

museu de
ciències naturals

EXPLORADORS: AVENTURA I BIODIVERSITAT

Nolasc Acarín
Anna Aguilar-Amat
Felipe Fernández-Armesto
Josep Germain
Josep M. Gili

Francesc Uribe (*editor*)

2009

JIB
BOSCH EDITOR



Ajuntament de Barcelona

B BARCELONA
CULTURA

Descobrir la biodiversitat del planeta: una aventura sense límits per a la humanitat

JOSEP-MARIA GILI SARDÀ. *Professor d'Investigació, Institut de Ciències del Mar,
Consell Superior d'Investigacions Científiques*

Avui dia tot sembla a prop. En poques hores ens podem desplaçar a milers de quilòmetres de distància i superar les barreres del temps natural. Podem viure a l'estiu al matí i esquiar a les muntanyes nevades a la tarda. El desenvolupament tecnològic ens ha permès acostar-nos a la diversitat del planeta fins al punt de tenir la sensació que res no pot escapar als nostres ulls. La zona més inextricable de la selva, la caverna més profunda o la muntanya més alta estan a l'abast dels humans. Potser no tots podem arribar als llocs més recòndits, però alguns, cada vegada més, hi arriben i porten a la resta de la humanitat els relats i les imatges dels seus descobriments. Tenim l'enorme privilegi, respecte a les generacions que ens han precedit, de poder conèixer amb relativa facilitat la riquesa del nostre planeta. Però, som realment conscients d'aquest privilegi?

En la societat actual, al començament del segle XXI, tot ens sembla fàcil i accessible. Només hem de posar la televisió o l'ordinador i navegar per innumbrables canals d'informació que ens acosten amb aparent facilitat a la natura que ens envolta, pròxima o llunyana. Aquesta facilitat és enganyosa, però, tant que de vegades no

valorem l'esforç i la passió per descobrir dels qui, amb els seus esforços, ens han fet sentir aquesta sensació de facilitat. Acostar-nos a la natura, fins i tot la que ens resulta més llunyana, representa agafar un avió i, en menys de dos dies, ja ens podem trobar en zones fins fa poques dècades llunyanes i recòndites com la selva amazònica, les planes de la Patagònia o la sabana africana.

Una conseqüència, al meu entendre inacceptable, d'aquesta facilitat per acostar-se i explorar els llocs paradigmàtics de la Terra, ha estat la pèrdua de la passió per explorar i descobrir. Sembla que l'exploració se cenyeix a la visita a llocs llunyans fins fa poc escassament coneguts. Que explorar i descobrir s'ha d'entendre com la recerca d'alguna cosa totalment nova o exòtica. Però explorar té altres components molt més pròxims i personals que hem de recuperar i valorar com una de les essències de la natura humana. Encara que moltes vegades ens costi de creure, el més nou o el més desconegut no ha d'estar necessàriament a milers de quilòmetres de distància. Als racons, als llocs que són més a prop nostre, hi podem descobrir coses i gaudir de sensacions totalment desconegudes.

Recordo encara amb sorpresa quan, en llegir la guia d'*Animals de les nostres ciutats*, escrita per A. Omedes, J.C. Senar i F. Uribe, em vaig adonar de les poques coses que coneixia de les espècies que conviuen amb nosaltres al nostre entorn més proper. El fet de poder observar, un dia qualsevol, tot passejant pels carrers de la meua ciutat, algunes d'aquestes espècies que no havia vist mai, em va causar la sensació d'haver fet un descobriment nou per a mi, fins i tot comparable a la sensació que he tingut el privilegi d'experimentar en poder veure per primera vegada espècies del continent antàrtic o de les illes de l'oceà Índic.

Aquesta coincidència en la sensació de novetat fa que la passió per descobrir no hagi d'anar lligada imprescindiblement a l'exotisme o a la llunyania. De fet, s'ha pogut constatar que molts dels grans exploradors i descobridors que han recorregut els oceans i continents van ser exploradors apassionats de la seva natura més immediata. N'hi ha prou de recordar, a tall d'exemple, els excel·lents treballs de Darwin sobre la fauna i la flora més pròximes com els crustacis balànids o les plantes carnívores. Aquests escrits són plens de relats precisos i apassionats, que molt possiblement van ser la base de la seva formació quant a capacitat d'observació, la qual va resultar clau més endavant, desenvolupada al màxim, en les exploracions durant el viatge del *Beagle*. No seria arriscat dir que potser molts dels descobriments més apassionants que podem fer es troben als jardins, prats, boscos i platges dels nostres pobles i ciutats.

Tan accessible és el nostre planeta per arribar a pensar que a penes hi queda res per descobrir? Ben al contrari. Quan a un dels últims grans exploradors, Thor Heyerdahl, el líder de les últimes grans expedicions oceàniques, li van preguntar en una de les darreres entrevistes sobre el llibre *La expedición de la Kon-Tiki*: "Ara que podem circumdar tots els oceans i continents, què queda per descobrir i on seria l'esperit aventurer, especialment per a les noves generacions?" La seva resposta va ser contundent: "Els oceans són un immens món blau, fosc i recòndit que amaga moltes més sorpreses que les que ja coneixem." En la mateixa línia que Heyerdahl, el gran oceanògraf, explorador i divulgador Jaques Cousteau planteja en el seu últim llibre autobiogràfic, *Los humanos, las orquídeas y los pulpos*, que només sabrem respectar i explotar racionalment els oceans quan els coneguem. I afegeix que el fet de desconèixer-los ha portat a pensar que encara són una font inesgotable de recursos i un abocador d'escombraries. La seva postura, tot i que inicialment pessimista, adquireix tons d'esperança quan es revela davant la ignorància i adverteix que l'increment del coneixement sobre els oceans portarà a un futur molt més esperançador. Els dos exploradors, que comparteixen opinió amb molts navegants, oceanògrafs i amants del mar, centren el seu optimisme en els joves. Aquests últims són els qui, amb una renovada il·lusió per explorar i descobrir, ja no faran seva la temible frase "D'allò que els ulls no veuen el cor no se'n dol".

Avui dia, els mitjans per accedir al coneixement de la part submergida



FIGURA 1. El progrés en l'exploració dels oceans ha permès a l'home observar la vida marina a profunditats cada cop més grans.

1a. El desenvolupament de l'escafandre autònom, que permet exploracions fins a 70 metres de profunditat, en va constituir un pas crucial. © David Díaz, IEO, Palma de Mallorca.

1b. Box-core que pot arribar a més de 3.000 metres de profunditat per portar a la superfície una petita parcel·la gairebé intacta del fons marí. © Enrique Isla, ICM-CSIC, Barcelona.

del planeta són tan variats i comporten aventures tan apassionants que es fa difícil pensar que una joventut inquieta se les pugui perdre. N'és un meravellós exemple recent la història de Robert Kunzig, un explorador del segle XXI que, a bord de submarins tripulats, penetra en l'immens espai que configuren els oceans. En el llibre *Mapping the deep* Kunzig reflexiona sobre el fet que l'afició per l'astronomia ha crescut en la societat. No hi ha una barrera entre la nostra capacitat visual i l'espai exterior, només els núvols que al cap de poques hores tornaran a deixar de ser un obstacle. Els oceans i el fons del mar estan coberts per una capa d'aigua que ens els amaga. Però aquesta capa és actualment penetrable i la capacitat de penetrar-hi és tan apassionant com escapar-se amb naus i coets cap a l'espai exterior. Sembla sorprenent que avui dia dotze astronautes ja hagin trepitjat la Lluna i que només dos argonautes hagin arribat a les zones més profundes dels oceans. El 1960, Jacques Picard i Dan Walsh van arribar al fons de la fossa de les illes Marianes, a gairebé 11.000 metres de profunditat, a bord d'un batiscaf dissenyat pel científic suís Auguste Picard, un dels grans herois de la innovació tecnològica, caracteritzat per Hergé com el professor Tornassol en els llibres d'aventures de Tintín. Nou anys més tard, el 1969, Neil Armstrong i Edwin Aldrin van arribar a la Lluna a bord de la nau espacial Apol·lo XI.

Des de llavors, la història ha donat una mica l'esquena als oceans. És un fet que té explicacions però que no sé si té justificacions. Aquesta llarga, però ben recent, història d'ex-

ploracions és plena a vessar d'anècdotes que la fan encara una mica més "al·lucinant". Per exemple, un dels capitans de busseig de Cousteau, Claude Wesly, va ser l'entrenador dels primers astronautes en medis d'ingravitació. Quan Joandomènec Ros explica, en el seu llibre *Objectiu: l'Antàrtida*, que el més semblant als hivernautes antàrtics són els astronautes, podem pensar que la gran aventura de la humanitat a la recerca de l'exploració de l'espai exterior encara té un paral·lelisme als llocs més extrems del nostre planeta. Hivernautes, astronautes, argonautes, aquests darrers són uns altres grans herois de l'exploració humana actual. Els qui s'endinsen, mitjançant equips sofisticats, a les profunditats marines a la recerca d'un món, un planeta, que encara desconeixem, potser tant o més que l'espai exterior.

Oceans desconeguts

El nostre coneixement dels oceans encara és molt precari. Per exemple, durant la primera gran expedició oceanogràfica, la portada a terme per la corbeta *Challenger* el 1872, encara es pensava que no hi havia vida més enllà de 2.000 metres de profunditat. Es partia del concepte de zones azoiques (sense vida) perquè, segons opinió del científic Edward Forbes emesa el 1840, als oceans no hi podia haver vida per sota de 780 metres de profunditat. En el relat de l'expedició liderada pel científic Charles W. Thomson que fa Eric Linklater al seu llibre *El viaje del Challenger*, descriu amb

detall la gran passió que tenien tots els participants per rebatre les idees, possiblement equivocades, que es tenien en aquella època a causa, sobretot, de l'escàs coneixement que hi havia sobre la vida als oceans. La gran sorpresa que van tenir en el moment de recollir, després d'hores d'espera, la primera draga de profunditat, que contenia organismes vius i desconeguts fins aleshores recol·lectats a uns 4.000 metres, va tenir continuïtat al llarg dels tres anys de singladura al voltant del món. Una expedició que ha tingut la mateixa transcendència per a l'oceanografia i el coneixement dels oceans que la que va suposar per a la biologia la de Darwin a bord del *Beagle* el 1831.

