coincidit amb els anys de més producció marina, en part perquè la barreja vertical ha estat més intensa en general pertot arreu, però potser també perquè la quantitat d'aigua fonda formada ha estat més important. Aquesta aigua barrejada és probable que també s'estengui cap al talús i potenciï el seu enriquiment. Tot això són qüestions obertes. A la sessió científica sobre l'"Oceanografia a la Mediterrània Occidental" organitzada per la SCB, la ICHN i la SHNB¹¹ que es va celebrar a la Ciutat de Mallorca la passada primavera vam poder veure que aquests problemes, i d'altres, que planteja la Mediterrània Occidental, són objecte d'estudi per als investigadors dels Països Catalans.

Una de les qüestions obertes és el funcionament de l'atmosfera al voltant del sistema Alpi, al Golf de Lleó i al de Gènova. Precisament aquest any 1982 la meteorologia d'aquesta zona ha estat objecte d'un programa internacional d'investigació intensiva de gran abast¹². Ja el 1932 en Fontseré¹³ escrivia:

"Els Alps, ells tots sols, dominen una bona part de la meteorologia Mediterrània, i adés engeguen vents violents com el Mistral o la Bora, adés influeixen sense remor en la temperatura de les terres properes, adés torcen el camí de les grans perturbacions atmosfèriques, convertint el golf de Gènova en pàtria predilecta de mal temps.

Tots aquests accidents donen a l'atmosfera de la Mediterrània un cert caient de cosa remenada que si per al meteoròleg és sovint motiu de desori, ho compensa oferint en poc espai la més rica varietat de condicions climàtiques".

Aquesta "cosa renenada" és objecte d'estudi per a molts meteoròlegs europeus, com ara l'Agustí Jansà, en J.A. García-Moya i en Clement Ramis del Centre Meteorològic Zonal de Palma que van presentar en aquella sessió ja esmentada de Mallorca una comunicació molt interessant sobre les "situacions típiques de vent fort a la Mediterrània Occidental". En aquella mateixa reunió en Jordi Salat



(oceanògraf de l'Institut d'Investigacions Pesqueres de Barcelona i cap de l'equip CARON¹⁴ va presentar els primers resultats d'un programa de recerca oceanogràfica que tracta d'investigar la formació d'aigua fonda al golf de Lleó, els fenòmens associats, i assajar una metodologia a base de l'anàlisi de les partícules en suspensió a l'aigua que podria permetre identificar millor les diferents masses existents, el seu origen i l'extensió. Entre altres coses, a la primera campanya Caron I portada a terme el mes de març d'aquest any, es va detectar la formació d'aigua fonda en una àmplia zona que s'estenia més al sud-oest que les zones anteriorment detectades pels oceanògrafs d'altres països.

