

COM S'EXPLORA EL FONS I EL SUBSÒL MARÍ?

EINES I APLICACIONS EN GEOCIÈNCIES MARINES

Eulàlia Gràcia i Susana Díez

HOW DO WE EXPLORE THE SEAFLOOR AND SUB-SEAFLOOR? TOOLS AND APPLICATIONS IN MARINE GEOSCIENCES. MORE THAN 70% OF EARTH'S SURFACE IS COVERED BY THE OCEANS, HOWEVER, THERE IS LITTLE IN-DEPTH KNOWLEDGE OF THEIR SUBMARINE TOPOGRAPHY, INTERNAL STRUCTURES AND ACTIVE PROCESSES. PROGRESS IN MARINE GEOSCIENCES IS CLOSELY LINKED TO TECHNOLOGY AND THE DEVELOPMENT OF SPECIALIZED INSTRUMENTATION FOR GEOPHYSICAL EXPLORATION. THUS, THE TECHNOLOGICAL REVOLUTION THAT HAS TAKEN PLACE OVER RECENT YEARS WILL ALLOW US TO GAIN A BETTER UNDERSTANDING OF THE HISTORY AND EVOLUTION OF OUR PLANET.

■ PER QUÈ ESTUDIEM EL FONS I EL SUBSÒL MARÍ?

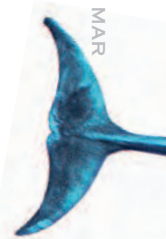
Dues terceres parts de la superfície del nostre planeta estan cobertes per aigua. Si buidéssim tota l'aigua de les conques oceàniques, se'ns revelaria una complexa fisiografia dominada pel sistema de dorsals oceàniques que encerclen tot el globus entre profundes planes abissals, fosses i muntanyes submarines. Els fons oceànics es caracteritzen per tenir una topografia molt més acusada que els continents: l'elevació mitjana dels continents és de 850 m, mentre que als oceans és de 3.800 m, i fins i tot arriba als 11.000 m a la fossa de les Marianes, al Pacífic Oest. Aquestes diferències entre zones continentals i oceàniques també es reflecteixen en l'edat de les roques que s'hi troben. Així, les roques més antigues que es troben als fons oceànics són de fa 170 m.a. (juràssic mitjà), molt més "joves" que als continents, on podem arribar a trobar roques de fins a 3.700 m.a. d'antiguitat (precambrià). Això en bona part és motivat per a la dinàmica de les plaques litosfèriques, que provoca que l'escorça oceànica més vella es destrueixi i recicli al llarg dels marges convergents o zones de subducció, i contínuament se'n generi de nova al llarg de les dorsals oceàniques.

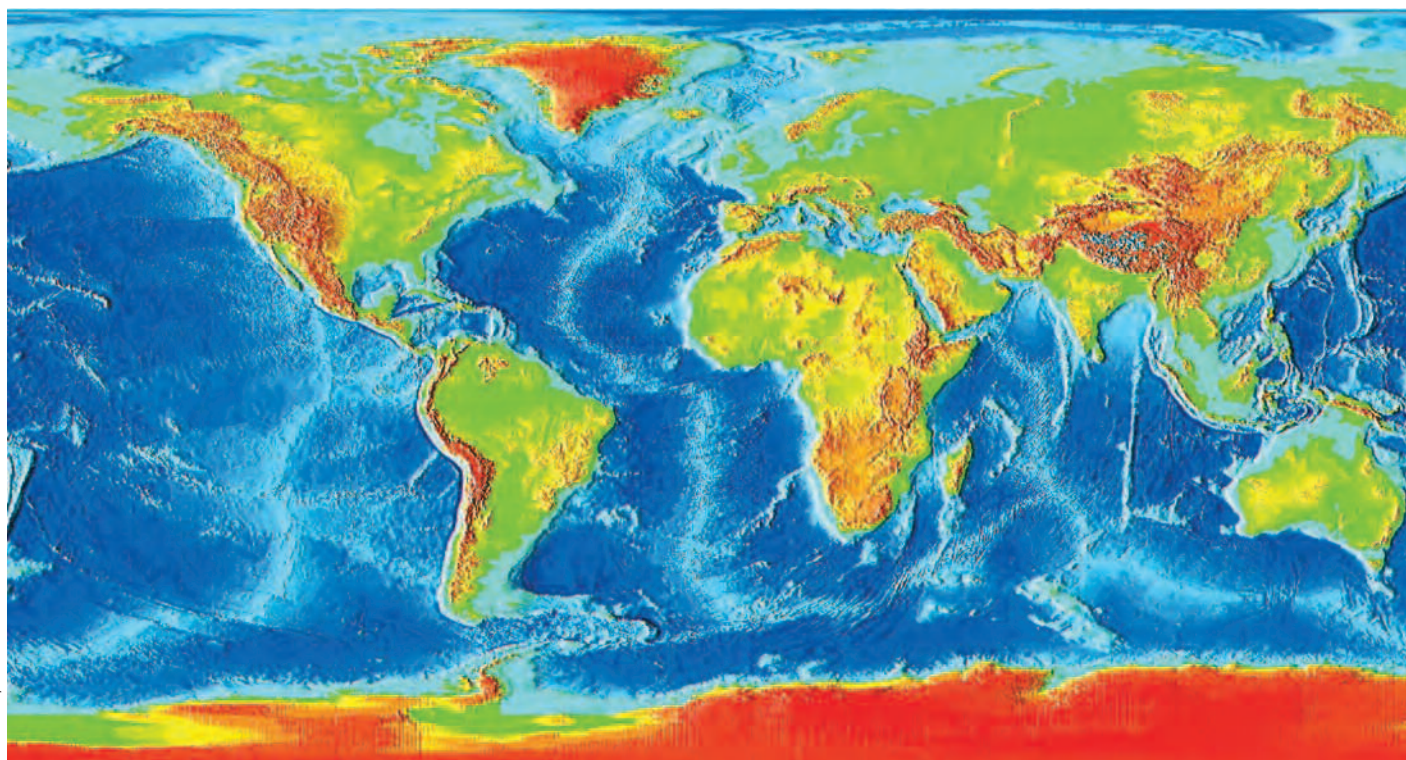
Els fons dels oceans són el terreny d'estudi d'una bona part dels investigadors en geociències marines, incloent-hi des de les platges i llacunes costaneres, travessant la plataforma continental fins a les profundes conques oceàniques. L'objectiu principal de la geologia i geofísica marines és comprendre l'estructura dels fons oceànics i dels diferents tipus de processos que s'hi esdevenen, per a un millor coneixement sobre la