En l'estudi sobre la història de l'oceanografia, M.B. Deacon en situa l'origen en els treballs de científics com L.F. Marsilli, J.S. Von Waitz o A. Marcert referents als corrents marins del Mediterrani fets entre 1725 i 1820. Molts dels avanços procedeixen d'activitats relacionades amb la instal·lació dels primers cables de telefonia, com el del canal de la Mànega el 1851, la navegació de submarins i el desenvolupament de radars per a vaixells de guerra durant la Segona Guerra Mundial. Un exemple d'aquests avanços tecnològics va ser el desenvolupament de sistemes de detecció acústica que permetessin localitzar submarins en aigües obertes. Durant les proves inicials, aquests sistemes van detectar "taques" que podrien correspondre a naus de més d'un quilòmetre de llargada, cosa que evidentment no podia ser. Aquestes "taques" eren moles enormes d'organismes gelatinosos, com ara sifonòfors o

altres organismes, que fins llavors no se sabia que podien constituir masses d'una grandària tan gran com les de calamars. Però potser un dels episodis més significatius de la relativament jove història del descobriment dels oceans va ser la localització de les comunitats vives associades a surgències hidrotermals d'aigües càlides a les serralades submergides, en les quals els organismes basen la seva vida en una energia química diferent de la que consideràvem exclusiva al planeta, basada en l'oxigen i el carboni. Aquests descobriments són recents, atès que el primer assentament es va localitzar el 1977 prop de les Galápagos, a 2.636 metres de profunditat, i han arribat a replantejar l'origen de la vida al planeta.

Però potser el primer biòleg marí no va ser un il·lusionat oceanògraf sinó un observador inquiet i interessat pels fruits que ens pot donar el mar. Com relata en una bonica història Richard Ellis en el seu llibre *Singing whales and flying squid*, els primers que van conèixer el mar van ser els mariscadors cercant closques a les platges o els pescadors aplegant peixos amb les xarxes. No ens ha d'estranyar, per tant, que l'origen de la biologia marina, a més a més de les costes mediterrànies, fos l'aprofitament de les mares baixes de les platges atlàntiques europees. Durant la baixamar, les platges i les costes són com un llibre obert en què les aigües que impedeixen la visió del que hi ha a sota s'han retirat, igual que si haguéssim obert la portada d'un llibre i ja tinguéssim les pàgines amb tots els seus secrets escrits davant dels ulls. Aquesta escola natural va fer que els llibres de biologia



FIGURA 2. Els avenços en l'exploració dels oceans estan lligats al desenvolupament tecnològic.

- 2a. El submergi d'exploració JAGO de l'IFM-GEOMAR, Kiel, Alemanya, és operatiu fins a 500 metres de profunditat.
- 2b. El Johnson-Sea-Link, de l'Harbor Branch Oceanographic Institution, Fort Pierce (EUA), se submergeix a 1.000 metres de profunditat i és un dels més ben equipats actualment © Francesc Pagès, ICM-CSIC, Barcelona.

marina se centressin en les zones més emergides i, amb el temps, en el desenvolupament de noves tecnologies que permetessin explorar els mars i els oceans a una profunditat més gran. Els llibres es refereixen a extensions cada vegada més grans i profunditats més pregones. Avui dia, els llibres que atreuen més els científics són els que refereixen coneixements del mar profund o d'aigües oceàniques a gran profunditat.

Les platges i les costes continuen sent una escola en què podem aprendre innombrables aspectes sobre com és i com funciona el mar immediat. El físic J. S. Trefil, en el seu llibre *Un científico a la orilla del mar*, ofereix una visió científica del que normalment solem mirar sense veure en el curs d'un simple passeig per la platja. Trefil planteja moltes preguntes que es poden respondre amb una observació i una exploració dels objectes, els fenòmens i les sensacions que es tenen en passejar per la costa. Observant la periodicitat i l'altura de les onades, la direcció i potència del vent, les marques a la sorra, les restes d'organismes i objectes que l'aigua diposita a la sorra, la distància d'aquestes a la vora de l'aigua, entre moltes altres coses, podem saber per què les platges són com són, la morfologia, el tipus de sorra, quins organismes viuen a la costa, etc. L'important és que l'observació del medi que ens envolta desperti en nosaltres la capacitat d'exploració. Una passejada per la costa observant activament tot el que ens envolta, aixecant els tal·lus de les algues o mirant sota les pedres, entre d'altres moltes coses, pot representar un autèntic i apassionant vi-

atge de descobriment i exploració. És una forma d'exercitar la nostra gran capacitat de descobrir, que injustificadament no sabem explotar.

Però el coneixement encara precari dels oceans ha portat a un abús, no pas a un ús, dels recursos. Durant les últimes dècades, l'explotació dels oceans ha arribat a nivells totalment insostenibles. Només cal anar a qualsevol mercat i veure l'escassetat de peix i el preu a què es ven. Els oceans encara continuen aportant el 20 per cent de totes les proteïnes animals que consumim, perquè encara se'n continuen pescant més de 180 milions de tones, 50 milions de les quals no són declarades. Això ha ocasionat que més del 70 per cent dels caladors estiguin sobreexplotats i un 20 per cent gairebé exhaurits. On pretenem arribar? La veritat és que no ho sabem amb certesa, però el que hem aconseguit amb aquesta sobreexplotació és canviar de manera molt significativa els oceans. A tall d'exemple, les elevades proliferacions de meduses que arriben a les nostres costes, i que són molt més abundants en zones més allunyades, són un reflex d'aquests canvis. En reduir, amb la pesca, els depredadors de les meduses i els seus competidors per l'aliment, de fet els peixos, les meduses estan ocupant el lloc d'aquests en les cadenes tròfiques marines. Tot tendeix a la simplificació: menys espècies, més contaminants i més residus.

Els oceans continuen sent uns grans desconeguts per a l'home. Només en coneixem escassament el 20 per cent, de manera que si cobreixen el 70 per cent del planeta, encara ens en queda gairebé la meitat per

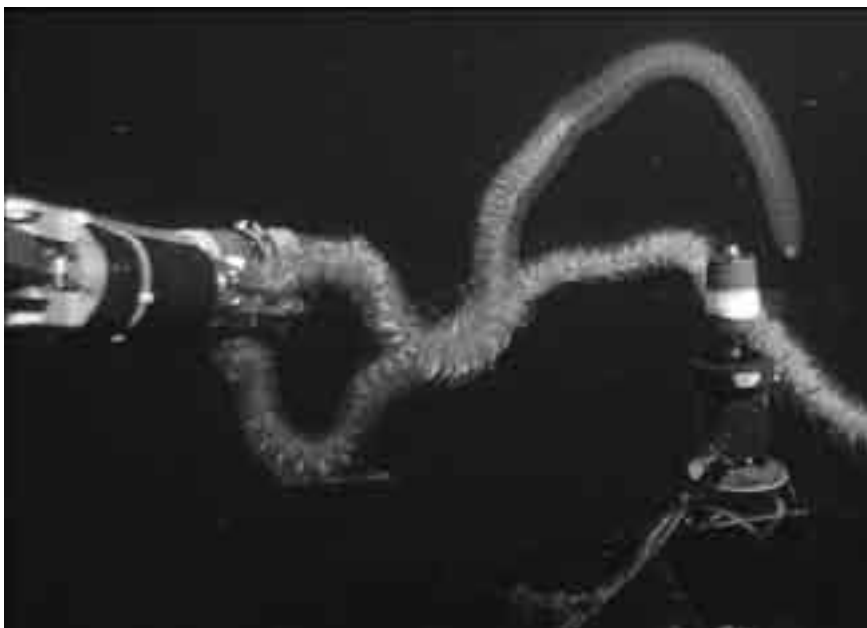
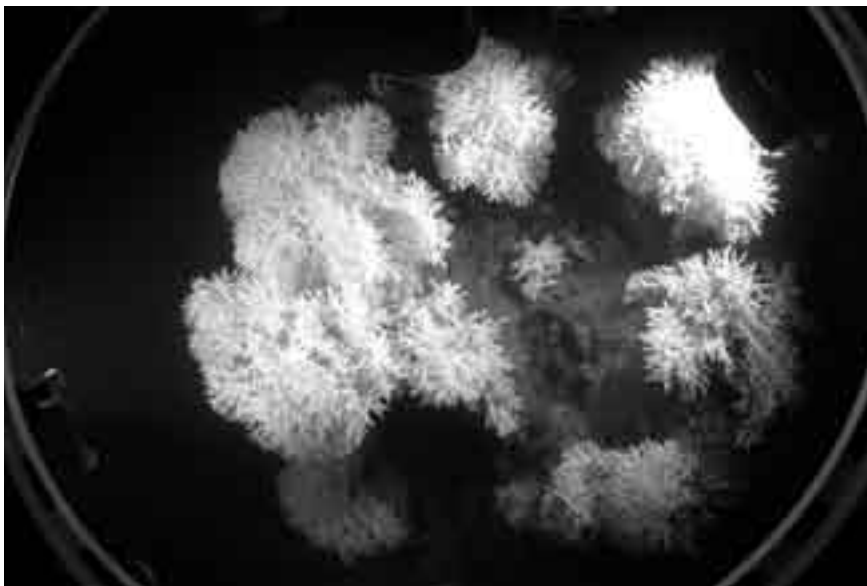


FIGURA 3. 3a. Comunitat de coralls formada per colònies de *Madrepora oculata* a 300 metres de profunditat, a les parets del canyó submarí del cap de Creus, vista des del submarí JAGO. © JAGO-GEOMAR, Kiel, Alemanya.

