

A vibrant underwater photograph of a coral reef. The scene is dominated by large, branching coral structures in shades of red, pink, and purple. Smaller, yellowish-orange coral patches are interspersed throughout. Several small, dark fish are visible swimming in the clear blue water. The lighting is bright, highlighting the textures and colors of the marine life.

# **L'oceà que volem: ciència oceànica inclusiva i transformadora**

Editat per

Josep Lluís Pelegrí

Josep-Maria Gili

Maria Victoria Martínez de Albéniz

Institut de Ciències del Mar, CSIC





# **L'oceà que volem: ciència oceànica inclusiva i transformadora**

Editat per

Josep Lluís Pelegrí  
Josep-Maria Gili  
Maria Victoria Martínez de Albéniz

Capítols coordinats per

Silvia G. Acinas, Laura Arin, Vanessa Balagué, Rafael Bartolomé,  
Mercedes Blázquez, Andrea G. Bravo, David Casas, Pedro Cermeño, Marta Coll,  
Blanca Figuerola, Carolina Gabarró, Jordi Isern, Enrique Isla, Ramiro Logares,  
Joan Navarro, Cristina Romera, Clara Ruiz-González, Gonzalo Simarro,  
Carine Simon, Jordi Sorribas, Marco Talone, Arantza Ugalde

Institut de Ciències del Mar, CSIC  
Barcelona, 2022

Les notícies, les assercions i les opinions contingudes en aquesta obra són de l'exclusiva responsabilitat de l'autor o autors. L'editorial, per part seva, només es fa responsable de l'interès científic de les seves publicacions



**2021  
2030** Dècada de les Nacions Unides  
de la Ciència Oceànica  
per al Desenvolupament Sostenible



OceanCities



**Institut  
de Ciències  
del Mar**



EXCELENCIA  
SEVERO  
OCHOA



Instituto de Investigaciones Pesqueras  
*Siete décadas de investigaciones marinas*



GOBIERNO  
DE ESPAÑA

MINISTERIO  
DE CIENCIA  
E INNOVACIÓN



**CSIC**

CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS



Citació recomanada:

Pelegrí J.L., Gili J.M., Martínez de Albéniz M.V. (eds.). 2022. *L'oceà que volem: ciència oceànica inclusiva i transformadora*. Institut de Ciències del Mar, CSIC, Barcelona.

Catàleg de publicacions de l'Administració General de l'Estat: <https://cpage.mpr.gob.es>

Editorial CSIC: <http://editorial.csic.es> (correo: [publ@csic.es](mailto:publ@csic.es))

© CSIC, 2022 Aquesta és una obra que es distribueix sota Llicència Creative Commons Atribució 4.0 Internacional (CC BY 4.0)

© J. L. Pelegrí, J. M. Gili i M. V. Martínez de Albéniz (eds.), i de cada text, el seu autor

Disseny gràfic i maquetació: Jordi Corbera

Fotografia de la coberta: Jordi Regàs

Impressió i enquadernació: Tòrculo

ISBN: 978-84-00-10969-1

e-ISBN: 978-84-00-10970-7

NIPO: 833-22-044-3

e-NIPO: 833-22-046-4

Dipòsit Legal: M-9641-2022

Imprès a Espanya / Printed in Spain.

En aquesta edició s'ha utilitzat paper ecològic sotmès a un procés de blanquejat ECF, la fibra del qual procedeix de boscos gestionats de forma sostenible.



# Taula de continguts

Els 70 anys d'història de l'Institut de Ciències del Mar i la Unitat de Tecnologia Marina marquen l'inici de la Dècada dels Oceans: cap a una ciència oceànica inclusiva i transformadora

Josep L. Pelegrí, Maria Victoria Martínez de Albéniz, Josep-Maria Gili, Jordi Sorribas..	9
L'Institut de Ciències del Mar que volem: recerca marina d'excel·lència amb compromís social	
Valentí Sallarès, Josep L. Pelegrí, Josep M. Gasol, Sònia Sagristà.....	15

## 1. Oceà net

Andrea G. Bravo, Silvia G. Acinas, Cristina Romera.....	19
1.1. Microorganismes marins i biotecnologia blava	
Josep M. Gasol, Ramon Massana, Maria Montserrat Sala, Marta Sebastián, Ramiro Logares, Pablo Sánchez, Silvia G. Acinas .....	20
1.2. Història de la contaminació de metalls pesants en els sediments del mar Català	
Albert Palanques, Pere Puig, Jorge Guillén.....	24
1.3. El mercuri en un oceà canviant	
Andrea G. Bravo, Isabel Sanz-Sáez, Amina T. Schartup .....	27
1.4. Soroll de fons	
Cristina Romera-Castillo, Lorenzo Bramanti .....	30
1.5. Brossa marina, la nova plaga de mars i oceans	
Eve Galimany, Elena Marco-Herrero, Montserrat Ramón.....	33
1.6. Estratègies internacionals i els reptes de la societat: cap a un mar sense plàstic	
Cristina Romera-Castillo, Vanessa Sarah Salvo .....	36