història i evolució del nostre planeta. D'aquesta manera, les exploracions realitzades durant els anys seixanta en l'oceà profund mitjançant instrumentació marina especialitzada varen permetre desenvolupar extraordinàriament el nostre coneixement sobre la Terra i van representar un paper fonamental en l'establiment de la moderna teoria de la tectònica de plaques.

Però hi ha altres raons que ens porten a estudiar el fons dels oceans, que, a més, tenen importants implicacions per a la societat. Als fons dels oceans s'hi produeixen diversos processos actius, com la deformació tectònica i la sismicitat, el vulcanisme, el flux de masses, i la circulació de fluids, els quals determinen un risc geològic potencial (terratrèmols, tsunamis, esclavissades submarines) en les zones costaneres dels marges continentals. Aquestes són les àrees més poblades del planeta, on viu un 50% de la població mundial. La mitigació dels riscos de la deformació tectònica requereix un coneixement profund de la dinàmica dels marges i conques oceàniques. Una altra raó, aquesta amb implicacions geopolítiques, són els recursos naturals. Les companyies petrolieres porten ja anys extraient el petroli de la plataforma i talús continental, però l'extraordinari avenç en instrumentació marina ha permès a aquestes companyies explorar en conques cada vegada més profundes l'explotació de petroli i altres combustibles fòssils (gas, hidrats de gas) que s'emmagatzemen dins els sediments.

Com que els geòlegs i geofísics marins no podem passejar-nos sobre els afloraments per a treure'n mostres i fer mesures directament sobre el fons (excepte si anem en submergible, és clar), per a poder estudiar





© Sandwell / Smith

Mapa del relleu terrestre. La fisiografia del fons dels oceans és complexa i és formada pels següents elements: els marges continentals, continuació dels continents sota el mar; les dorsals oceàniques, serrada contínua al mig dels oceans; les fosses oceàniques, a la vora de continents o d'arc d'illes; les cadenes de muntanyes submarines i les planes abissals.



Nòduls d'hidrats de gas entre sediments marins. Els hidrats de gas són substàncies similars al gel, on molècules d'hidrocarburs (principalment metà) queden atrapades en una xarxa de molècules d'aigua. Els hidrats de gas conserven l'estabilitat sota unes condicions de baixa temperatura i elevada pressió, com en els marges continentals. La seva dissociació pot incrementar la inestabilitat dels talussos i generar grans esllavissades submarines.

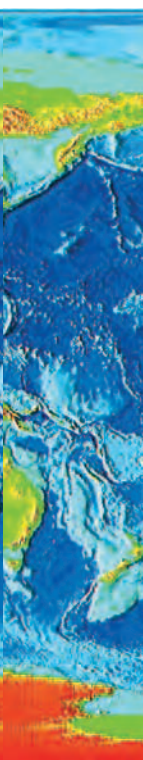
el fons i subfons marí ha calgut desenvolupar una metodologia molt especialitzada que normalment dirigit des d'un vaixell oceanogràfic. El progrés en les geociències marines està profundament lligat a la innovació tecnològica i als avenços en la instrumentació, amb el desenvolupament de sofisticats sistemes d'exploració geofísica. En aquest article us presentarem quines són les principals eines i tècniques que utilitzem en la recerca en geociències marines, i les seves principals aplicacions. Abans, però, recordarem els fonaments de l'exploració del fons dels oceans.

■ UNA MICA D'HISTÒRIA...

Gairebé tot el que sabem sobre la geologia dels oceans ha estat descobert durant els darrers cinquanta anys, profundament lligat al progrés tecnològic. Els fonaments d'aquesta era d'exploració oceànica varen començar fa més de 150 anys amb les primeres expedicions científiques. Així, durant el viatge del *Beagle* (1831-1836), les observacions de Charles Darwin sobre l'origen de les espècies i la teoria de l'evolució varen definir les bases per a les futures exploracions sobre la història de la Terra. De fet, durant aquell viatge Darwin ja va fer unes primeres especulacions sobre el moviment dels fons marins per explicar l'origen dels atol·lons de corall. El coneixement sobre la batimetria, o topografia del fons dels oceans, començà a mitjan del