3b. Colònia del sifonòfor *Stephanomia amphitridis* capturada pel submarí japonès Shinkai 6500 a la zona de la badia de Sagami, Japó, a 839 metres de profunditat i a una temperatura de l'aigua de 3,7 °C. © Dhugal Lindsay, JAMSTEC, Yokosuka, Japó.

explorar. Un exemple: avui dia se sap que hi ha més de 10.000 muntanyes marines en tots els oceans i només se n'han explorat unes 200. Aquestes muntanyes marines són zones d'alta biodiversitat. A penes s'han censat unes 200.000 espècies marines dels més de 10 milions que es creu que poblen els oceans. A més a més, les aigües obertes, sobre fons de més de 3.000 metres de profunditat de mitjana, són plenes d'organismes encara molt desconeguts com el plàncton gelatinós (meduses i similars).

Encara que la veritable exploració dels oceans té un inici recent, cal remuntar-se als orígens de la nostra cultura, en la Grècia antiga, per reconèixer la contribució de la intuïció humana a la gran aventura del coneixement. Gràcies als seus navegants, els grecs coneixien l'existència del corrent marí que penetra des de l'exterior de l'estret de Gibraltar cap a l'interior del mar Mediterrani. El van anomenar *Okeanos* i estaven convençuts que feia la volta al món. Pensaven que l'aigua marina és com una gran massa que fa voltes a un món que inicialment Pitàgores va proposar que podria ser una esfera. Com expliquen J. Stewart i J. Lynch en la seva magnífica obra de divulgació *Heart. The power of the Planet*, va ser l'estudi intuïtiu dels oceans el que va fer avançar abans que altres, com els astronòmics, el coneixement actual de la Terra, encara que injustificadament aquest ha tingut menys repercussió en la cultura de la humanitat. Potser la millor manera d'aproximar-nos a la veracitat de la intuïció dels primers grans observadors i exploradors dels oceans és veure fins a quin

punt tenien raó a partir dels coneixements actuals. Avui dia sabem que aquest corrent que, segons els grecs, feia la volta al món, és real i que es tracta d'un viatge de volta al món que dura mil anys. Vegem com és la base d'aquest viatge d'exploració.

Un viatge de mil anys

Quan s'observa la Terra des de l'espai s'aprecia que més del 70 per cent de la superfície està coberta per una gran massa d'aigua que conforma els oceans. Aquesta gran massa blavosa sembla com un gibrell ple d'aigua aparentment uniforme. Però, quan ens hi acostem i n'observem amb més detall la superfície és fàcil veure que de fet es tracta d'una massa viscosa i heterogènia que es mou sense parar. Amb imatges captades des de satèl·lits podem apreciar que sembla com si la superfície del mar estigués llaurada. El perquè d'aquest fenomen es pot explicar pel moviment de les aigües dels oceans.

Si movem suaument el gibrell al qual hem fet referència, veurem que l'aigua que conté no queda quieta sinó que es mou al compàs del moviment que imprimim al gibrell. Així, podem dir que les masses d'aigua dels oceans es mouen a causa de la rotació de la Terra. Si aixequem una mica un costat i l'altre del gibrell, veurem que l'aigua també es desplaça i que modifica el desplaçament circular de tot el contingut. Aquesta situació és la que crea a la Terra l'atracció de la Lluna, que dona lloc a les mareas i de-

termina que periòdicament l'altura total de la columna d'aigua pugi i baixi a cada costat dels continents. Aquests són els dos motors generals de la circulació oceànica, la rotació terrestre i el règim de mareas. Però si posem un objecte, com un bastó o una pedra, a l'interior del gibrell veurem com el moviment de l'aigua es modifica pel fet que en xocar amb l'objecte canvia de direcció. A la Terra, els obstacles són molt diversos, especialment els continents que delimiten les fronteres de cada cubeta oceànica i obliguen les aigües a haver de passar per llocs de vegades més amples, com el centre de l'oceà Pacífic, i de vegades per llocs més estrets, com ara el canal entre Sud-àfrica i l'Antàrtida.

Les aigües superficials dels oceans reben l'efecte dels vents que les impulsen i les desplacen amb més o menys força. Aquest fenomen constitueix el quart motor de la circulació oceànica, el règim de vents. Per exemple, els vents poden accelerar la velocitat del corrent impulsat pels motors esmentats més amunt o fins i tot alentir-la pel fet que poden bufar en direcció contrària. Per exemple, quan els vents bufen des dels continents cap a l'oceà, a les aigües costaneres es produeix un desplaçament de l'aigua superficial cap a mar oberta. Aquest fenomen, bastant habitual als marges occidentals dels continents, obliga les aigües més profundes a pujar cap a la superfície i dona lloc al que es coneix com a afloraments. En aquestes zones del planeta es pot visualitzar una situació molt heterogènia de la circulació marina.

Fixem-nos ara en l'últim gran motor de la circulació oceànica, la tem-

peratura. Com que la Terra és un cos esfèric, rep més energia lumínica procedent del Sol a la zona equatorial i menys, gradualment, cap als pols. Així tenim que les aigües superficials s'escalfen més a l'equador mentre que als pols es troben les aigües més fredes. L'aigua marina absorbeix la calor procedent del Sol, però només la capa superficial emmagatzema gran part d'aquesta calor. A pocs metres de profunditat, generalment no més enllà dels 10 primers metres, l'aigua és menys càlida i la seva temperatura va baixant progressivament fins a les capes profundes dels oceans, que són les més fredes. L'aigua més càlida de la superfície és menys densa, menys pesant, que la del fons, que és més freda. Quan les masses d'aigua són desplaçades per les forces de rotació, els vents i les mareas, les menys denses es mouen amb més velocitat que les profundes, fet que provoca que hi hagi una estructura o gradient vertical als oceans, a manera de capes diferenciades. Aquestes capes estan separades per interfícies (zones de discontinuïtat) on els gradients o canvis de temperatura són més marcats, que són les conegudes amb el nom de termoclines. Així doncs, l'oceà és com un pastís de pasta fullada format per capes en moviment continu que són molt amples a les zones centrals dels oceans i que s'escurcen i ajunten a les zones costaneres dels continents. L'aigua es desplaça per les capes, com els pisos d'una casa, en forma de grans corrents superficials i càlids a les zones equatorials i superficials i freds a les zones polars.

La configuració del mapa de corrents del planeta es pot visualitzar com



FIGURA 4. Les noves tècniques d'exploració dels oceans han permès descobrir:
4a. Que en llocs tan inhòspits com l'oceà Antàrtic es troba una de les diversitats biològiques més grans del planeta, i
4b. L'estat real de molts fons marins arrasats per les xarxes utilitzades en la pesca d'arrossegament. © Julian Gutt, AWI, Bremerhaven, Alemanya.

un conjunt de rius que circulen per les zones superficials, que es veuen compensats per corrents en sentit contrari en capes intermèdies i profundes. Quan una massa d'aigua és desplaçada pel corrent és compensada per un altre corrent d'aigua més dens i situat just per sota que va en sentit contrari. La circulació marina porta les aigües més càlides des de l'equador cap als pols i l'aigua dels pols cap a les zones càlides. D'aquesta manera, el sistema de corrents marins és com el refrigerador de la Terra, atès que distribueix la calor i refrigera el conjunt de les masses d'aigua, amb la qual cosa manté un equilibri climàtic que hi permet la vida actual.

Part de la massa d'aigua s'evapora a les zones tropicals, mentre que després de les pluges i les nevades s'acumula a les zones australs. El glaç acumulat a l'Àrtic i a l'Antàrtic són les reserves d'aigua que tornen al mar després del desglaç. Quan arriba la primavera, als pols una part dels glaciers i del glaç que flota al mar es fon. Aquest procés dona lloc a la formació d'aigües molt fredes i, per tant, molt pesants, que s'enfonsen cap a les capes profundes. Aquesta aigua marina nova és la que empeny la resta d'aigües profundes i dona lloc al que es coneix com cinturó de circulació profunda. Aquestes zones de formació d'aigua es localitzen al sud de Groenlàndia, a l'Àrtic, i al nord del mar de Weddell, a l'Antàrtida. Són com la tapa del dipòsit d'un cotxe que per circular ha d'omplir el dipòsit de combustible. Una gota d'aigua formada en aquestes zones tarda uns mil anys a tornar al lloc d'origen. A més a més, aquest corrent profund

contribueix a refredar les masses d'aigua equatorials i s'acosta a la superfície en aquesta zona amb la qual cosa compensa les seves masses d'aigua que són molt càlides.

Rius al mar

Els rius més cabalosos del planeta es troben al mar. Per exemple, el corrent del Golf, que transporta aigües càlides des de les costes atlàntiques dels Estats Units i el Canadà cap a l'oceà Àrtic, desplaça més volum d'aigua que tots els rius del planeta. N'és un altre exemple el corrent circumpolar Antàrtic, que desplaça uns 150 milions de metres cúbics per segon, unes mil vegades el cabal del riu més cabalós del planeta, l'Amazones. Aquests rius marins són la base de la circulació marina i configuren en conjunt una màquina hidrodinàmica que és la que manté la vida al planeta, i no sols transporten calor sinó també nutrients necessaris per als éssers vius.