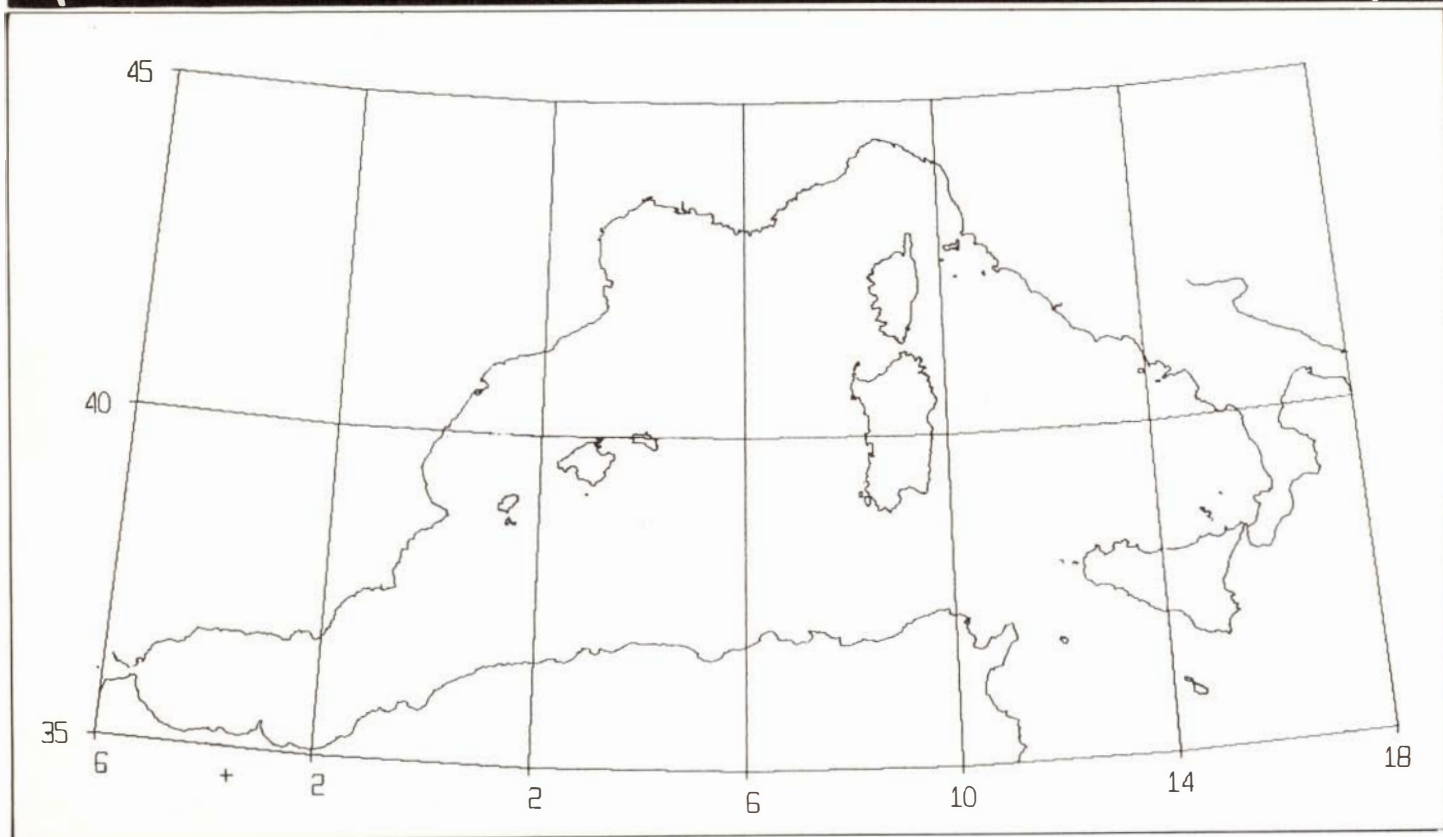
Els corrents permanents en el mar català han estat estudiats (i continuen essent objecte d'estudi) per en Jordi Font i altres oceanògrafs de l'IIP de Barcelona. De tota manera aquest tipus de recerca amb els coneixements actuals demanaria una col·laboració de diferents centres de tota l'àrea de cara a poder disposar de mesures de camp acurades i ben distribuïdes en l'espai.

Quant a la fertilitat de la Mediterrània Occidental i els problemes que planteja, està essent abordada per diferents investigadors i des de diferents punts de vista. Sobre aquesta qüestió, probablement el programa de recerca més interessant i prometedor actualment endegat és el que dirigeix la Marta Estrada, de l'IIP de Barcelona, que es titula: "Dinàmica de la transferència vertical de N, Si i C en el

mar català durant l'època d'estratificació". En aquest programa col·laboren, entre altres investigadors, el Professor Ramon Margalef de la Universitat de Barcelona, i el professor Dugdale, del Bigelow Laboratory de Maine, EUA. En ple estiu, a la Mediterrània Occidental, quan és màxima l'estratificació, la capa superficial del mar és pobre en nutrients i clorofil·la, però aquesta mostra un màxim entre els 60 i els 150 m de fondària associat a màxims d'oxigen i nitrats. El projecte dirigit per la Dra. Estrada pretén establir un balanç del flux de carboni, nitrogen i silici a través dels diferents components del sistema planctònic, avaluant el paper de la fotosíntesi i el flux de nutrients des de les capes profundes, ja sigui aquest per causa de l'advecció o de la seva regeneració *in situ* o bé per la descomposició dels organismes del plancton que es moren.

Per acabar, només vull recalcar que la recerca oceanogràfica al mar català, amb tota la Mediterrània Occidental com a marc, no només ens pot permetre d'entendre millor el funcionament d'aquest mar nostre (i per tant millorar la gestió dels seus recursos i protegir-lo de la degradació), sinó que els fenòmens que s'hi estudien es repeteixen arreu del món, a llocs tan allunyats com l'Antàrtida, el Pacífic Nord o el mar dels Sargassos. Vull dir amb això que l'oceanografia ben feta a casa nostra no és només "ciència casolana" sinó que té una projecció mundial de valor indiscutible.

