

La recerca física sobre el medi marí

Damià Gomis

IMEDEA. Carrer de Miquel Marquès, 21. 07190 Esporles

Departament de Física. Universitat de les Illes Balears. 07122 Palma de Mallorca

damia.gomis@uib.cat

1 Introducció

L'oceanografia física estudia els aspectes físics del medi marí. En principi inclou àrees tan diverses de la física com ara la mecànica de fluids, l'acústica o l'electromagnetisme. Les comunicacions submarines o la mesura dels corrents marins per efecte Doppler es basen en la transmissió de senyals acústics. L'observació des de satèl·lits es basa en les propietats de cos negre dels oceans i en les propietats de reflexió i dispersió de polsos de microones. Però pel que fa als processos, sens dubte, la branca de la física més consubstancial a l'oceanografia física és la dinàmica de fluids. En el nostre àmbit més proper, que és el que abasta aquesta presentació, la recerca en oceanografia física s'ha centrat gairebé de manera exclusiva en la dinàmica marina.

Els darrers vint-i-cinc anys, la investigació sobre el medi marí i, en particular, l'oceanografia física han viscut canvis importants. A més dels canvis tecnològics, que d'una manera o altra han afectat totes les àrees de la física, han aparegut nous temes de recerca, alguns d'ells tan rellevants com el del canvi climàtic. En l'àmbit dels territoris de parla catalana, la recerca sobre el medi marí s'ha beneficiat també de la creació de nous instituts de recerca i, per tant, de més capital humà. Tot plegat s'ha traduït en un augment significatiu de la productivitat científica i, sobretot, de la visibilitat de l'oceanografia física, que tradicionalment havia viscut a l'ombra de la biologia i la química marines. Al llarg de les seccions següents es revisen els aspectes més importants dels canvis esmentats. No se'n vol fer una anàlisi exhaustiva, però sí que es pretén que serveixi, almenys, per documentar-ne els trets més rellevants.

2 Canvis més significatius en la recerca física del medi marí els darrers vint-i-cinc anys

La investigació de la física dels oceans ha tingut sempre un vessant experimental essencial. En el camp de la dinàmica marina, per exemple, hi ha hagut desenvolupaments teòrics rellevants, però el marc teòric general que es fa servir és essencialment el mateix que fa vint-i-cinc

anys. Els avenços en el coneixement dels processos han vingut sobretot de la mà de dos factors. D'una banda, i potser el més important, les millores en l'observació, millores que s'han produït no tant en la precisió dels sensors com en la capacitat de poder observar «més». Concretament, l'automatització dels instruments emprats per a l'observació *in situ* i, sobretot, el desplegament de satèl·lits artificials han revolucionat l'observació dels oceans, basada fins aleshores en campanyes oceanogràfiques puntuals i en instruments fondejats. D'altra banda, l'altre factor que hi ha influït ha estat l'augment de la capacitat de càlcul. Fa vint-i-cinc anys era impensable, per exemple, fer simulacions numèriques a cent anys vista amb la resolució espacial a què es fan avui dia. També les xarxes de comunicació han tingut un paper important i han fet possible, per exemple, la distribució de dades observades en temps real. Aquests canvis es comenten amb més detalls a les seccions següents.

2.1 Automatització de sensors per a l'observació *in situ*

Fins fa poc, l'única manera d'observar l'oceà era a partir de campanyes oceanogràfiques a bord de vaixells. Fa vint-i-cinc anys ja existien els CTD (de l'anglès, *conductivity, temperature and depth*); es tracta de dispositius equipats amb sensors de conductivitat elèctrica (a partir de la qual es pot deduir la salinitat), temperatura i pressió (a partir de la qual es pot deduir la fondària). Els CTD, que s'arrien fins al fons i es tornen a pujar (així mesuren les propietats físiques de tota la columna d'aigua), van significar en el seu dia un avenç fonamental enfront de la presa de mostres d'aigua, que donava una visió molt més discreta en la vertical d'aquestes propietats. De llavors ençà, s'ha millorat la precisió dels sensors però els canvis no han estat tan revolucionaris com el pas de les ampolles al CTD. La revolució s'ha produït, en tot cas, en la instal·lació de CTD en dispositius autònoms com ara els anomenats planadors o les boies de deriva.

Els planadors (*gliders* en anglès) són vehicles autònoms submarins equipats amb CTD i altres sensors de mesura, sensors de posicionament per GPS i disposi-

tius de comunicació. Els planadors no disposen de propulsió, tan sols d'un èmbol que modifica el seu volum de tal manera que la densitat mitjana de l'aparell es faci lleugerament major o lleugerament menor que la de l'aigua del mar. El disseny aerodinàmic del vehicle fa la resta: quan aquest s'enfonsa o guanya altura depenent de si l'èmbol està contret o expandit, no ho fa verticalment, sinó que també avança en l'horitzontal, descrivint una trajectòria en forma de dent de serra. Així, el planador avança i mostreja amb gran resolució espacial una secció vertical predeterminada. El sistema de posicionament i un timó li permeten corregir el rumb en cas que els corrents marins o altres factors el desviïn. Els sistemes de comunicació permeten interactuar amb el planador des de terra i canviar-li les ordres en qualsevol instant; d'aquesta manera es pot mostrear una regió sense necessitar un vaixell. La limitació més important dels planadors és la fondària. Per evitar col·lisions amb el fons a zones poc fondes i també per mantenir una resolució espacial adient, se li sol limitar el «vol» a uns centenars de metres de fondària. Una altra limitació és la durada de la bateria; de tota manera, val a dir que aquest any un planador ha assolit el repte de fer una secció des de la costa est d'Amèrica del Nord fins a les costes atlàntiques europees.