Als oceans, la vida comença a la superfície, on les microalgues proliferen gràcies a la llum solar i als nutrients que hi ha a les capes superficials. Amb les algues s'alimenten els herbívors i amb els herbívors la resta dels organismes marins. Els nutrients necessaris perquè la vida es desenvolupi als oceans procedeixen dels fons marins i són transportats a la superfície per corrents marins com els que sorgeixen a les zones d'afloreament abans esmentades i després són distribuïts a les capes superficials

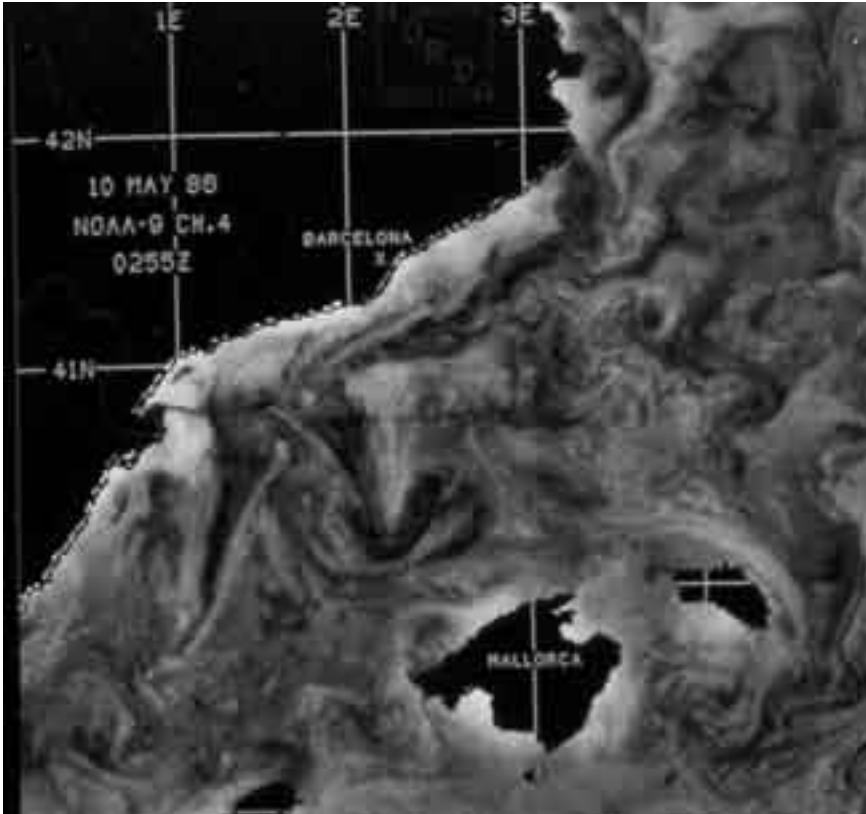


FIGURA 5. Imatge infraroja de satèl·lit on, sobre la superfície del mar, s'aprecia el corrent Català que circula en sentit contrari al de les busques del rellotge per tot el Mediterrani nord-occidental, des del mar de Ligúria fins al canal d'Eivissa. © AVHRR-NOAA processada per Paul La Violette, NORDA, EUA.

dels oceans pels corrents (rius marins). Però hi ha una altra font fonamental de nutrients als oceans, els rius. Aquests arrossequen cap a les zones costaneres els minerals que van arrencant de les roques i els sediments terrestres. A més a més, també porten matèria orgànica, essencial perquè les microalgues puguin créixer. Per consegüent, les aigües continentals transportades pels rius són un element essencial per a la vida marina. Un cop aquesta aigua arriba a la

costa, com es pot veure a les desembocadures dels rius en arribar al mar, és repartida cap a mar oberta pels rius marins, els corrents. El resultat d'aquesta producció biològica i de la circulació marina és que l'aigua del mar és, més que aigua, una sopa. Una sopa de partícules i organismes que, de mitjana, té en tots els oceans un milió de bacteris per mil·lilitre (la meitat de l'aigua que cap en un didal de cosir). Aquest "mannà" és bàsic per entendre la vida als oceans, vida que

coneixem molt bé els humans ja que hem tractat els oceans com una font inesgotable de recursos. Cras error.

No és fàcil entendre o visualitzar els corrents marins, tret que observem com una massa d'aigua que té un color diferent d'una altra es desplaça ràpidament prop de la costa. El color és degut als organismes que viuen en aquesta massa d'aigua com, per exemple, algues vermelles, la proliferació de les quals forma les conegudes "àrees vermelles". Però la forma més fàcil de veure aquest canvi de color és quan les aigües costaneres arrosseguen sediments procedents de les platges o de la costa en general. Però, anem a l'inici d'un riu, a les fonts, i comencem un recorregut cap a la desembocadura. L'aigua que procedeix de les muntanyes o dels aqüífers que alimenten el cabal del riu seria equivalent a aquesta aigua nova que es genera als pols i que nodreix el cinturó de corrent profund. Seguim el cabal del riu que desplaça l'aigua pel desnivell de la muntanya. La força de la gravetat que mou l'aigua seria equivalent als motors dels corrents marins que hem esmentat, la rotació de la Terra, les mareas i els vents. El cabal del riu no segueix sempre la mateixa velocitat i s'alenteix en zones de meandres o quan s'embassa en zones més àmplies o petits llacs. Als oceans, els corrents canvien de direcció per la presència dels continents, muntanyes o serralades marines i acceleren la velocitat als estrets, mentre que la redueixen a les grans badies o en mar oberta. Aquestes zones dels estrets equivaldrien als ràpids dels rius. Moltes vegades, associades a aquests ràpids,

es formen cascades. Però també hi ha cascades als oceans. Per exemple, a l'estret de Skagerrak, situat al nord de Dinamarca, es produeix la cascada més gran del planeta, on l'aigua cau a més de 3.500 metres de profunditat. Al final els rius desemboquen al mar i els corrents marins es difuminen en zones molt àmplies de mar oberta o xoquen amb els continents, on s'enfonsen, i es desplacen per la costa fins que són substituïts per corrents en sentit contrari.

El mar mirall de la terra i a l'inrevés

La similitud entre els corrents marins i els que podem veure en els ecosistemes terrestres en forma de rius ens porta a pensar en un viatge imaginari pels mars i oceans. Aquest viatge podria començar a la platja de qualsevol costa i durant el recorregut intentarem observar els paisatges marins, els organismes que hi viuen i les condicions ambientals, sempre tenint present si les escenes del viatge ens recorden alguna cosa coneguda. Si ens submergim, la primera cosa que sentirem és que els corrents ens dificulten el camí, igual com fan els vents quan passem per un camí o per un prat. Els corrents aixequen la sorra com ho fan els vents i arrosseguen la terra dels camins. Observem grans praderies de plantes marines com les de posidònia al Mediterrani o varecs en altres mars. Aquestes praderies són com els boscos del mar i recorden els boscos terrestres. Sobre les plantes marines i al seu voltant

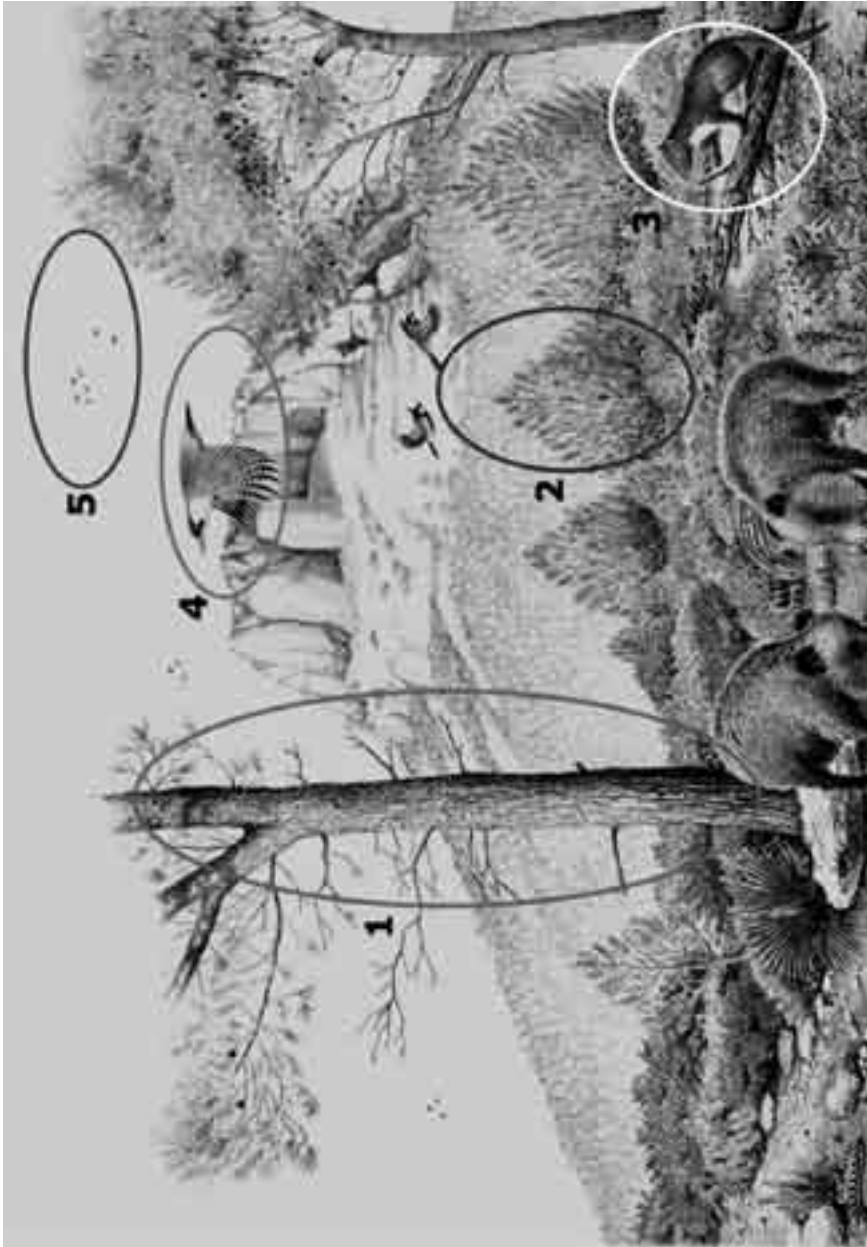


FIGURA 6a. Medi terrestre. Representació gràfica de les analogies d'un viatge imaginari en què es poden comparar els elements més significatius d'ambdós ecosistemes (terrestre i marí). Els arbres correspondrien a les gorgònies o coralls (1), les bardisses a la fauna incrustant o sèssil (2), els consumidors primaris, com els herbívors, a ells mateixos o als filtradors al mar (3), les aus als peixos (4) i els insectes al zooplàncton (5). © Jordi Corbera, Argentona, Barcelona.