(Jordi Flos i Bassols)



NOTES:

- 1: B. Biju-Duval i L. Montadert (eds): *International / Symposium on the Structural History of the Mediterranean Basins. Split (Iugoslàvia) 2-29 October 1976*. Editions Technip, París 1977.
- 2: A la zona de l'estret i mar d'Alboran hi han treballat molts investigadors d'arreu del món i especialment els francesos. Dels últims estudis fets a la zona resulten especialment interessants els resultats obtinguts en la campanya Mediproduct IV del vaixell Jean Charcot, portada a terme a la tardor de 1981.
- 3: J.P. Béthoux: *Mean water fluxes across sections in the Mediterranean sea, evaluated on the basis of water and salt budgets and of observed salinities*. *Oceanol. Acta*, 3 (1): 79-88, 1980.
- 4: H. Lacombe i P. Tchernia: *Caracteres hydrologiques et circulation des eaux, a: The Mediterranean Sea; a natural sedimentation laboratory*, editat per D.J. Stanley, Dowden Hutchinson, Ross Inc., 2-36, 1972.
- 5: G. Wüst: *On the vertical circulation of the Mediterranean sea*, "Journal of Geophysical Research", 66 (10): 3.261-3.271, 1961.
- 6: A. Sournia: *La production primaire planctonique en Méditerranée. Essai de mise à jour*, "Bulletin de l'Etude en Commun de la Méditerranée", 5: 1-

- 128, 1973.
- 7: Per a un coneixement més exacte de les masses d'aigua al mar català consulteu: J. Salat i A Cruzado: "Masses d'eau dans la Méditerranée Occidentale: mer catalanne et eaux adjacentes". *Rapp. Comm. int. Mer Médit.*, 27 (6): 201-209, 1981.
- 8: La temperatura potencial (θ) és la que tindria l'aigua d'una certa fondària si la pugéssim fins a la superfície sense intercanvi de calor amb l'aigua del voltant. $\Sigma = (\text{densitat} - 1) \times 1000$. Donar les característiques físiques de l'aigua dels diferents nivells en funció de la temperatura potencial (p.e.: Σ_0), que vol dir corregida per la pressió, permet adonar-se ràpidament si dues masses d'aigua que ocupen diferents nivells estarien en equilibri hidrostatic posant-les l'una al costat de l'altra.
- 9: La primera notícia ben documentada de la formació d'aigua fonda al golf de Lleó va ser publicada al 1970 sobre observacions fetes a final dels anys seixanta (Medoc Group: *Observation of formation of deep water in the Mediterranean Sea*, "Nature", 227:1037-1040, 1970). Des de llavors el tema ha estat estudiat amb una certa intensitat.
- 10: H. Lacombe, J.C. Gascard, J. Gonella i J.P. Béthoux: *Response of the Mediterranean to the water and energy fluxes across its surface, on seasonal and*

- interannual scales*, *Oceanologica Acta*, 4 (2): 247-2, 1981.
- 11: les sigles es refereixen a la Societat Catalana de Biologia, la Institució Catalana d'Història Natural i la Societat d'Història Natural de Balears. La reunió a què s'al·ludeix va ser ressenyada per (ciència).
- 12: Es tracta dels programes ALPEX (Alpine Experiment) i MEDALPEX (subprograma oceanogràfic lligat amb l'anterior). A última hora s'hi va afegir l'Institut Nacional de Meteorologia espanyol que va nomenar l'Agustí Jansà, del Centre Meteorològic Zonal de la Ciutat de Mallorca, el seu representant al programa ALPEX.
- 13: E. Fontseré: "Condicions climatològiques de les costes occidentals de la Mediterrània i en particular de les terres costeres catalanes" (Extret de la ponència sobre *Climatologia de la Mediterrània Occidental*, del Setè Congrés de Metges de Llengua Catalana). *Notes d'Estudi* 49:1-27, Servei Meteorològic de Catalunya, Barcelona 1932.
- 14: L'equip que treballa en el projecte CARON és interdisciplinari i està constituït per personal de l'Institut d'Investigacions Pesqueres de Barcelona i per investigadors de la facultat de Geologia i de Biologia de la Universitat de Barcelona.