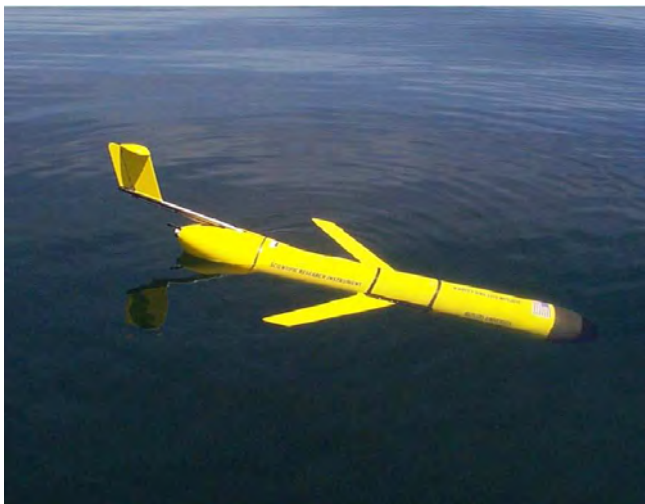


Figura 1: Planador de la Universitat de Rutgers (EUA), la primera institució que ha aconseguit que un planador travessi l'Atlàntic (<http://marine.rutgers.edu/mrs/projects/oceanrobots.htm>)

Un funcionament paregut als planadors és el de les boies de deriva, equipades també amb sensors de mesura, de posicionament i de transmissió. Una primera diferència, però, és que les boies sí que s'enfonsen i pugen en la vertical. El moviment horitzontal es limita a la deriva causada pels corrents marins durant el temps que la boia està inactiva. I és que l'altra gran diferència respecte als planadors és que les boies no mesuren en continu: cada deu dies es programa un ascens, durant el qual la boia obté un

perfil de totes les variables; una vegada es troba en la superfície, transmet les dades per satèl·lit i després torna a la seva fondària d'equilibri a esperar el nou ascens al cap de deu dies més. D'aquesta manera s'aconsegueix que la bateria tenguí una durada d'uns quants anys (3-5), al cap dels quals la boia es perd. El sistema més important de boies de deriva és l'ARGO (<http://www.argo.ucsd.edu/>, <http://www.coriolis.eu.org/>): a dia d'avui hi ha més de 3.000 boies en actiu.

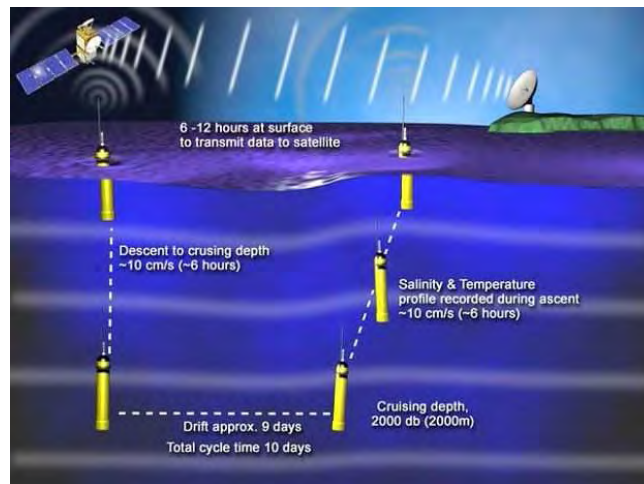


Figura 2: Esquema del funcionament de les boies de deriva ARGOS

2.2 La revolució de l'observació remota

L'avenç més important de les darreres dècades pel que fa a l'observació dels oceans és, sens dubte, l'observació remota a partir de satèl·lits artificials. Els primers sensors instal·lats a bord de satèl·lits van ser els radiòmetres, sensors passius (es limiten a rebre, no envien senyals) capaços de mesurar la temperatura superficial del mar a partir de la teoria del cos negre aplicada a la radiació electromagnètica provinent de l'oceà i mesurada a diferents longituds d'ona de la banda infraroja. Des de principis de la dècada dels vuitanta es disposa de mapes de temperatura superficial de manera rutinària i amb una resolució espacial que depèn de si els satèl·lits són geostacionaris o d'òrbita polar, però que se situa al voltant del quilòmetre quadrat. La precisió de les mesures és, sens dubte, molt inferior a la de les mesures in situ (de l'ordre de $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ enfront dels $0,005\text{ }^{\circ}\text{C}$ típics d'un sensor de CTD), però el gran avantatge és que s'observen d'una manera continuada i global tots els oceans del planeta. Els inconvenients són, en primer lloc, que no es poden obtenir mesures en presència de cobertura nuvolosa, la qual cosa limita molt l'observació a latituds altes. El segon inconvenient, comú a totes les observacions satel·litàries, és que només es pot observar la superfície del mar, no l'interior, perquè l'oceà és opac a la radiació electromagnètica.