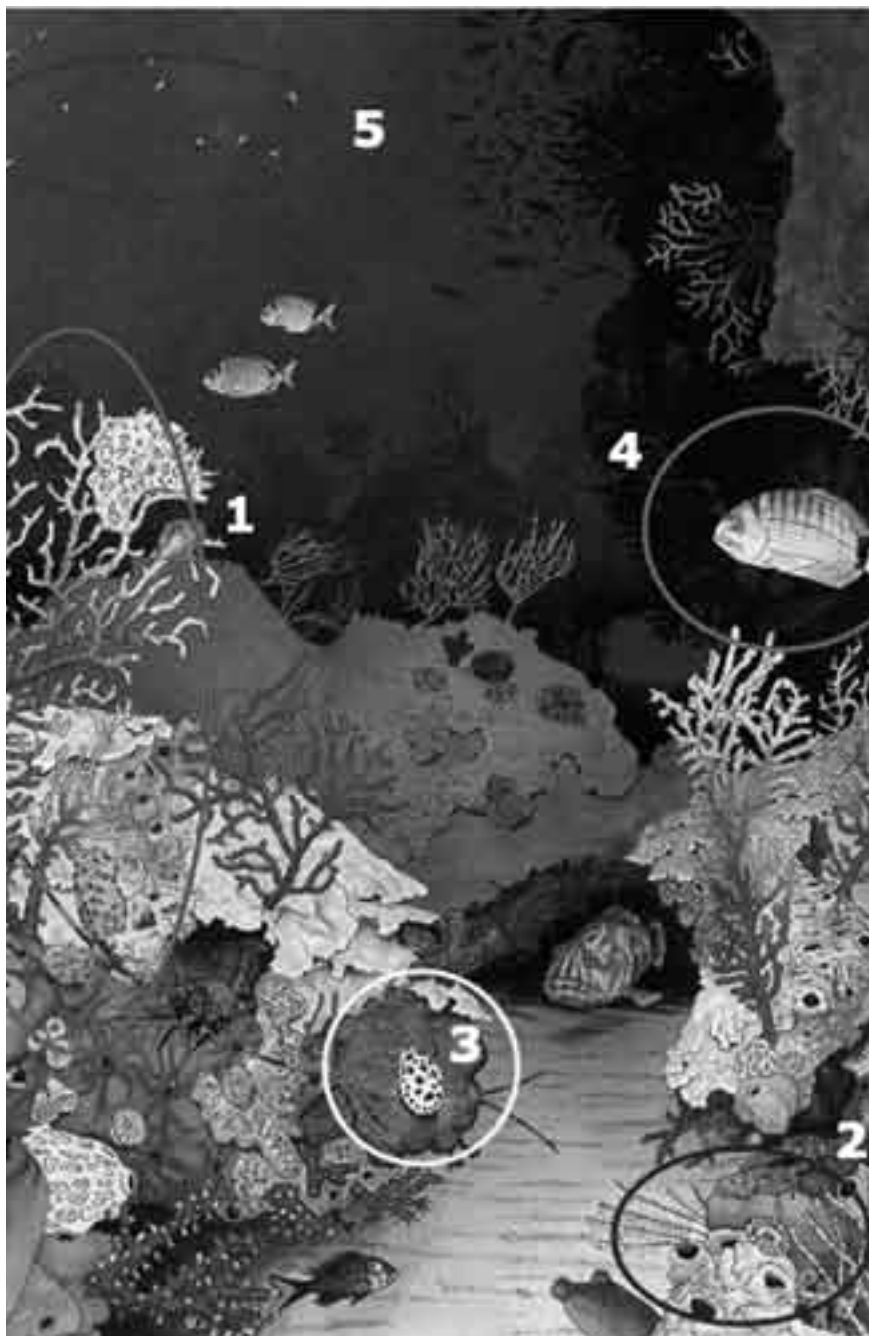


FIGURA 6b. Medi marí.

creixen altres plantes o organismes com ho fan les plantes epífites, fongs i líquens, als arbres o a les plantes terrestres. Si furguem el llit marí, hi trobarem cucs, mol·luscos i crustacis, igual que al sòl dels boscos i prats terrestres. Al subsòl marí es troben els caus dels peixos i els crustacis, que caven els seus forats a la sorra o al sediment, igual que ho fan els rosegadors o els rèptils al subsòl dels boscos i prats. Si observem entre les plantes marines i mirem cap a mar oberta, veurem moles de peixos que conformen núvols d'individus que naden de manera rítmica a les masses d'aigua. De la mateixa manera observem estols d'ocells entre els arbres o els matolls, que també formen núvols amb un vol rítmic a l'aire. Les aletes dels peixos tenen una funció similar a les ales dels ocells, als uns els permeten nedar entre aigües mentre que als altres els permeten volar en l'aire.

El viatge imaginari prossegueix si ens fixem en els detalls. Els eixams de zooplàncton del mar recorden els d'insectes a terra. Les papallones, que neixen dels cucs de seda tancats en capolls fixats en plantes o arbres, en són un exemple fantàstic. Les papallones neixen per a la reproducció sexual. Al mar, les meduses neixen de pòlips adherits a les plantes marines o a la roca per a la reproducció sexual. Molts pòlips generen un tipus de capoll semblant al del cuc de les papallones. Si tallem un tronc o una arrel d'una planta marina, o d'un corall o una gorgònia, veurem que té, igual que els arbres, anells de creixement. Si ens fixem en els animals que habiten entre les algues o els coralls, hi trobem mol·luscos o crus-

tacis herbívors com els cargols o els grans insectes terrestres. Podríem continuar el nostre viatge cap a les profunditats marines, en les quals els boscos de plantes o algues són substituïts per animals com els coralls que constitueixen autèntics boscos petrificats però vius. Hi podrem veure com molts animals marins viuen del fet que els corrents els acostin les preses o la neu marina per alimentar-se i podríem pensar que aquesta estratègia alimentària no existeix en els ecosistemes terrestres. Però, sí, també existeix en terra, i un exemple molt evident d'això són les aranyes, que teixeixen les teranyines i després esperen que el vent transporti les preses i aquestes hi queden atrapades.

Els exemples se succeïen i aquest viatge imaginari comença a deixar de ser-ho, ja que les analogies són una manera de veure l'invisible. De vegades, l'exploració s'ha de nodrir d'imaginació per poder trobar el que es busca o el que es troba inesperadament. Una de les millors maneres d'endinsar-nos en el món que creïem impenetrable dels oceans pot ser la imaginació, això sí, ben dotada d'una gran capacitat d'observació del medi que ens envolta i buscant com i de quina manera deu ser al mar allò que observem a terra. Imaginem-nos, en un passeig per un bosc, que estem caminant sobre el fons marí i "veurem" sense adonar-nos-en, però amb imaginació, com són els fons oceànics.

Els oceans són l'última gran frontera d'exploració de la humanitat, només comparable quant a tecnologia i repte científic a l'exploració de l'espai exterior. Però, hi arribarem a temps? Es podria dir que ens trobem

davant d'una cursa contra rellotge en què el coneixement està perdent davant de l'exploració. Arribarem a poder conèixer-ne tots els secrets abans que els destruïm sense haver-los ni tan sols intuït? Només cal recordar el que està passant a la selva amazònica: la desforestació avança més ràpidament que el descobriment dels enormes secrets que encara amaga, el caràcter essencial dels quals es confirma cada dia per a camps com

la biomedicina i la conservació de la qualitat de vida a la Terra. Als oceans, la situació és potser més dramàtica. El seu futur requereix que no ens oblidem de tot el que ens queda per explorar, per descobrir i, per tant, per conèixer i comprendre. L'exploració és realment una aventura inesgotable de la qual podem fruit a tot arreu, en qualsevol racó a prop nostre i als llocs més llunyans, però també en la nostra imaginació.

REFERÈNCIES CITADES EN EL TEXT

- J. Cousteau. Los humanos, las orquídeas y los pulpos. Explorar y conservar el mundo natural. Editorial Ariel (2008), Barcelona.
- M.B. Deacon. How the Science of Oceanography Developer. A: Oceanography. An illustrated guide (C.P. Summerhayes i S.A. Thorpe, editors). Manson Publishing (1996), Londres.
- R. Ellis. Singing whales and flying squid. The discovery of marine life. The Lyons Press (2005), Guilford.
- T. Heyerdahl. La Expedición de la Kon-Tiki. Editorial Juventud (2002), Barcelona.
- R. Kunzig. Mapping the deep. The extraordinary Store of Ocean Science. Sort of Books (2000), Londres.
- E. Linklater. El viaje del Challenger (1872-1872). Ediciones Serval (1982), Barcelona.
- A. Omedes, J.C. Senar i F. Uribe. Animales de nuestras ciudades. Editorial Planeta (1997), Barcelona.
- J. Ros. Objectiu: L'Antàrtida. Diari de bord d'una campanya oceanogràfica. Editorial Empúries (1999), Barcelona.
- I. Stewart i J. Lynch Herat. The power of the Planet. BBC Books (2007), Londres.
- J.S. Trefil. Un científico a la orilla del mar. Editorial Planeta (1989), Barcelona.