© Daniel Desbroyères, IFRIMER

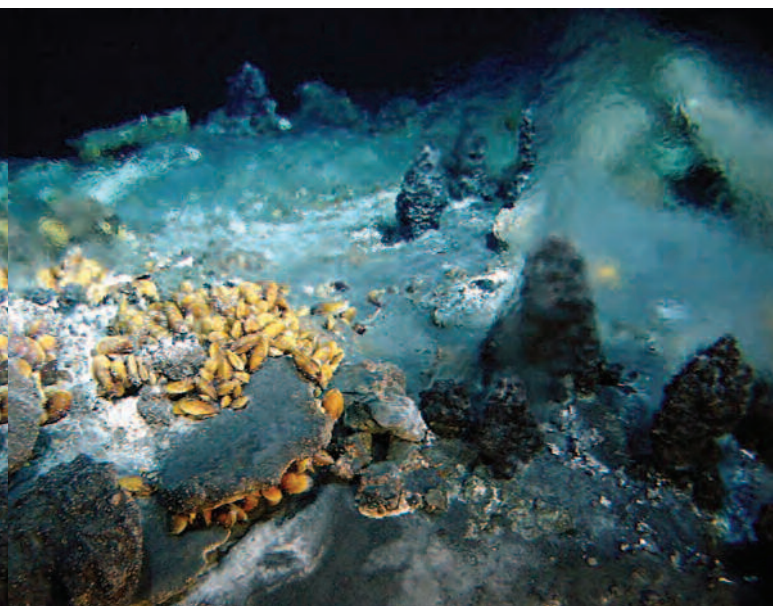




1800, amb els sondeigs profunds, que consistien a mesurar la profunditat a partir del llançament d'un pes lligat a una corda suficientment llarga. D'aquesta manera, en James Ross, durant una expedició a l'Antàrtida amb els vaixells *Erebus* i *Terror*, va descobrir un fons màxim de 4.430 m i va poder descobrir les considerables profunditats de les conques oceàniques. En aquesta època, i empès per les necessitats de la navegació comercial, els sondeigs batimètrics es van fer extensius, i Maury va publicar el primer mapa batimètric de l'Atlàntic Nord entre 10° S i 52° N a partir de tan sols 180 mesures. Aquest mapa va servir de base per instal·lar els primers cables de telègraf transatlàntics.

L'expedició de la Royal Society of London a bord del *Challenger* (1872-1876) amb la finalitat de determinar les condicions del *deep sea* (mar profund) en totes les grans conques oceàniques, va representar un salt significatiu en l'establiment de les bases de la geologia marina. Més de 500 sondeigs batimètrics i 133 dra-

**«ELS FONS OCEÀNICS
ES CARACTERITZEN PER TENIR
UNA TOPOGRAFIA MOLT
MÉS ACUSADA: L'ELEVACIÓ
MITJANA DELS CONTINENTS
ÉS DE 850 M MENTRE QUE
ALS OCEANS ÉS DE 3.800 M»**



Paisatge del fons marí a l'eix de la dorsal Medioatlàntica on esdevenen processos d'activitat hidrotermal d'alta temperatura mantinguts pel refredament de l'escorça oceànica. Ecosistemes extrems quimiosintètics colonitzen les roques al voltant de les fonts hidrotermals. Aquestes emeten fluids de fins a 350° C de temperatura rics en partícules en suspensió de les quals obtenen l'aliment els organismes colonitzadors.

gues varen ser obtingudes en 362 estacions (una cada 200 milles), dades que van aportar les bases del reconeixement dels principals tipus de sediments marins, les seves classificacions i models de distribució al llarg de tots els oceans. El 1912 el meteoròleg alemany Alfred Wegener va promoure la teoria de la deriva continental que, després d'intenses discussions amb altres investigadors de l'època, va caure en desprestigi per culpa de la manca d'informació essencial sobre la geologia i geofísica dels oceans. Un dels majors avenços de l'època d'entreguerres va ser el desenvolupament de l'ecosonda electrònica per mesurar les profunditats oceàniques, mètode que va reemplaçar els sondeigs amb cable, lents i sovint incorrectes. L'any 1931, amb l'expedició del *Meteor*, la cartografia del fons dels oceans fa un pas endavant. A partir de nombrosos perfils d'ecosonda, es va comprovar l'existència d'una cresta tot al llarg de la zona al bell mig de l'oceà Atlàntic, la qual cosa va permetre descobrir la dorsal Medioatlàntica com a part del sistema global de dorsals.

La Segona Guerra Mundial té efectes clau en el desenvolupament de l'oceanografia, i, per tant, de les geociències marines. Així, en relació amb l'armament antisubmarí, la recerca sobre la transmissió del so en l'aigua s'expandeix notablement i s'estableixen les bases per als estudis sísmics dels sediments marins. Cap als anys cinquanta la tècnica de l'ecosonda es refina i és possible de mesurar les profunditats més grans del planeta amb gran precisió, per exemple detectant canvis d'un metre en una fondària de 5.000 m. La cartografia de les conques oceàniques, conjuntament amb la interpretació de les anomalies magnètiques oceàniques, porta al desenvolupament de la teoria de la tectònica de plaques i d'expansió oceànica durant els anys 1960, que marca un abans i un després en la geologia i geofísica marina. El coneixement del fons dels oceans, però, també ha anat lligat a la cursa tecnològica espacial. Diferents satèl·lits (Geosat, ERS1) mesuren detalladament la superfície de l'oceà per proporcionar dades que són directament relacionables amb anomalies gravimètriques (vegeu figura 1). Aquestes dades d'altimetria satèl·litària ens permeten explorar amb una excel·lent resolució grans extensions de conques oceàniques o d'àrees remotes mai cartografiades.