Dintre de la categoria dels radiòmetres cal esmentar

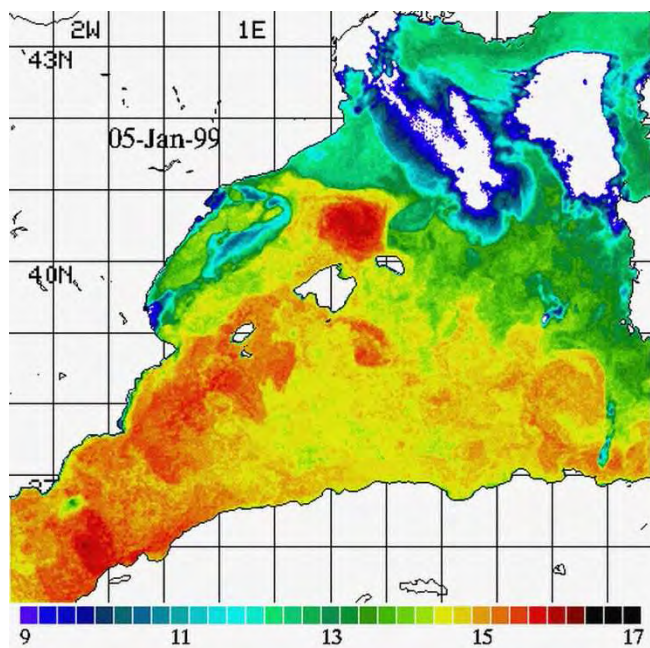


Figura 3: Mapa de temperatura superficial mesurada des d'un satèl·lit. Les zones blanques corresponen a núvols que no deixen passar la radiació electromagnètica del mar

també les observacions del «color» de l'oceà, una qualificació que reben els continguts de clorofil·la i altres pigments orgànics. Aquests continguts es poden determinar també a partir de la radiació electromagnètica rebuda en diferents longituds d'ona i amb una resolució espacial similar a la de la temperatura superficial. La importància del color de l'oceà és sobretot en el camp de la biologia marina, però també serveix com a indicador de processos dinàmics importants, com els afloraments costaners o els intercanvis d'aigua entre una plataforma i el mar obert.

Més recentment s'han desenvolupat sensors actius, que no es limiten a rebre la radiació que prové de l'oceà, sinó que envien un pols (típicament de microones) i examinen el pols reflectit per la superfície de l'oceà. A partir de la dispersió del pols reflectit es pot determinar, per exemple, la «rugositat» del mar (és a dir, l'altura de les onades i, a partir d'elles, el vent); a partir del temps transcorregut entre els pols emès i el pols rebut es pot determinar la distància entre el satèl·lit i l'oceà i, coneixent molt bé l'òrbita del satèl·lit, el nivell del mar. La precisió d'aquestes mesures altimètriques és de pocs centímetres, mentre que la resolució espacial és diversa. El pols emès té una «petjada» d'uns quants quilòmetres quadrats i per tant no es pot granar tot el planeta. Els productes solen consistir en interpolacions espacials de les dades obtingudes sobre les traces, la separació de les quals depèn del període de repetició (com més juntes estiguin les traces, més trigarà el satèl·lit a mostrejar tota l'esfera terrestre). Un avantatge notable dels sensors actius és que els pols

de microones travessen sense problemes la cobertura nuvolosa.

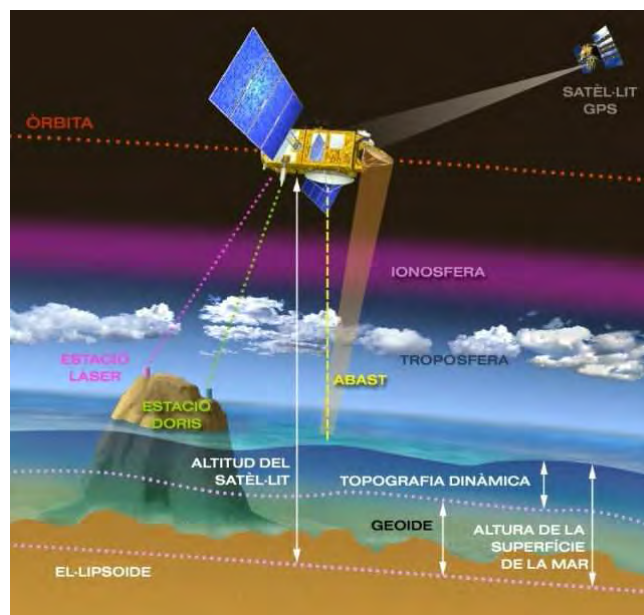


Figura 4: Esquema de com es mesura el nivell del mar a partir d'un satèl·lit artificial (imatge adaptada de http://earth.eo.esa.int/brat/html/alti/principle/basic_en.html)

Hi ha, encara, altres tipus de mesures satel·litàries. L'any 2002 es va llançar el primer satèl·lit gravimètric (la missió GRACE) que permet mesurar variacions de la massa dels oceans degudes, per exemple, a la fusió de gels continentals. La precisió no és gaire bona i la resolució espacial és de l'ordre dels centenars de quilòmetres, però són les úniques mesures directes de les variacions de massa i, per tant, essencials. El successor de GRACE (la missió GOCE, que tindrà una resolució espacial d'uns 100 km) ja està a punt de llançar-se.

El llançament rellevant més recent va tenir lloc el 2009, quan l'Agència Espacial Europea va posar en òrbita el primer satèl·lit capaç de mesurar la salinitat superficial del mar (SMOS). Més de vint-i-cinc anys després d'obtenir les primeres mesures de temperatura des de l'espai, s'han pogut obtenir mesures de salinitat. Aquí cal esmentar que la temperatura i la salinitat són les dues variables fonamentals que condicionen la densitat de l'aigua i, per tant, bona part de la dinàmica marina. Tot i que la precisió de les mesures de l'SMOS és molt menor que la dels sensors in situ (1 PSU, enfront de les 0,005 PSU típiques d'un sensor de CTD) i la resolució espacial és també pobre (entre 100 km i 200 km), les mesures de salinitat des de l'espai constitueixen una fita important en la història de l'oceanografia física. Val a dir que la part de la missió SMOS dedicada a salinitat (que també mesura la humitat sobre terra) ha estat dirigida des de l'Institut de Ciències

del Mar de Barcelona (vegeu secció 4.2).