Discovering the Planet's Biodiversity: a Limitless Adventure for Humanity

JOSEP-MARIA GILI SARDÀ. *Professor of Research, Institute of Marine Sciences, Consejo Superior de Investigaciones Científicas*

Today, everything seems near. In just a few hours, we can travel thousands of kilometres and overcome the barriers of natural time. We can live in summer in the morning and go skiing in the snow-covered mountains in the afternoon. Technological development has allowed us to approach the diversity of the planet to the point where we have the sensation that nothing can escape our eyes. The most inaccessible part of the jungle, the deepest cavern or the highest mountain are within the reach of humans. Perhaps we cannot all reach the most inaccessible places, but some (an increasing number) do, and they bring the rest of humanity the stories and images of their discoveries. We have the enormous privilege, compared to previous generations, of being able to learn, with relative ease, about the richness of our planet. But are we really aware of this privilege?

In the present society, at the beginning of the 21st century, everything seems easy and accessible. We only have to turn on the television or the computer and surf through countless channels of information that, with apparent ease, bring us the nature that surrounds us, near or far. This ease is misleading—so much so that we sometimes fail to value the effort and passion for discovery of those who, by their efforts, have created this sensation of ease. Getting close to nature, even that which is furthest away, involves taking a plane and, in less than two days, we can be in places that only a few decades ago were far away and inaccessible, such as the Amazon jungle, the plains of Patagonia or the African savannah.

One result, which I find unacceptable, of this ease of reaching and exploring the most paradigmatic places on Earth is the loss of the passion for exploration and discovery. It seems that exploration is limited to visiting the faraway

places that were nearly unknown until recently. Exploration should be understood as the search for something totally new or exotic. But exploring has other components that are much closer and more personal and which we should recover and value as one of the essences of human nature. Although it is often difficult to believe, the things that are newest or most unknown to us are not necessarily thousands of kilometres away. In the nooks and crannies of the places closest to us, we can discover things and enjoy totally unknown sensations. It still remembers with surprise as, on reading *Guía de Animales de nuestras ciudades* (guide to the animals of our cities), written by A. Omedes, J.C. Senar and F. Uribe, I realized how little I knew the species that lived with us in our most immediate surroundings. The ability to observe, on any normal day while strolling through the streets of my town, some of these species that I had never seen before gave me the feeling of having discovered something new to me and this was comparable to the feeling I have been privileged to experience on seeing species for the first time in Antarctica or on the islands of the Indian ocean.

This coinciding sensation of novelty means that the passion for discovery does not have to be linked to distance or exotic value. In fact, it has been shown that many of the great explorers and discoverers who have travelled the oceans and continents were passionate explorers of their most immediate environments. We need only recall the excellent work by Darwin on the flora and fauna closest to him, such as balanoid crustaceans and carnivorous plants. These writings are full of precise and passionate stories that may well have formed the basis of the training of his observational skills, which would be essential later on and would reach their height in his explorations while travelling on the *Beagle*. It would be safe to say that perhaps many of

the most exciting discoveries that we can make are to be found in the gardens, meadows, forests and beaches of our towns and villages.

Is our planet really so accessible as to think that there is hardly anything left to discover? Quite the contrary. One of the last great explorers, Thor Heyerdahl, leader of the last great ocean expeditions, in an interview about his book, *Kon-Tiki*, was asked what was left to discover and what would become of the adventuring spirit, especially for the new generations, now that we can travel all the oceans and continents. His answer was definitive when he said that the oceans are an immense, blue and hidden world that contained many more surprises than we were aware of. In the same line as Heyerdahl, the great oceanographer, explorer and science popularizer, Jacques Cousteau, in his last autobiographical book *Los Humanos, las orquídeas y los pulpos* (The Human, the Orchid and the Octopus) wrote that we will only respect and rationally use the oceans when we know them. He adds that our lack of knowledge means that we still think that they are an inexhaustible source of resources and a rubbish dump. His position, though initially pessimistic, takes on an edge of hope when he rebels against ignorance and warns that increased knowledge of the oceans will lead to a more hopeful future. Both explor-

ers, who shared their opinions with many sailors, oceanographers and lovers of the sea, centre their optimism on young people. These are the ones who, with a renewed passion for exploring and discovering, will no longer adhere to the saying, "Out of sight, out of mind".

Today, the means to access information on the submerged part of the planet are so varied and lead to such exciting adventures that it is difficult to imagine that curious youth could allow them to be lost. A wonderful recent example is the story of Robert Kunzig, an explorer of the 21st century who, on manned submarines, penetrates the immense space of the oceans. Kunzig, in his book *Mapping the Deep*, reflects on the fact that interest in astronomy has grown in society. There is no barrier to our visual capacity and outer space, except the clouds that, in a few hours, cease to be an obstacle. The oceans and the sea bed are covered by a layer of water that does hide them. But this layer can now be penetrated and the ability to do so is as exciting as escaping with ships and rockets into outer space. It seems surprising that astronauts have walked on the moon and yet only two argonauts have reached the deepest parts of the oceans. In 1960, Jacques Picard and Dan Walsh reached the Marianas Trench, at a depth of almost 11,000 metres, on board a bathyscaphe designed by the



FIGURE 1. Progress in ocean exploration has allowed us to observe marine life at increasing depths.

- 1a. A crucial step was the development of the autonomous diving suit that made exploration possible up to depths of 70 m. © David Díaz, IEO, Palma de Mallorca.
- 1b. A box-core that can reach a depth of more than 3000 m to bring to the surface a small, almost intact sample of the seabed. © Enrique Isla, ICM-CSIC, Barcelona.

scientist August Picard, one of the great heroes of technological innovation, characterized by Hergé as Professor Calculus in the *Adventures of Tintin*. Nine years later, in 1969, Neil Armstrong and Edwin Aldrin reached the moon on board the space ship Apollo XI.

Since then, history has turned its back on the oceans. This can be explained but not justified. This long but recent history is full of anecdotes that make it even more “amazing”. For example, one of Cousteau’s dive captains, Claude Wesley, trained the first astronauts in zero gravity. When Joandomènec Ros explained, in his book *Objectiu: l’Antàrtida* that the most similar thing to a wintering in Antarctica was being an astronaut, we can imagine that the great adventure of humankind in the exploration of outer space still has its parallels in the most extreme places of our planet. Antarctic explorers, astronauts and argonauts; the latter are the other great heroes of current human exploration —those who, with sophisticated equipment, penetrate the ocean depths in search of a world, a planet that is still as unknown to us as outer space, or more so.

Unknown oceans

Our knowledge of the oceans is still highly precarious. For example, during the last great oceanographic expedition, carried out by the corvette *Challenger* in 1872, it was still thought that there was no life beyond a depth of 2000 metres. There was a concept of azoic (lifeless) regions as, according to the opinion of the scientist Edward Forbes in 1840, there could be no life below a depth of 780 metres in the oceans. The story of the expedition led by the scientist Charles W. Thomson, told by Erik Linklater in his book *El viatge del Challenger* (*Voyage of the Challenger*), describes in detail the great desire of all the participants to refute the possibly mistaken ideas of the time that were due, above all, to the sparse knowledge of life in the oceans. Their great surprise came when, after hours of waiting, they brought up the first deep dredging, which contained unknown living organisms collected at a depth of 4000 metres and the surprises continued throughout the three years of their voyage around the world. This expedition had the same relevance for oceanography and knowledge of the oceans as the expedition of Charles Darwin on the *Beagle* in 1831 had for biology.

In his history of oceanography, M.B. Deacon places its origins in the works in the Mediterranean of scientists such as L.F. Marsilli, J.S. Von Waitz and A. Marcert on marine currents, between 1725 and 1820. Many advances have their origins in activities relating to the installation of the first telegraph cables, such as the one across the English Channel in 1851, submarine navigation and the development of radar for warships in the Second World War. An example of these technological advances was the development of acoustic detection systems that made it possible to locate submarines in open water. In the initial trials, these systems detected “shadows” that would have corresponded to ships more than a kilometre in length, which was clearly not possible. These shadows were enormous shoals of gelatinous organisms, such as siphonophores or other organisms that were not yet known to be able to form such large shoals, such as squid. But perhaps one of the most significant episodes of the relatively young history of the discovery of the oceans was the finding of living communities associated with the hot-water hydrothermal vents in the undersea mountain ranges, in which the life of the organisms is based on chemical energy different from that which we held to be exclusive on the planet, based on oxygen and carbon. These discoveries are recent —the first such community was discovered near the Galapagos Islands in 1977, at a depths of 2636 metres — and have led us to reconsider the origins of life on Earth.

But perhaps the first marine biologist was not an excited oceanographer but a curious observer interested in what the sea could give us. In a beautiful story in his book *Singing Whales and Flying Squid*, Richard Ellis tells us that the first people to learn about the sea were the shellfish collectors looking for shells on the beaches or the fishermen catching fish in their nets. It is not surprising, therefore, that the origins of marine biology, besides the Mediterranean coasts, was the harvesting of the fruits of the low tides of European Atlantic beaches. At low tide, the beaches and coasts are an open book in which the waters that block our sight of what lies beneath have been withdrawn, as if we had opened the cover of a book and could now see the pages with their written secrets before our eyes. This natural school meant that books on marine biology focused on the most exposed areas and, with time, on the development of new technology that would allow us to explore the



FIGURE 2. Advances in ocean exploration are linked to technological development.
 2a. JAGO exploration, IFM-GEOMAR, Kiel, Germany, works up to depths of 500 m.
 2b. The Johnson-Sea-Link of the Harbor Branch Oceanographic Institution, Fort Pierce, USA can submerge to a depth of 1000 m and is currently one of the best-equipped. © Francesc Pagès, ICM-CSIC, Barcelona.

seas and oceans at greater depths. The books refer to increasingly greater areas and greater depths. Today, the books that most attract the interest of scientists are those that report on knowledge of the deep ocean.