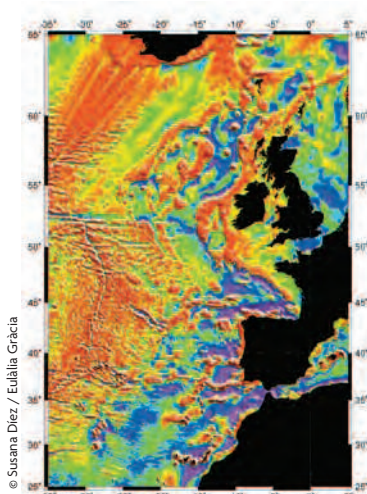


Figura 1 (a l'esquerra). Mapa d'anomalies gravimètriques de la regió de l'Atlàntic Nord extret a partir de les dades del satèl·lit Geosat. S'hi identifica una clara anomalia positiva (en color vermell) al llarg del relleu positiu de la dorsal Medioatlàntica, mentre que les conques i zones deprimides es corresponen amb anomalies negatives (colors blaus i liles).

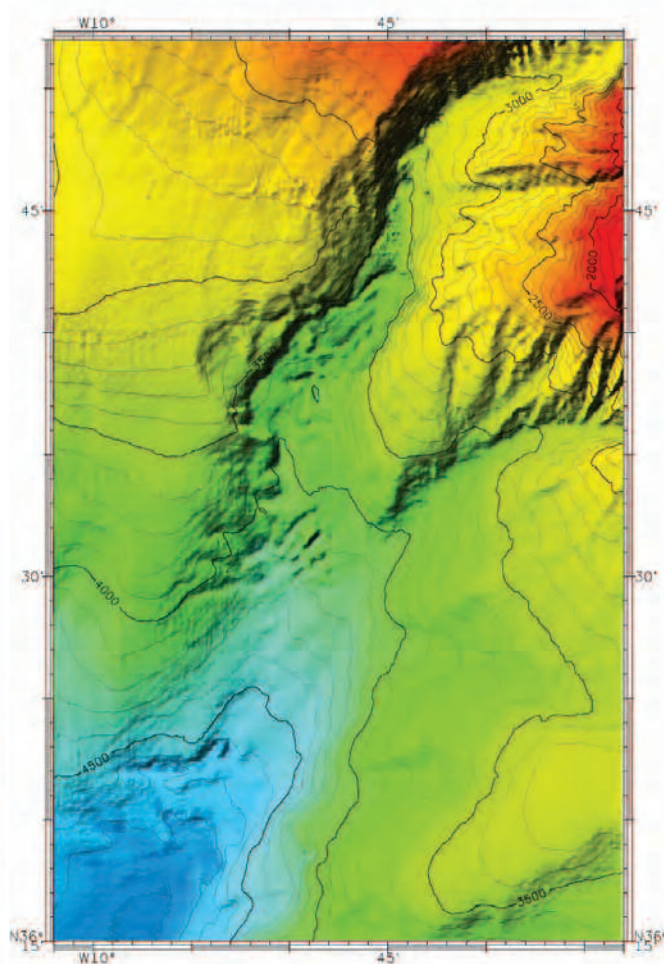
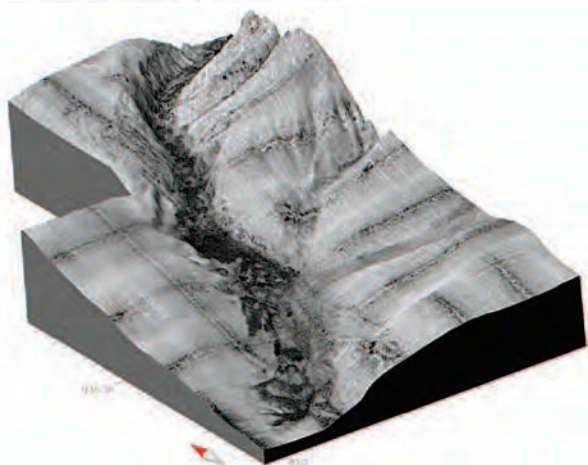


Figura 2: a) A la dreta, mapa batimètric ombrerat del canyó de São Vicente (marge Sud de Portugal) des de la part alta fins a la seva desembocadura a la plana abissal (4.900 m de fondària). Les línies de contorn, o isòbates, es tracen cada 100 metres. Color vermell < 2.000 m; color blau fosc > 4.500 m de profunditat (modificat de Gràcia i altres, 2003). b) A l'esquerra, bloc diagrama on les dades de reflectivitat acústica estan sobreimposades a la topografia. Les tonalitats fosques al fons de canyó corresponen a zones d'elevada reflectivitat (sorres, fragments de roca, etc), mentre que les tonalitats clares als marges del canyó corresponen a zones menys reflectives, de sediment homogeni i fi. Les traces rectilínies corresponen a la trajectòria del vaixell.

■ EINES I TÈCNiques ACTUALS D'EXPLORACIÓ EN GEOCIÈNCIES MARINES

Els instruments que normalment utilitzem en les campanyes de geologia i geofísica marines els podem agrupar en dos grans grups: instrumentació acústica i geofísica, i instrumentació per al mostreig i mesures *in situ*. El primer grup comprèn els mètodes indirectes (acústics i geofísics), principalment basats en la propagació i recepció d'ones que es transmeten en la columna d'aigua i en el subsòl.