Els exemples donats fins aquí són els més importants, però no els únics. Sí que cal dir que les mesures de sensors remots s'han fet indispensables en el camp de l'oceanografia física. La continuïtat, sistemàtica i globalitat d'aquestes dades les fa especialment útils per a l'oceanografia operacional, però també per als estudis climàtics. El seu potencial per a l'estudi de processos, sobretot combinades amb mesures *in situ*, també és molt gran.

2.3 L'augment de la potència de càlcul i les xarxes de comunicacions

Hi ha molts de tipus d'estudis que abans eren impensables i que han esdevingut possibles gràcies a l'augment de la potència de càlcul. Entre aquests destaquen les simulacions numèriques i, de manera especial, les integracions de llarg abast temporal. Les projeccions climàtiques, per exemple, que integren les equacions d'un model baroclínic d'equacions primitives per un període de cent anys i que triguen entre un parell de setmanes i un parell de mesos en un supercomputador com el Mare Nostrum, eren del tot impossibles fa vint-i-cinc anys. Les simulacions barotròpiques (2D) o d'onatge, que abans eren costoses, ara triguen menys d'una setmana a una granja de desenes d'ordinadors personals per obtenir projeccions de cent anys. Paral·lelament a la capacitat de càlcul (i sortosament) ha augmentat també la capacitat d'emmagatzemar dades: si fa vint-i-cinc anys es manejava Mb de dades, ara es manegen Tb.

Un altre avenç fonamental per a les iniciatives d'oceanografia operacional, per exemple, ha estat la millora de les xarxes de comunicacions: les boies de deriva, els mareògrafs, els satèl·lits, etc. Pràcticament tots els instruments poden transmetre dades en temps real a una estació central, ja sigui via ràdio, per telefonia mòbil o via satèl·lit. D'aquesta manera es pot disposar de dades en temps real a través de servidors: un exemple és la xarxa d'estacions de mareògrafs, boies i radars de Puertos del Estado (http://www.puertos.es/es/oceanografia_y_meteorologia/redes_de_medida/index.html).

3 Temes clau de la recerca en oceanografia física i reptes actuals

La relació de temes d'interès de l'oceanografia física actual és tan gran com en qualsevol altra disciplina. Des de fenòmens locals fins a fenòmens globals, des d'escalles de temps de minuts fins a escales de temps de segles: el ventall és immens. La comunitat científica dels territoris de parla catalana no s'ha limitat a estudiar fenòmens locals, sinó que ha participat i participa en els grans temes generals als quals s'enfronta l'oceanografia física. De les rissagues que es produeixen sobretot a Menorca fins a l'estudi de l'oceà Antàrtic; des d'aspectes teòrics d'interacció

entre vòrtexs fins a aplicacions a la dinàmica costanera; des de l'escala de segons que domina la turbulència de les capes superiors de l'oceà fins a les variacions climàtiques a escala de mil·lennis, etc. És del tot impossible, per tant, fer una relació exhaustiva dels temes clau. En aquesta secció només es pretén donar una pinzellada sobre alguns d'aquests temes que han pres una rellevància especial en les darreres dècades.

3.1 Oceanografia operacional

Quan es parla del medi marí resulta inevitable establir un paral·lelisme amb l'atmosfera. I és que les equacions de la física que governen l'atmosfera i l'oceà són essencialment les mateixes, només difereixen en els valors dels diferents paràmetres, com ara la densitat, i en el fet que a l'interior de l'atmosfera es produeixen canvis de fase de l'aigua (i per tant, bescanvis de calor), mentre que al mar aquests canvis només es produeixen a la superfície. La qüestió és llavors: per què no som capaços de predir l'estat del mar com es prediu el temps atmosfèric? És a dir, per què l'oceanografia operacional es troba en una fase embrionària, mentre que la meteorologia operacional ja fa dècades que està implantada de manera efectiva? La resposta són les condicions inicials: mentre que l'atmosfera es mesura de manera continuada i intensa (milers d'estacions de superfície, llançament de globus sonda cada dotze hores, mesures de satèl·lit, etc.), els oceans tenen una xarxa d'observació molt més pobre. I sense conèixer l'estat inicial del sistema es fa inviable predir-ne l'estat pels dies o per les setmanes següents.

Això fa que l'oceanografia operacional no sigui encara un fenomen global: està implantada de manera efectiva només a unes quantes regions especialment ben mostrejades. Les dades que alimenten els sistemes operacionals provenen de la xarxa de boies ARGO esmentada abans, de boies de superfície i altres instruments fondejats, de planadors, de satèl·lits i també de vaixells d'oportunitat; es tracta de vaixells comercials que cobreixen línies fixes i en els quals s'han instal·lat sensors (típicament CTD i correntòmetres Doppler) que mesuren i transmeten les dades de manera automàtica mentre el vaixell fa la seva ruta.