The beaches and coastline continue to be a school in which we can learn about many aspects of how the most immediate part of the sea is and how it works. The physicist J.S. Trefil, in his book *Un científico a la orilla del mar* (A scientist at the seashore), provides a scientific view of what we normally look at without really seeing during a stroll along the beach. Trefil asks many questions that can be answered with observation and exploration of the objects, phenomena and sensations that we experience while walking along the coast. Observing the periodicity and height of the waves and the direction and strength of the wind, the marks in the sand, the remains of organisms and objects that the water washes up on the sand, their distance from the sea shore and many other things can tell us why beaches are the way they are—their shape, type of sand, what organisms live on the coast, etc. What is important is that observation of our surroundings awakes in us the ability to explore. A stroll along the coast actively observing things around us, lifting the strands of seaweed or looking under rocks can be a genuine and exciting journey of discovery and exploration. It is a way of exercising our great capacity for discovery that, for no good reason, we do not know how to exploit.

But the still precarious knowledge of the oceans has led to abuse rather than use of re-

sources. In recent decades, exploitation of the oceans has become totally unsustainable. We only have to visit the market to see the scarcity and price of fish. The oceans continue to contribute 20 percent of all the animal protein we consume, as we continue to fish more than 180 tonnes, of which 50 tonnes are undeclared. This has meant that more than 70 percent of the fishing grounds are overfished and 20 percent are almost depleted. Where do we think we are headed? The truth is that we don't know for sure but what we have achieved with this overfishing is to significantly change the oceans. For example, the proliferation of jellyfish reaching our shores and the far greater numbers further out to sea are an echo of these changes. Because fishing has reduced the number of fish, which are the jellyfish' natural predators and competitors for food, the jellyfish are taking their place in the marine food chains. Everything tends toward simplification, fewer species, more pollutants and more waste.

The oceans continue to be one of the great unknowns for humans. We have only explored a bare 20 percent of them so that, if the oceans cover 70 percent of the planet, we still have more than half the planet left to explore. For example, we now know that there are more than 10,000 undersea mountains in all the oceans, yet we have only explored 200 of them. These marine mountains are areas of high biodiversity. Barely 200,000 of the 10 million species thought to live in the oceans have been recorded. Moreover, the open ocean, with average depths of 3000 metres, is full of organisms about which we

still know very little, such as gelatinous plankton (jellyfish and the like).

Although real exploration of the oceans began a short time ago, we have to go back to the origins of our culture, in ancient Greece, to discover the contribution of human intuition to the great adventure of knowledge. Thanks to their sailors, the Greeks knew of the existence of the marine current that flowed from beyond the Straits of Gibraltar into the Mediterranean Sea. They called this current *Okeanos* and believed that it went around the world. They thought that seawater was like a huge mass that went round a world that Pythagoras first suggested might be a sphere. As J. Stewart and J. Lynch Herat explain in their magnificent work of

A journey of a thousand years

When we observe the Earth from space, we can see that more than 70 percent of the surface is covered by the large body of water that makes up the oceans. This large blue mass seems like a tub full of apparently uniform water. However, as we get closer and look in greater detail at the surface, it is easy to see that, in fact, it is a viscous, heterogeneous mass in continuous movement. In satellite images, it seems that the surface of the sea is ploughed. The reason for this phenomenon lies in the movement of the ocean waters.

If the tub we mentioned earlier is gently moved, we can see the water it contains does



FIGURE 3. 3a. Community of corals formed by colonies of *Madrepora oculata* at a depth of 300 m on the walls of a submarine canyon off Cap de Creus, seen from the JAGO submersible. © JAGO-GEOMAR, Kiel, Alemania.

3b. Colony of *Stephanomia amphytridis* siphonophores taken by the Japanese submarine, Shinkai 6500, in the area of the Bay of Sagami, Japan at a depth of 839 m and a water temperature of 3.7°C © Dhugal Lindsay, JAMSTEC, Yokosuka, Japan

popularization, *The power of the Planet*, it was the intuitive study of the oceans that advanced our current knowledge of the Earth, rather than other studies such as astronomy, though it has unjustly had a smaller impact on human culture. Perhaps the best way of getting at the truth of the intuition of the first great observers and explorers of the oceans is to examine to what point they were right, based on our current knowledge. Today, we know that the ocean current that, according to the Greeks, went round the world, is real and that its journey round the world takes a thousand years. Let us examine the basis of this journey of exploration.

not remain still but moves to the rhythm of the movement we impose on it. Hence, we can say that the masses of water of the oceans move due to the rotation of the Earth itself. If we lift up one or other side of the tub, we will see the water move and alter the circular movement of the entire contents. This is the situation created by the attraction of the Moon, which gives rise to the tides and periodically causes the total height of the columns of water to rise and fall at either side of the continents. Thus we have two main motors of ocean circulation—the rotation of the Earth and the tidal system. But if we put an object, such as a stick, in the tub, we will see

the movement of the water alter as it meets the object and its direction changes. On Earth, there is a large variety of obstacles, particularly the continents, that mark the boundaries of each ocean tub and force the waters to pass through areas that are sometimes wider, such as the Pacific Ocean, and sometimes narrower, such as the channel between South Africa and Antarctica.

The surface waters of the oceans are subject to the effects of the winds that push them and move them to a greater or lesser extent. This phenomenon is the fourth motor of ocean circulation—the winds. For example, the winds can speed up the current driven by the other motors or slow it down by blowing in the opposite direction. When the wind blows from the continents toward the ocean, the surface waters of the coast move out to sea. This phenomenon is quite common at the edges of the continents and causes deeper waters to rise to the surface in upwellings. It is in these areas of the planet where we can see a situation of highly heterogeneous marine circulation.

We will now look at the last great motor of ocean circulation—temperature. As the planet is a spherical body, it receives more energy from the Sun at the equator; this energy gradually decreases toward the poles. Thus, we have a situation where the surface waters become warmer at the equator and colder water is found at the poles. Seawater absorbs heat from the Sun but a large part of this heat is stored only in the surface layer. A few metres down, generally no further than 10 meters, the water becomes cooler and its temperature gradually drops as we reach

the deepest and coldest layers of the oceans. The warm surface water is less dense, less heavy than the cold deep water. When the bodies of water are moved by the forces of rotation, the winds and the tides, the less dense waters move faster than the denser waters, causing a vertical gradient in the oceans, like differentiated layers. These layers are separated by interfaces (regions of discontinuity) where the gradients or temperature changes are more marked; these regions are known as thermoclines. Hence, the ocean is like a pastry of many layers in constant motion; these layers are very wide in the central areas of the oceans and smaller and closer near the coasts of the continents. The water moves in layers, like the floors of an apartment building, in the form of large surface currents that are warm in the equatorial regions and cold in the polar regions.

The map of the planet's currents can be seen as a group of rivers that flow through the surface layers and are compensated by currents in the opposite sense in the intermediate and deep layers. When a body of water is moved by the current, it is compensated by another current of denser water just below, which flows in the opposite sense. Marine circulation brings warmer water from the equator to the poles and brings the water from the poles to the warmer regions. Thus, the system of ocean currents is like the Earth's cooling system. It distributes heat and cools down the bodies of water, thereby maintaining a climatic balance that allows life to exist on Earth.

Part of the body of water evaporates in the tropical regions to accumulate later as rain and



FIGURE 4. New techniques in ocean exploration have made it possible to discover:

- 4a. that the most inhospitable areas, such as the Antarctic ocean, contains some of the greatest biological diversity on the planet and
- 4b. the real state of many marine beds dredged by the nets used in trawling. © Julian Gutt, AWI, Bremerhaven, Germany.

snow in the austral and boreal regions. The accumulated ice in the Arctic and Antarctic are reserves of water that return to the sea after the thaw. When spring comes, part of the glaciers and ice floating in the sea at the poles melts. This process causes colder and therefore heavier water to be formed, which sinks to the deeper layers. This new seawater is what drives the rest of the deep waters, giving rise to what is known as the deep ocean conveyor belt. These areas of water formation are located in Greenland in the Arctic and to the north of the Weddell Sea in Antarctica. They are like the lid of the fuel tank of a car that needs to refuel in order to drive. A drop of water formed in these areas takes approximately a thousand years to return to its

point of origin. This current also helps to cool the bodies of equatorial water and rises to the surface in these regions, thereby compensating their bodies of very warm water.