Un dels sistemes més utilitzats és l'ecosonda multifeix, que ens aporta informació sobre la topografia (o batimetria) del fons marí en metres. Aquest sistema, situat a la quilla del vaixell, es basa en l'emissió d'un pols sonor a una elevada freqüència i la recepció de l'eco per desenes de transductors. L'avantatge de

les sondes multifeix és que permeten cartografiar grans superfícies del fons marí en poc temps, ja que poden "escombrar" àrees d'una amplada fins a set vegades la profunditat d'aigua. Així, si treballem en una zona a 3.000 m de fondària, l'amplada màxima de fons que es cobrirà és de 21 km. De l'eco rebut s'obtenen dos tipus de dades: profunditat i reflectivitat acústica. Aquestes dades ens permeten identificar les principals morfologies i morfoestructures del fons, i determinar el tipus de fons a partir de les imatges acústiques, respectivament (vegeu figura 2).

Un altre sistema que sovint utilitzem és el sonar d'escombratge lateral. Es tracta d'un vehicle remolcat pel vaixell que s'arrossega a prop del fons. El sonar transmet dos amples feixos acústics a ambdós costats del vehicle, perpendiculars a la trajectòria del vaixell. En aquest cas la dada que se n'obté és la reflectivitat

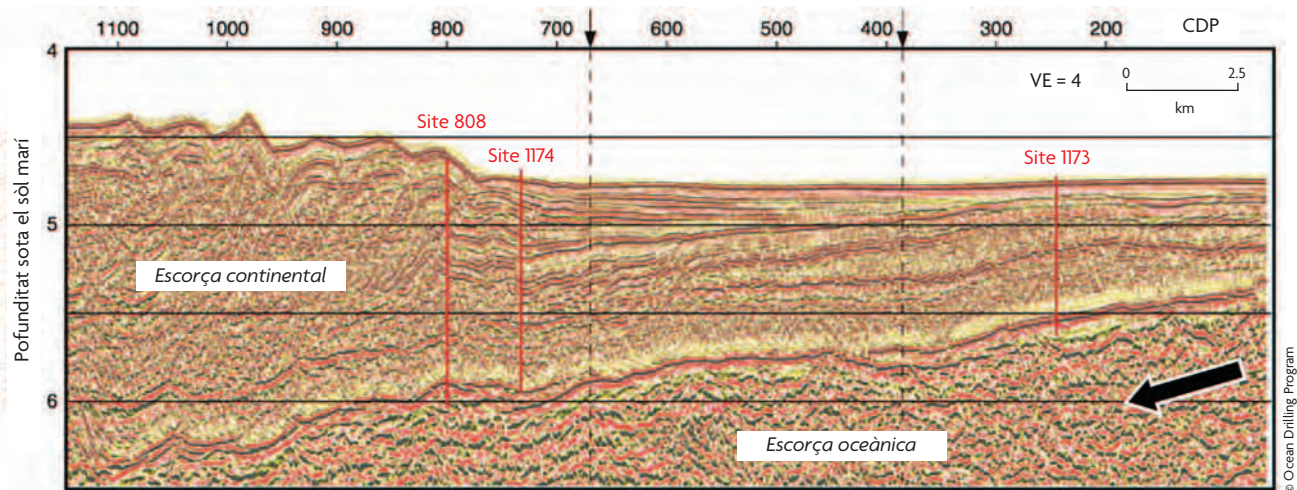
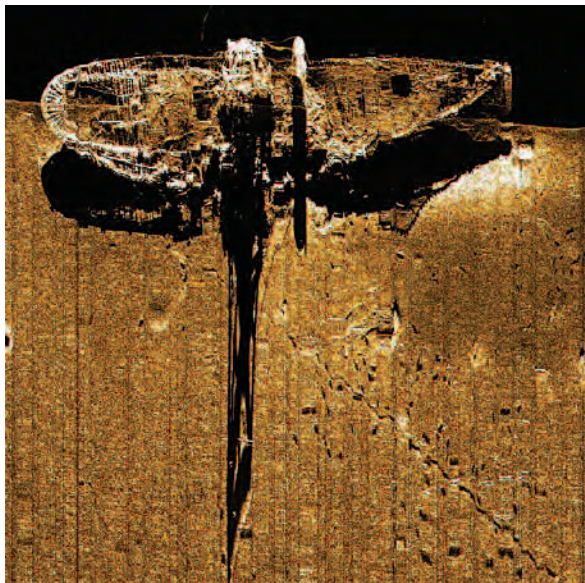


Figura 3. Perfil de sísmica de reflexió multicanal adquirit a través de la zona de subducció de Nankai (Pacífic Nord). Es pot veure clarament com l'escorça oceànica, corresponent a la placa Pacífica, subdueix en el sentit de la fletxa per sota els sediments plegats i fracturats del marge continental de Japó. Les línies verticals vermelles corresponen a les estacions (o sites) perforades durant una campanya de l'Ocean Drilling Program.

**«ELS OBS SÓN DISPOSITIUS QUE,
COL·LOCATS AL FONS MARÍ,
ENREGISTREN LES VIBRACIONS DEL SÒL
GENERADES PER UNA FONT ARTIFICIAL
O NATURAL (TERRATRÈMOLS)»**



Sonografia del fons marí on podem veure amb gran detall les restes del vaixell de vapor *SS Portland*, de 89 m d'eslora, enfonsat l'any 1898 davant les costes de Boston (EUA). Les àrees reflectives apareixen en blanc, mentre que les ombres acústiques són negres.

acústica en dB (*acoustic backscatter*), la qual depèn de l'angle d'incidència del feix, topografia i tipus de fons. Aquest sistema, com que emet a molt alta freqüència i a prop del fons, permet obtenir imatges acústiques d'una gran nitidesa i alta resolució (fins i tot de pocs centímetres), tot i que l'àrea coberta és molt inferior als sistemes multifeix. Per això utilitzem el sonar lateral en estudis de detall, com per exemple identificar estructures (falles, afloraments rocosos, esllavissades submarines) o objectes difícilment detectables amb altres mètodes acústics.