En l'àmbit regional més proper hi ha hagut i hi ha diverses iniciatives per fer prediccions operacionals. Una de les pioneres va ser el projecte MFSTEP (<http://mfstep.bo.ingv.it/>), un projecte finançat per la Unió Europea i que va assajar les possibilitats d'implantar un sistema operacional per a tota la Mediterrània. Durant els tres anys que va durar el projecte es van oferir prediccions de distintes variables i se'n va avaluar la qualitat, però la iniciativa no va acabar de reeixir en un sistema operacional permanent. A l'Estat espanyol i arran del vessament del Prestige, es va dur a terme una iniciativa similar que abastava totes les costes espanyoles: el projecte ESEOO (<http://www.esooo.org/>). Aquest pro-

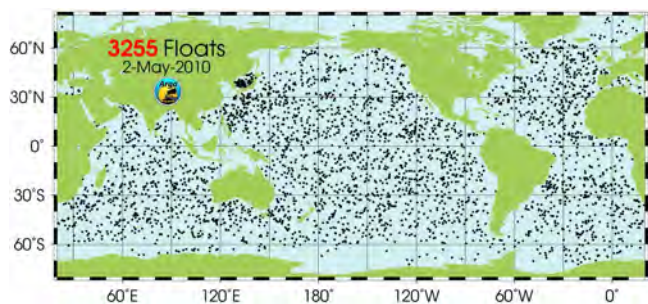


Figura 5: Posició de les boies de deriva ARGO en el moment d'escriure aquest text (obtingut de: <http://www.argo.ucsd.edu/>). Les boies ARGO són un dels ingredients importants de l'oceanografia operacional

jecte tampoc ha acabat de reeixir en un veritable sistema operacional. Potser el sistema que funciona d'una manera més operacional avui dia és el de Puertos del Estado (http://www.puertos.es/es/oceanografia_y_meteorologia/predicciones/index.html), que prediu cada sis hores el nivell del mar i l'onatge per a totes les costes de la península Ibèrica i els dos arxipèlags. No es prediuen, però, ni la temperatura, ni la salinitat ni els corrents marins. També Meteocat (<http://www.meteocat.com/>) fa previsions d'onatge de manera operacional per a les costes mediterrànies.

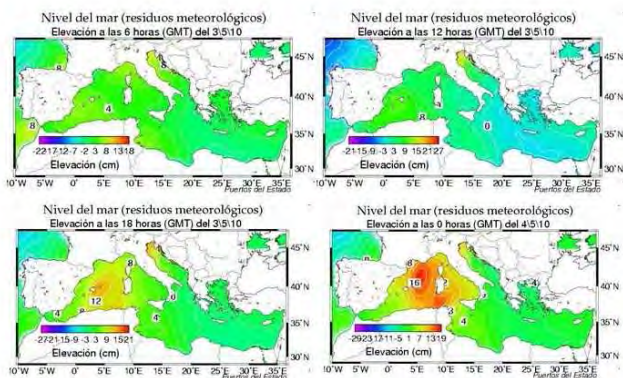


Figura 6: Previsió de nivell del mar feta per Puertos del Estado el dia 3 de maig de 2010 a les 00.00 h (GMT) per al dia següent (http://www.puertos.es/es/oceanografia_y_meteorologia/predicciones/index.html)

Una iniciativa més recent i en un àmbit més restringit és el Sistema d'Observació Costanera de les Illes Balears (SOCIB), una gran infraestructura científica finançada pel govern de l'Estat espanyol i el govern de les Illes Balears (<http://www.socib.es/>). L'objectiu és emular el que es fa ja en algunes regions del planeta: bastir una xarxa d'observacions prou densa (a partir de boies, planadors, instruments fondejats, satèl·lits i altres observacions periòdiques in situ) per permetre una predicció numèrica fiable de l'es-

tat del sistema a dies i/o setmanes vista. Aquesta iniciativa es coordinarà de manera efectiva amb Puertos del Estado i altres agències, però anirà més enllà en el sentit que mesurarà i predirà un ventall molt més ampli de variables.

Sens dubte, bastir un vertader sistema operacional és un dels grans reptes de l'oceanografia actual. El seu avenç discorrerà paral·lelament a l'avenç de les xarxes d'observacions i, per tant, hi pot haver canvis significatius en el termini d'una o dues dècades. No cal oblidar que les estructures dinàmiques marines són, com a mínim, un ordre de magnitud més petites que les seves equivalents atmosfèriques, la qual cosa implica haver de disposar d'una xarxa d'observacions molt densa en l'espai.

3.2 Interacció física-biologia, el repte d'explicar bona part de la variabilitat biològica observada a partir de les condicions físiques

Que les distintes disciplines que estudien el mar no ho poden fer de manera independent és sabut de fa temps. A mesura que avança la comprensió dels processos, però, la seva interrelació es fa més i més palesa. El bescanvi de gasos amb l'atmosfera, des de l'oxigen fins al CO₂, depèn (a més de la relació entre les concentracions atmosfèrica i marina) de les propietats hidrodinàmiques locals. Molts aspectes de la biologia marina també estan clarament condicionats per les propietats hidrodinàmiques i químiques. La física és la menys condicionada per la química i la biologia però a llarg termini, per exemple, l'escalfament de l'oceà depèn de les concentracions atmosfèriques de CO₂ i per tant, en darrera instància, dels bescanvis d'aquest gas entre l'atmosfera i l'oceà. A escala més local, els patrons biològics poden ser uns indicadors molt útils de processos físics difícils de mesurar, com les velocitats verticals. El ventall de processos en els quals les interrelacions física-química-biologia tenen un paper fonamental és, per tant, molt ampli. Les darreres dècades han vist un augment molt significatiu de la recerca marina interdisciplinària i cal suposar que seguirà en augment en el futur.