Rivers in the sea

The biggest rivers on the planet are in the sea. For example, the Gulf Stream, which transports warm water from the Atlantic coast of the United States and Canada to the Arctic Ocean, moves a greater volume of water than all the rivers on the planet. Another example is the Antarctic Circumpolar Current, which moves 150 million cubic metres of water per second—a thousand

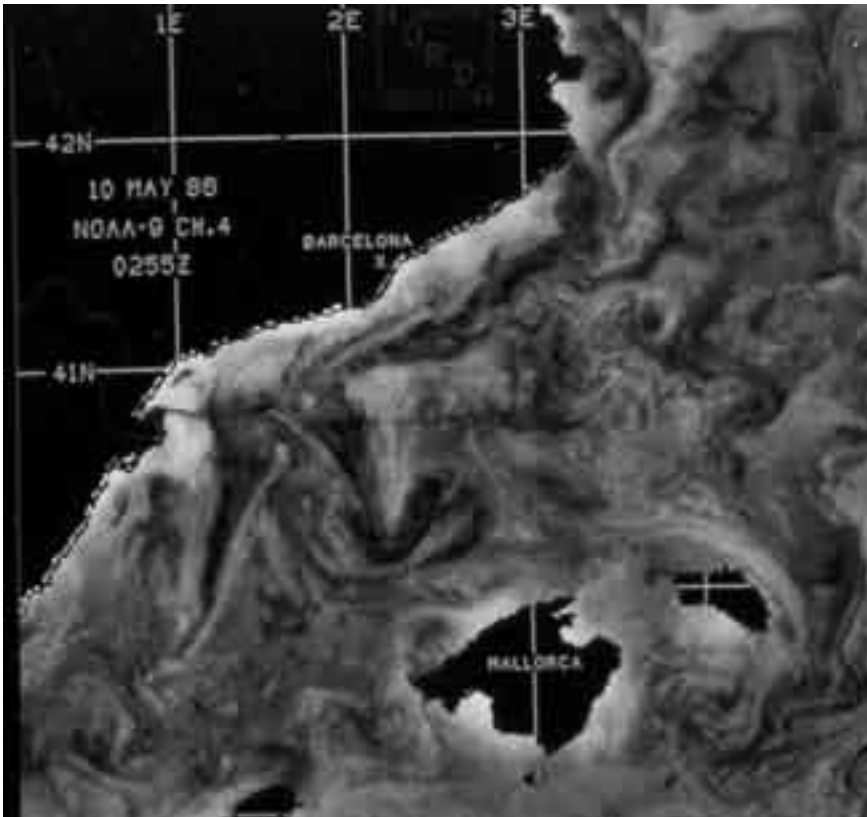


FIGURE 5. Infrared satellite image of the sea surface shows how the Catalan current circulates anticlockwise throughout the north-western Mediterranean, from the sea of Liguria to the Ibiza channel. © AVHRR-NOAA processed by Paul La Violette, NORDA, USA.

times the flow of the Amazon, the largest river on the planet. These vast marine rivers are the basis of marine circulation and, together, constitute a hydrodynamic engine that maintains life on Earth, transporting not only heat but also the nutrients required by living things.

In the oceans, life begins at the surface, where microalgae proliferate thanks to sunlight and the nutrients in the surface layers. They are fed on by the herbivores, which are fed on by the rest of marine organisms. The nutrients required for life to develop in the oceans come from the seabed and are transported to the surface by the ocean currents such as those that arise in the areas of upwelling previously mentioned; these nutrients are then distributed throughout the surface layers of the oceans by the currents (marine rivers). But there is another fundamental source of nutrients in the oceans—the rivers. The rivers carry land sediments and minerals from the rocks to the coast. They also carry organic material that is essential for the growth of the microalgae. Thus, the continental waters transported by the rivers are an essential element for marine life. When this water reaches the coast, as can be seen at the mouths of rivers, it is carried out to sea by the ocean currents. The result of this biological production and marine circulation is that seawater is more like a soup than like water: a soup of particles and organisms that, on average, contains a million bacteria per millilitre (half the contents of a thimble) in all the oceans. This *manna* is basic to understanding life in the oceans—life that we humans know well as we have treated the oceans as an inexhaustible supply of resources. Big mistake!

It is not easy to understand or visualize the ocean currents until we observe how a body of water of a different colour moves rapidly near the coast. The colour is due to the organisms that live in this body of water, such as the red algae that proliferate in what is known as the red tide. But the easiest way to observe this change of colour is when coastal waters carry sediment from the beaches or the coast in general. Let us go to the source of a river and follow it to its mouth. The water that comes from the mountains or from the aquifer that feeds the river would be the equivalent of the new water generated at the poles, which feeds the deep ocean conveyor belt. We follow the course of the river as it carries the water down the mountain. The force of gravity that moves the water is the equivalent of the motors that drive the

ocean currents—the rotation of the Earth, the tides and the wind. The river does not always flow at the same speed and slows in meanders or when it collects in large or small lakes. In the oceans, the currents change direction due to the presence of continents, undersea mountains or mountain ranges, and accelerate in their passage through straits and slow down in large bays or in the open sea. These straits are the equivalent of rapids in the rivers. The rapids often contain waterfalls. And there are also waterfalls in the oceans. For example, in the strait of Skagerrak, to the north of Denmark, we can find the largest waterfall on the Planet: the water falls to a depth of more than 3500 metres. Finally, the rivers empty into the sea and the marine currents dissipate over wide areas of open sea or collide with continents, where they sink and move along the coast to be replaced by currents flowing in the opposite sense.

The sea, a mirror of the land and viceversa

The similarities between the ocean currents and those we can see in land ecosystems in the form of rivers can help us to think of an imaginary journey through the seas and oceans. This journey could begin on the beach of any coast and, over time, we could try to observe the *marinescapes*, the organisms living in them and the environmental conditions, while seeing that the scenes along the journey always remind us of something we are familiar with. If we submerge ourselves, the first thing we will notice is that the currents hinder our journey as much as does the wind when we stroll along a path or through a meadow. The currents stir up the sand, as does the wind when it blows dust along the path. We will see large meadows of marine plants such as poseidonia in the Mediterranean or kelp in other seas. These meadows are like sea forests and remind us of forests on land. Other plants and organisms grow on these marine plants, as epiphyte plants, fungi and lichens grow on the trees and plants on land. If we search the seabed, we will find worms, molluscs and crustaceans, just as we would find them on the floor of terrestrial forests and meadows. The marine subsoil is home to fish and crustaceans that dig their holes in the sand or sediment, just like rodents and reptiles in the subsoil of forests and meadows. If we look among the marine plants

and out to the open sea, we will see shoals of fish that make up clouds of individuals swimming rhythmically through the bodies of water. In the same way, we can see flocks of birds in the trees or bushes, which also form cloud-like flocks in rhythmic flight through the air. The fins of the fish have a similar function to the wings of birds—swimming through the water and flying through the air.

The imaginary journey continues if we observe the details. The clouds of zooplankton in the sea remind us of insects on the land. A fantastic example is the butterfly, which starts life as a caterpillar shut in a cocoon attached to a plant or tree. Butterflies are born for sexual reproduction. In the sea, jellyfish are born from polyps attached to marine plants or rocks for sexual reproduction. Many polyps create a type of cocoon similar to those of caterpillars. If we cut the trunk or root of a marine plant, or of a coral or gorgonian, we will see that, like trees, it has growth rings. If we examine the animals roaming among the seaweed or coral, we will find herbivorous molluscs and crustaceans, like snails and large insects on land. We could continue our journey to the deep sea, where the forests of plants or seaweed are replaced by animals such as corals, which constitute genuine petrified, though living, forests. We could see how many animals live from the prey brought to them by the currents or the food provided by the marine snow and we might think that there is no similar feeding strategy in terrestrial ecosystems. But

they do exist on land: spiders spin their webs in the hope that the wind will blow their prey to them, where it will become trapped.

So the examples continue and this imaginary journey ceases to be imaginary, as analogies are simply a way of seeing the invisible. Exploration sometimes needs to be fed by the imagination in order to find what we seek or what we find unexpectedly. One of the best ways of entering what we believed to be the impenetrable world of the oceans may be via the imagination; but we require a good ability to observe the environment around us to wonder how what we see on land might be in the sea. We can imagine, in a stroll through a forest, that we are walking along the seabed and “see” without realizing, with our imagination, how the ocean beds might be.

The oceans are the last great frontier for human exploration. This is only comparable, in terms of technology and the scientific challenge involve, to the exploration of outer space. But will we be in time? We could say that this is a race against time in which knowledge is losing to exploitation. Will we learn all its secrets before we destroy it without even having guessed at them? We only have to remember what is happening in the Amazon jungle: deforesta-



FIGURE 6. Graphic of the analogies of an imaginary journey in which the most significant elements of both ecosystems, terrestrial and oceanic, can be compared. Trees would correspond to gorgonians or corals (1), the bramble hedges to the incrustated or sessile fauna (2), the primary consumers like herbivores would correspond to themselves or to the filter feeders in the sea (3), birds to fish (4) and insects to zooplankton (5). © Jordi Corbera, Barcelona, Argentina.

tion is advancing faster than we can discover the enormous secrets it still holds —secrets whose essential nature is confirmed each day in fields such as biomedicine and conservation of the quality of life on Earth. The situation is perhaps more dramatic in the oceans. Their future re-

quires that we do not forget that there is much left for us to explore, to discover and, therefore, to learn and understand. Exploration really is an inexhaustible adventure that we can enjoy everywhere, in any corner near to us, in the most faraway places, but also in our imagination.

REFERENCES CITED IN THE TEXT

- J. Cousteau. Los humanos, las orquídeas y los pulpos. Explorar y conservar el mundo natural. Editorial Ariel (2008), Barcelona
- M.B. Deacon. How the Science of Oceanography Developer. In: Oceanography. An illustrated guide (C.P. summerhayes y S.A. Thorpe, editores). Manson Publishing (1996), Londres.
- R. Ellis. Singing whales and flying squid. The discovery of marine life. The Lyons Press (2005), Guilford.
- T. Heyerdahl. La Expedición de la Kon-Tiki. Editorial Juventud (2002), Barcelona.
- R. Kunzig. Mapping the deep. The extraordinary Store of Ocean Science. Sort of Books (2000), Londres.
- E. Linklater. El viaje del Challenger (1872-1872). Ediciones Serval(1982), Barcelona.
- A. Omedes, J.C. Senar y F. Uribe. Animales de nuestras ciudades. Editorial Planeta (1997), Barcelona.
- J. Ros. Objectiu: L'Antàrtida. Diari de bord d'una campanya oceanogràfica. Editorial Empuréis (1999), Barcelona.
- I. Stewart y J. Lynch Herat. The power of the Planet. BBC Books (2007), London.
- J.S. Trefill. Un científico a la orilla del mar. Editorial Planeta (1989), Barcelona.