La sísmica de reflexió és probablement el sistema més utilitzat i eficaç per estudiar el subsòl marí. Aquesta tècnica es basa en la mesura dels temps de propagació d'un front d'ones de mitjana a baixa freqüència, generades artificialment per una font. El senyal és reflectit per les diferents capes del subsòl, caracteritzades per contrastos de velocitat i de densitat, i enregistrat a través un receptor (*streamer*) format per un seguit d'hidròfons que s'arrossegueu darrere el vaixell. El resultat és un perfil del subsòl, des de desenes de metres fins a uns quants quilòmetres de penetració, on podem determinar les unitats estratigràfiques, estructura i geometria de les capes geològiques (vegeu figura 3). En aquesta línia de recerca s'han desenvolupat els OBS (*ocean bottom seismometers*). Es tracta d'uns dispositius que, col·locats al fons marí, enregistren les vibracions del sòl generades per una font artificial o natural (terratrèmols), i per tant és interessant desplegar-los en zones marines amb elevada sismicitat. Un cop acabat el període de mesura, l'OBS rep una ordre acústica des del vaixell per a alliberar-se del fons i pujar a la superfície, on extraurem la informació enregistrada.

La instrumentació de mostreig i mesures del fons ens permet obtenir una informació "directa" del fons marí i determinar-ne la composició i propietats físico-

L'ACTIVITAT CIENTÍFICA DEL 'BIO HESPÉRIDES' EN GEOCIÈNCIES

El 1988 i coincidint amb l'admissió d'Espanya com a membre consultiu del Tractat Antàrtic, va començar la construcció d'un vaixell d'investigació polar. La principal missió d'aquest vaixell era, en aquells moments, prestar suport a les activitats científiques a l'Antàrtida i al mateix temps permetre l'extensió de la investigació a tots els oceans del món. El vaixell va ser avarat el 1990 com a *Bio Hespérides* i va ser lliurat l'abril de 1991.

Actualment, la investigació que es realitza a bord del *Bio Hespérides* està fonamentalment dirigida i finançada pel Pla Nacional d'R+D+I i la responsabilitat de la gestió científica del vaixell com a gran instal·lació recau en el Ministeri d'Educació i Ciència (MEC), mitjançant la Comissió de Coordinació i Seguiment de les Activitats de Naus Oceanogràfiques (CCSABO). La Unitat de Tecnologia Marina (UTM) del CSIC és la responsable del manteniment de l'equipament científic del vaixell i aporta el personal tècnic de suport per a la realització de les campanyes oceanogràfiques.

El *Bio Hespérides* és un vaixell interdisciplinari, i per tant està dotat d'un equipament oceanogràfic molt variat al qual constantment s'incorporen els darrers avenços tecnològics. En l'àmbit d'estudi de les geociències marines, el vaixell disposa d'instrumentació acústica que inclou les ecosondes multifeix d'alta resolució per a aigües someres i per a grans fondàries. L'equipament sísmic inclou tant el de reflexió (perfilador de fons marins i sísmica de reflexió multicanal) com el de refracció (sísmòmetres oceànics). També disposa de gravímetre marí i magnetòmetre de protons. Per mesurar

les propietats físiques del fons marí i prendre mostres disposa de la sonda de flux de calor, dragues de roca i mostrejadors de sediment.

En els seus gairebé quinze anys d'existència el *Bio Hespérides* ha realitzat més de cent campanyes d'investigació amb les quals ha recorregut més de 300.000 milles nàutiques i ha acollit més d'un miler d'investigadors i tècnics nacionals i estrangers. Gairebé un 40% d'aquestes campanyes s'engloben en l'àmbit de la investigació de geociències marines i es troben repartides en diferents zones d'estudi. Així, el 35% de les campanyes s'ha dut a terme a l'Antàrtida i el 65% restant en aigües no antàrtiques, principalment a l'oceà Atlàntic però també al mar Mediterrani i l'oceà Pacífic. Els nombrosos projectes que s'hi han realitzat abasten un ventall molt divers, des dels mecanismes de funcionament de volcans submarins a l'arxipèlag de les Canàries i a l'illa Decepció (Antàrtida), passant pel coneixement de generació de nova escorça oceànica al Pacífic i l'Atlàntic, la detecció de zones sísmogèniques potencialment generadores de terratrèmols i tsunamis al marge sud de la Península Ibèrica (Almeria i golf de Cadis) i a costes orientals de Mèxic i Xile; també l'avaluació de riscos geoambientals a la zona d'enfonsament del petrolier *Prestige*, i l'estudi de l'evolució sedimentària i geodinàmica dels marges antàrtics. A més, l'Institut Hidrogràfic de la Marina i l'Institut Espanyol d'Oceanografia duen a terme projectes de cartografia sistemàtica de la Zona Econòmica Exclusiva Espanyola (ZEEE).