3.3 Els oceans i el canvi climàtic

Sens dubte, un dels temes que han esclatat en els darrers vint-i-cinc anys és el del canvi climàtic. Tot i que sovint s'identifica el clima amb només un dels seus components, l'atmosfera, els oceans també hi tenen un paper cabdal. La raó és que, malgrat que la velocitat dels corrents marins és dos ordres de magnitud inferiors als vents atmosfèrics, la immensa massa dels oceans i la gran capacitat calorífica de l'aigua enfront de la de l'aire fan que els oceans transportin quantitats de calor similars a les que mou l'atmosfera. A més, la lentitud dels processos oceànics els dona el paper de «memòria del clima»: els oceans tarden molt més que l'atmosfera a sentir els canvis, però, una vegada aquests canvis es fan efectius, perduren molt més temps. Per això, el futur del clima depèn

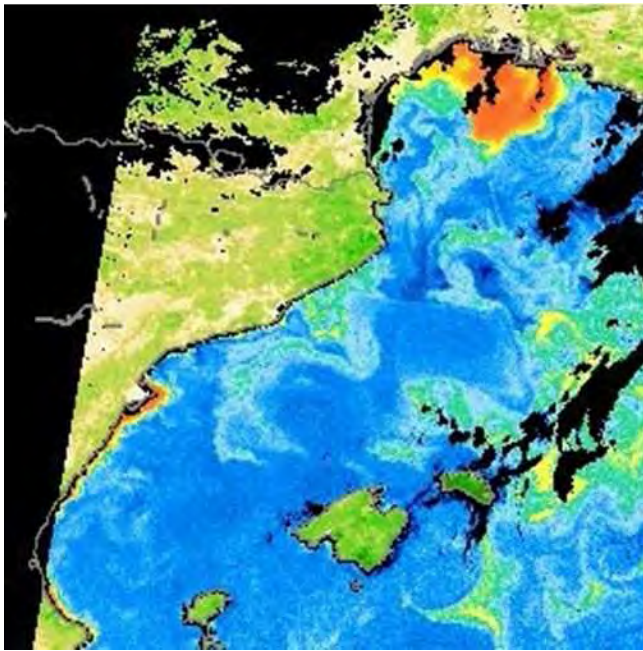


Figura 7: Imatge del «color» de la Mediterrània nord-occidental que mostra l'abundància de clorofil·la i altres pigments (el codi de colors va del blau —poca— al vermell —molta— abundància). La relació entre la física i la biologia es fa palesa per la correlació entre l'abundància de clorofil·la i les estructures dinàmiques de la regió (remolins i filaments). Les zones negres es deuen a la cobertura nuvolosa (i als límits de la imatge)

de manera crítica dels canvis que es puguin produir, per exemple, en la circulació termohalina, la gran correntja de transmissió de calor que discorre a l'interior dels oceans de tot el planeta.

Tots els estudis actuals tenen en compte el paper actiu dels oceans (a més d'altres components com la biosfera) sobre el clima. Els resultats d'aquests estudis mostren també els canvis que ja s'estan produint en els paràmetres físics fonamentals dels oceans com ara la temperatura, la salinitat o el nivell del mar. Les darreres dècades s'ha treballat molt en els dos terrenys (el paper actiu que té l'oceà en el canvi climàtic i les conseqüències d'aquest canvi sobre el medi marí). En el cas de la Mediterrània, per exemple, la Unió Europea ha finançat projectes importants tant en l'àmbit de la modelització numèrica estrictament física com en l'àmbit de l'acoblament de models biològics i físics per determinar els impactes sobre els ecosistemes. També en el camp del nivell del mar s'està treballant per obtenir projeccions futures més acurades.

Els models globals de l'IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) donen una idea dels canvis a gran escala que cal esperar però no tenen prou resolució espacial per poder determinar els canvis a escala regional. I molt menys a la Mediterrània, on els processos a nivell

de conca (començant per la connexió a l'oceà global a través de Gibraltar) són de petita escala. Això fa que les projeccions futures s'estiguin fent d'acord amb models regionals d'alta resolució espacial acoblats (en la seva frontera atlàntica) a models globals. S'espera obtenir projeccions regionals d'aquests estudis que ajudin a adoptar estratègies de mitigació dels impactes, tant sobre el medi físic costaner (causats sobretot per canvis en l'onatge i per la pujada del nivell del mar) com sobre els ecosistemes (causats sobretot per canvis en la temperatura i també en la salinitat).

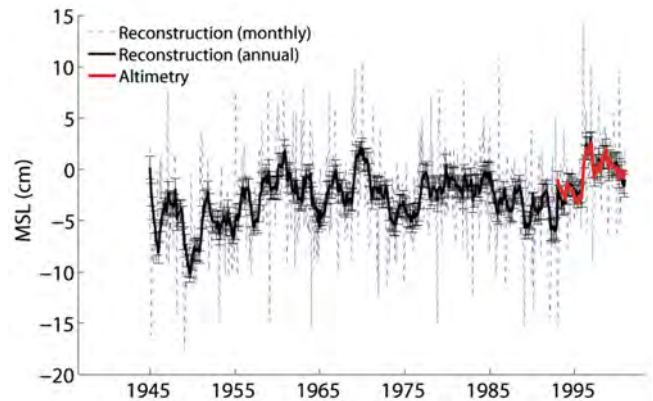


Figura 8: Mitjana del nivell del mar a la Mediterrània durant les darreres dècades. A partir de 1993 es mesura en tota la conca a partir de dades d'altimetria satel·litària. Per al període anterior s'ha reconstruït emprant dades de mareògrafs costaners

4 Institucions cabdals en l'àmbit dels territoris de parla catalana

En els territoris de parla catalana hi ha institucions i grups de recerca de prestigi internacional en l'estudi de les ciències marines. No es pretén fer-ne una relació exhaustiva, però sí que es volen anomenar, al manco, els instituts de recerca en ciències marines i els principals departaments universitaris que també fan recerca en oceanografia física.

4.1 El centre de l'Institut Espanyol d'Oceanografia (IEO) a les Illes Balears

Per antiguitat, la primera institució dedicada a l'estudi de les ciències marines va ser el centre regional de l'IEO a Portopí, Mallorca, fundat l'any 1914 (<http://www.ba.ieo.es>). Si bé l'IEO ha tingut un component fonamentalment de suport a l'activitat pesquera espanyola, també ha desenvolupat una activitat important en oceanografia física. Actualment, el centre compta amb una vintena d'investigadors i altres tècnics i estudiants de doctorat. Té un vaixell de recerca amb base a Palma (l'*Odón de Buen*, de 23 m d'eslora) i entre els sis grups de recerca n'hi ha un de dedicat a la hidrodinàmica.

Entre les diverses activitats que desenvolupa en el camp de la física, cal destacar les mesures periòdiques que es duen a terme a una sèrie de radials entre les illes i entre les illes i la península. Aquestes mesures són part d'un programa més ampli que cobreix bona part de les costes de l'Estat espanyol. Les sèries, que tenen ja una antiguitat de gairebé quinze anys, permeten estudiar la variabilitat decennal. L'objectiu últim és continuar-les en el temps i que serveixin d'indicadors fonamentals per a la detecció i la quantificació del canvi climàtic.



Figura 9: Centre de l'Institut Espanyol d'Oceanografia a Portopí, Palma

4.2 L'Institut de Ciències del Mar (ICM) de Barcelona i l'Institut d'Estudis Avançats (IEA) de Blanes

L'Institut de Ciències del Mar de Barcelona (<http://www.icm.csic.es/>) pertany al Consell Superior d'Investigacions Científiques (CSIC). Va ser fundat l'any 1951 amb el nom d'*Instituto de Investigaciones Pesqueras* i actualment és l'institut de recerca marina més gran de l'Estat espanyol, amb gairebé dos-cents investigadors (prop de vuitanta científics, cinquanta estudiants de doctorat i uns setanta tècnics). L'any 2001, quan es va traslladar de la seu històrica de la Barceloneta a la Vila Olímpica, l'ICM va passar a ser un dels dos membres del Centre Mediterrani d'Investigacions Marines i Ambientals (CMIMA, <http://www.cmima.csic.es/>). L'altre membre és la Unitat de Tecnologia Marina (UTM, <http://www.utm.csic.es/>), també dependent del CSIC. La UTM és la responsable de la logística de tots els vaixells del CSIC i de les infraestructures polars espanyoles.

El personal de l'ICM es divideix en quatre departaments, un dels quals és el d'oceanografia física. Entre les seves línies de recerca es poden destacar l'estudi de la circulació oceànica de gran escala i també a escala Mediterrània, la mesura de la salinitat per satèl·lit (la missió SMOS, a la qual ens hem referit a la secció 2.2) i el processament d'altres dades de satèl·lit, l'assimilació de dades, la dinàmica de mesoescala i la relació entre física i biologia.

A més a més, l'ICM edita una revista indexada, *Scientia Marina*, l'única revista SCI en ciències marines editada a Espanya. També disposa d'infraestructures singulars

que li permeten oferir una sèrie de serveis tècnics a empreses i administracions. Un dels vaixells del CSIC, el *García del Cid*, de 37 m d'eslora, té la seu a Barcelona i ha estat sempre molt lligat a la recerca de l'ICM. Finalment, l'ICM també disposa d'un observatori costaner que duu a terme observacions permanents de distintes variables (temperatura, salinitat, onatge, corrents, etc.) a la franja més propera a la costa.



Figura 10: Nou edifici del Centre Mediterrani d'Investigacions Marines i Ambientals (CMIMA) a Barcelona, que allotja l'Institut de Ciències del Mar (ICM) i la Unitat de Tecnologia Marina (UTM), tots dos del CSIC

L'Institut d'Estudis Avançats de Blanes (<http://www.ceab.csic.es/>), també del CSIC, va ser fundat l'any 1985. De dimensions menors que l'ICM de Barcelona (de l'ordre de noranta persones entre plantilla, contractats i associats), les seves línies de recerca se centren més en l'ecologia i la biologia d'organismes, tant de sistemes marins com d'aigües continentals. Tot i així i a causa de la interdisciplinarietat de què s'ha parlat a la secció 3.2, hi ha aspectes de la seva recerca centrats en les interrelacions entre el medi físic i els ecosistemes.

4.3 L'Institut Mediterrani d'Estudis Avançats (IMEDEA)

L'IMEDEA (<http://imedea.uib-csic.es/index.php>) és el més recent dels instituts de recerca en ciències marines. En aquest cas és un centre mixt entre la Universitat de les Illes Balears i el CSIC, amb seu a Esporles (Mallorca). Després que el seu embrió, l'Institut d'Estudis Avançats fundat l'any 1985, passés diverses vicissituds, el 1995 va ser refundat ja amb el nom actual. En aquell moment, l'IMEDEA el formaven unes quantes desenes de científics dividits en dues línies fonamentals: la de recursos naturals, amb un pes molt important de les ciències marines, i la de física interdisciplinària. El 2007, cadascuna de les dues línies es va constituir en un institut diferent; la línia de recursos naturals, però, va conservar el nom d'IMEDEA. Actualment, a l'IMEDEA hi treballen més d'un centenar de científics, entre personal de plantilla, contractats, tècnics i becaris.