E. G. / S. D.

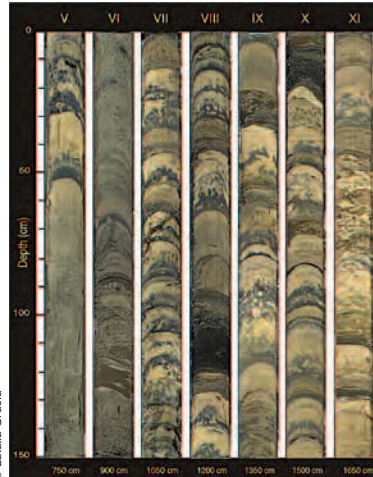
A sota, d'esquerra a dreta: enfilada de canons d'aire comprimit per als estudis de sísmica que s'efectuen en el *Bio Hespérides*. Els canons generen un pols acústic de gran energia que es propaga en la columna d'aigua i capes del subsòl. Conjunt d'hidròfons, coneguts com a *streamer*, a la coberta del *Bio Hespérides*. Maniobra de recollida d'un OBS (*ocean bottom seismometers*) desenvolupat per la Unitat de Tecnologia Marina. Operació de llançament del sonar d'escombratge lateral d'alta resolució TOBI del Southampton Oceanography Centre (Regne Unit) des de la popa del *Bio Hespérides* (campanya HITS 2001).





© Eulàlia Gràcia

Operació de llançament d'un mostrejador de pistó (*piston corer*) des de la borda del RV Roger Revelle (EUA) per a mostreig de sediment. En primer terme, petit mostrejador de gravetat (*trigger corer*), el qual, un cop arriba al fons, desencadena la caiguda lliure del sistema de pistó, en segon terme.



© Eulàlia Gràcia

Seccions d'un testimoni de sediment extret del marge sud de Portugal. Els nivells més foscos corresponen a nivells terrígens sorrenocs (turbidites) dipositats per corrents de terbolesa. Els nivells clars corresponen a sediments de gra fi (llims i argiles) dipositats per sedimentació hemipelàgica. En aquest cas, la presència de nivells turbidítics està principalment associada a l'elevada activitat sísmica de la zona, generadora d'inestabilitat del fons.



© Eulàlia Gràcia

El vaixell insígnia de la perforació oceànica profunda: RV Joides Resolution. El vaixell, que té 143 m d'eslora i un desplaçament total d'unes 17.000 tones, està dedicat a la recerca científica des de 1983.

químiques. Les mostres geològiques del fons poden obtenir-se mitjançant una àmplia gamma d'instruments, des dels sistemes més senzills –dragues de roca i “culleres” (*grabs*) per a realitzar una ràpida verificació del tipus de fons–, fins als més complexos testificadors de sediment. Aquests últims ens permeten obtenir un registre de sediment continu (fins a 50 m de longitud) que permet estudiar la història geològica i paleoclimàtica recent.

En l'avenç per l'exploració sobre la història i estructura terrestre destaquem el programa internacional de perforació oceànica científica IODP (Integrated Ocean Drilling Program, 2003-2013). Aquest programa, juntament amb els seus antecessors –Deep Sea Drilling Project (DSDP, 1968-1983) i Ocean Drilling Program (ODP, 1983-2003)– han revolucionat la nostra visió de la història de la Terra i dels processos globals, a partir de la informació enregistrada en els sediments i roques dels fons oceànics. Els programes es basen en la utilització d'un vaixell perforador, com els que utilitzen les companyies petrolieres, per resoldre determinats problemes científics, sempre amb un enfocament multidisciplinar (sedimentologia, tectònica, geoquímica, geofísica, microbiologia). El programa IODP (del qual Espanya és membre dins d'un consorci europeu), amb el seu vaixell *Joides Resolution*, disposa de sofisticats sistemes de mostreig i de mesura i aplica tecnologies molt especialitzades

de perforació. D'aquesta manera, s'han arribat a obtenir sondeigs d'uns quants quilòmetres de profunditat simultàniament a mesures geofísiques de les formacions sedimentàries.

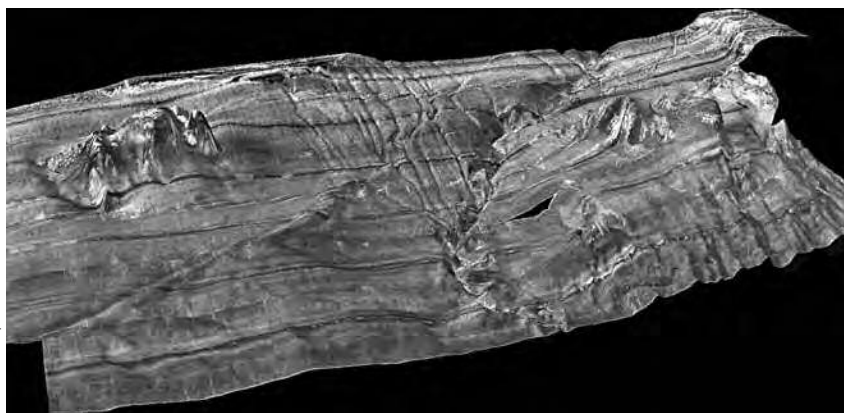
■ EL FUTUR JA ÉS AQUÍ: VEHICLES I OBSERVATORIS OCEÀNICS

Aquesta és, sens dubte, la instrumentació de més actualitat i futur. Els vehicles submarins poden ser no-tripulats, i aleshores s'anomenen UUV (*unmanned underwater vehicles*), els quals inclouen els ROV (*remotely operated vehicles*), o tripulats i autònoms, com els submergibles científics amb capacitat per a tres persones com a molt. Tots ells tenen en comú que permeten explorar directament el fons oceànic (fins a 6.000 m de profunditat) i manipular amb gran precisió per efectuar-ne mesures o prendre'n mostres. En l'actualitat, per realitzar prospeccions sistemàtiques del fons durant uns quants dies, s'utilitzen cada cop més els AUV (*autonomous underwater vehicles*), els quals poden arribar a transmetre les dades en temps real al laboratori. El futur proper també passa pel desenvolupament d'observatoris oceànics. Es tracta del fondeig de sistemes de sensors durant un llarg període de temps (més d'any) per a la vigilància i monitorització de paràmetres fisicoquímics en temps real, amb aplicacions per a sismicitat, vulcanisme, hidrotermalisme, etc.