Dels quatre departaments en què està dividit, a dos

d'ells es fa recerca en oceanografia física: el de Tecnologies Marines, Oceanografia Operacional i Sostenibilitat (en un àmbit més costaner), i el d'Ecologia i Recursos Marins (en un àmbit més de mar oberta). Entre les línies de recerca es poden anomenar les d'oceanografia operacional i dinàmica costanera (lligades al SOCIB; vegeu secció 3.1), i les de nivell del mar i interacció física-biologia. L'IMEDEA també lidera una línia de recerca oceanogràfica a l'Antàrtida, amb components de la física, la química i la biologia. Tot i la seva joventut, l'IMEDEA ha esdevingut un centre capdavanter en l'àmbit de les ciències marines a escala estatal i un centre de referència internacional, al mateix nivell que l'ICM de Barcelona.



Figura 11: *Seu de l'Institut Mediterrani d'Estudis Avançats (IMEDEA) a Esporles, Mallorca. Es tracta d'un centre mixt entre la Universitat de les Illes Balears i el CSIC*

4.4 La recerca a les universitats

A més dels instituts de recerca dedicats a les ciències marines, a les universitats hi ha grups fent recerca lligada d'alguna manera a l'oceanografia física. En primer lloc, hi ha el Grup d'Oceanografia Física del Departament de Física de la Universitat de les Illes Balears, els membres del qual estan també adscrits a l'IMEDEA i, per tant, la seva recerca ja ha estat descrita dintre de la secció dedicada als instituts de recerca. A part d'aquest grup, potser el més important per la seva magnitud i per haver-se constituït en un centre d'investigació és el Laboratori d'Enginyeria Marítima (LIM, <http://lim-ciirc.upc.es/>), adscrit al Departament d'Enginyeria Hidràulica, Marítima i Ambiental de la Universitat Politècnica de Catalunya. La recerca que es fa al LIM és la que correspon a una escola d'enginyeria: clima marítim, contaminació marina i en estuaris, enginyeria oceanogràfica i portuària, gestió de la zona costanera i els seus recursos i hidrodinàmica i morfologia costaneres. El LIM gestiona una infraestructura singular: el canal d'onatge de 100 m (integrat a la xarxa de grans infraestructures europees) i també la xarxa d'instruments oceanogràfics de la Generalitat de Catalunya (<http://www.xiom.cat/>). També a la Universitat

Politécnica de València es fa recerca important en els mateixos camps.

Altres grups, més petits, són el del Departament de Matemàtica Aplicada de la Universitat d'Alacant, que treballa en geodèsia i altimetria satel·litària aplicades al nivell del mar, i també la recerca que es fa a la Universitat Catòlica de València, lligada a la morfodinàmica de platges. Sense fer de l'oceanografia física l'objectiu principal, però fent recerca relacionada amb ella, es poden destacar el grup de Geociències Marines de la Universitat de Barcelona, el de Paleoclima de la Universitat Autònoma de Barcelona o el de Tractament d'Imatges de Satèl·lit de la Universitat de València.



Figura 12: *Canal d'onatge del Laboratori d'Enginyeria Marítima, al campus de la Universitat Politècnica de Catalunya*

5 El tema de l'ensenyament

L'oceanografia física es mostra sobretot a les facultats de Ciències del Mar. Les principals de l'Estat són a Las Palmas, Cadis i Vigo. En el nostre àmbit més proper s'ha implantat recentment un grau en Ciències del Mar a la Universitat Catòlica de València, però cap universitat pública, ni dels territoris de parla catalana ni de tot l'arc mediterrani espanyol, s'ha afegit a la idea. El que sí que hi ha és un segon cicle en Ciències del Mar a la Universitat d'Alacant, més centrat en la biologia que no en la física marines, i al qual s'accedeix des del primer cicle de diferents carreres. A Barcelona hi ha també un tercer cicle en Ciències del Mar, amb la participació de la Universitat de Barcelona, la Universitat Politècnica de Catalunya i l'Institut de Ciències del Mar, que s'imparteix en col·laboració amb la Facultat de Ciències del Mar de Las Palmas de Gran Canària.

Dintre dels plans d'estudis de Física, l'oceanografia física no és una assignatura comuna ni hi ha especialitats dedicades a l'oceà, mentre que sí que n'hi ha de dedicades a la física de l'atmosfera. De fet, en el nostre àmbit més proper només es pot fer una assignatura anomenada Océ-

anografia Física a la Universitat de les Illes Balears. A la Universitat de Barcelona (UB) i a la Universitat Autònoma de Barcelona (UAB) es tracten alguns aspectes de física dintre d'altres assignatures. Així, per exemple, dins del grau de Geologia, l'assignatura Geologia Marina té una part d'oceanografia física; també en tenen les assignatures d'Ecologia Marina i Gestió del Sistema Litoral, que pertanyen als estudis de Biologia i Ciències Ambientals, respectivament.

Aquestes carències en l'ensenyament fan que els grups de recerca en oceanografia física es nodreixin fonamentalment de llicenciats en Física (als quals s'han de mostrar fonaments d'oceanografia) o llicenciats en Ciències del Mar importats de les tres facultats principals de l'Estat espanyol. Tot i que en ciència la mobilitat és sempre desitjable, sovint hi ha problemes per trobar personal especialitzat que pugui treballar com a contractat en projectes concrets, sobretot a nivell postdoctoral. En l'àmbit dels territoris de parla catalana, aquest és, potser, el contrapunt més important a l'expansió que ha experimentat la recerca en oceanografia física els darrers vint-i-cinc anys.