© Eulàlia Gràcia

Vista frontal del submergible científic francès *Nautilie* de l'IFREMER. Aquest vehicle, amb capacitat d'immersió fins a 6.000 m de profunditat, transporta dos pilots i un observador científic. El *Nautilie* està equipat amb càmeres fotogràfiques i de vídeo, dos braços amb pinces per fer mostreig de fluids, roques, fauna bènctica i panera per dipositar-hi les mostres extretes.



© Susana Díez / Eulàlia Gràcia

Figura 4. Mosaic de reflectivitat acústica obtingut amb el sonar lateral TOBI en el marge d'Almeria (mar d'Alborà) durant la campanya HITS 2001. Les línies fosques regularment espaiades corresponen a la trajectòria del vehicle. L'amplada de cada una de les passades és de 6 km. El nord és a la part superior de la imatge. Identifiquem una alineació de direcció NW-SE corresponent a la falla de Carboneras, amb expressió superficial i que desvia el curs dels canals tributaris del canyó d'Almeria.

■ ALGUNES APLICACIONS EN RECERCA CIENTÍFICA

El nou repte de la recerca en geociències marines consisteix a adaptar-se a les tendències més actuals de les ciències de la terra. Aquestes tendències es fonamenten en estudis integrats i multidisciplinaris (amb particular interès en els estudis d'alta resolució), dirigits a buscar una major implicació de la investigació científica amb les necessitats de la societat, i enfocats cap a un desenvolupament sostenible dels recursos naturals.

El fons marí és un domini actiu on interactuen diferents processos. Per exemple, en les dorsals mediooceàniques els processos d'acreció oceànica (tectònics, magmàtics i hidrotermals) que s'hi esdevenen estableixen l'hàbitat per a ecosistemes extrems. Una recerca aprofundida de les dorsals mediooceàniques és essencial per a comprendre millor la gènesi de nova escorça oceànica, així com la segmentació axial i la morfoestructura de les dorsals. En els marges continentals, estudis detallats han permès identificar sistemes deposicionals submarins i reservoris d'hidrocarburs, així com el descobriment dels anomenats "volcans de fang", àrees d'escapament de fluids, i dels hidrats de gas.

La cartografia i estudi de les falles actives en els marges continentals i estructures associades, com les esllavissades submarines, té clares implicacions en la mitigació dels riscos geològics en el marge sud d'Ibèria, que comprèn l'actual frontera convergent entre les

plaques d'Euràsia i Àfrica. Les falles submarines, com la falla de Carboneras al mar d'Alborà (vegeu figura 4), representen un risc per a les àrees costaneres veïnes, ja que fenòmens d'elevada magnitud i altament destructius s'hi han esdevingut en temps recents, com el terratrèmol i tsunami d'Almeria de 1522 o el de Lisboa de 1755. Seguint aquest mateix tipus d'aproximació, s'estan practicant estudis geofísics marins d'alta resolució al llarg de la fossa de Sumatra (Indonèsia) per explorar la zona de ruptura i possibles esllavissades associades al terratrèmol del desembre de 2004 de magnitud 9,3, amb el conseqüent tsunami d'efectes devastadors. ⊕

BIBLIOGRAFIA

- AUGUSTIN, J. M. i altres (1996): "Contribution of the multibeam acoustic imagery to the exploration of the sea-bottom", *Mar. Geophys. Res.*, 18, 459-486.
- BLONDEL, Ph.; B. J. MURTON (1997): *Handbook of Seafloor Sonar Imagery* Chichester (Regne Unit), Praxis-Wiley and Sons, 314 pp.
- GRÀCIA, E.; J. J. DAÑOBEITIA; J. VERGÉS; EQUIP PARSIFAL (2003): "Mapping active faults offshore Portugal (38° N-36° N): Implications for seismic hazard assessment along the southwest Iberian margin", *Geology*, 31, 83-86.
- KENNET, J. (1982): *Marine Geology*, Englewood Hills (Nova Jersey), Prentice-Hall, 813 pp.
- NeMO (New Millenium Observatory) (2005): "A seafloor observatory at an active underwater volcano". <<http://www.pmel.noaa.gov/vents/nemo/index.html>>
- SANDWELL, D.T.; W. H. F. SMITH (1997): "Gravity anomaly from Geosat and ERS1 satellite altimetry", *J. Geophys. Res.*, 102, 10039-10054.
- TRÉHU, A. M. i altres (2004): "Three-dimensional distribution of gas hydrate beneath southern Hydrate Ridge: Constraints from ODP Leg 204", *Earth Planet. Sci. Lett.*, 222, 845-662.

Eulàlia Gràcia i Susana Díez. Unitat de Tecnologia Marina, Centre Mediterrani d'Investigacions Marines i Ambientals - CSIC (Barcelona).