## 2. Oceà saludable i resilient

Clara Ruiz-González, Enrique Isla, Joan Navarro.....	39
2.1. L'organisme planetari	
Josep L. Pelegrí .....	40
2.2. L'impacte de l'oceà Austral sobre el clima	
Anna Olivé Abelló, Josep L. Pelegrí .....	44
2.3. La vida als oceans: de la màgia de les estrelles al coneixement científic del plàncton	
Magda Vila, Vanessa Balagué.....	47
2.4. Microorganismes en un oceà canviant	
Maria Montserrat Sala, Josep M. Gasol, Ramon Massana, Dolors Vaqué.....	50
2.5. Un oceà microbià sense barreres: connectant els microorganismes dins i fora del medi marí	
Clara Ruiz-González, Marta Sebastián, Josep M. Gasol .....	53
2.6. Proliferacions d'organismes fotosintètics: cara i creu dels pilars dels ecosistemes marins	
Elisa Berdalet, Laura Arin, Magda Vila, Laia Viure .....	56
2.7. Simbiosi: una font d'innovació per a sobreviure a un oceà desafiador	
Francisco M. Cornejo-Castillo, Lucía Pita .....	59

2.8. Els peixos en un escenari de canvi global: la importància dels primers estadis del cicle vital per a la conservació de les poblacions naturals	
Ana Sabatés, M. Pilar Olivar, Vanesa Raya, Joan Mir-Arguimbau, Ainhoa Bernal	62
2.9. Carismàtics, amenaçats i desconeguts: depredadors marins a l'Antropocè	
Joan Giménez, Francisco Ramírez, Marta Coll, Joan Navarro	65
2.10. Integritat ecològica dels fons marins: conciliar conservació i explotació	
Montserrat Demestre, Silvia de Juan, Alfredo Garcia-de-Vinuesa	68
2.11. Els colors canviants de la vida marina antàrtica	
Enrique Isla, Julian Gutt	71
2.12. Restauració d'ecosistemes profunds del marge català	
Jordi Grinyó, Maria Montseny, Patricia Baena, Stefano Ambroso, Andreu Santín, Marina Biel, Guillem Corbera, Janire Salazar, Josep-Maria Gili	74
2.13. Pescadors i científics: sinergies per a l'ús, conservació i sostenibilitat del medi marí	
Andreu Santín, Jordi Grinyó, Stefano Ambroso, Patricia Baena, Marina Biel, Guillem Corbera, Janire Salazar, Maria Montseny, Josep-Maria Gili	77
2.14. Observant des de la distància: noves tecnologies per a una millor gestió de l'oceà	
Francisco Ramírez, Isabel Afán, Nixon Bahamon, Marta Coll, Joan Giménez, Joan Navarro, Jeroen Steenbeek	80
2.15. Cap a un transport marítim renovable per a un oceà resilient i saludable	
Jordi Solé, Antonio García-Olivares	84
2.16. Adaptant les platges per al futur	
Jorge Guillén, Ruth Durán, Gonzalo Simarro	87
<b>3. Oceà productiu</b>	
Mercedes Blázquez, Laura Arin, Blanca Figuerola	91
3.1. El sistema oceà-atmosfera com a col·lector i distribuïdor de calor	
Dorleta Orúe-Echevarría, Ignasi Vallès-Casanova, Josep L. Pelegrí	93
3.2. Base física de la producció primària als oceans	
Josep L. Pelegrí, Dorleta Orúe-Echevarría, Anna Olivé Abelló, Ignasi Vallès-Casanova	96
3.3. Controls de la dinàmica del fitoplàncton al mar Català	
Marta Estrada, Miquel Alcaraz, Laura Arin	99
3.4. El poder dels productors primaris unicel·lulars	
Pedro Cermeno, Carmen García-Comas, Caterina R. Giner, Ramiro Logares, Cèlia Marrasé, Ramon Massana, Carlos Pedrós-Alió, Maria Montserrat Sala, Rafel Simó, Javier Tamames, Sergio Vallina	102
3.5. Eines òmiques per a la gestió dels recursos vius i la protecció de la biodiversitat dels oceans	
Francesc Piferrer	105
3.6. Benestar animal a les ciències marines	
Mercedes Blázquez, Guiomar Rotllant, Roger Villanueva	108
3.7. Contribució dels bivalves als serveis ecosistèmics del litoral	
Montserrat Ramón, Eve Galimany	111
3.8. Seguiment i recuperació d'espècies afectades per la pesca en ecosistemes marins d'aigües profundes: un esforç conjunt entre biologia i tecnologia	
Jacopo Aguzzi, Joan Navarro, Maria Vigo, Ivan Masmitja, Nixon Bahamon, José Antonio García, Guiomar Rotllant, Laura Recasens, Jordi Grinyó, Marc Carreras, Joaquín del Río, Spartacus Gomariz, Joan B. Company	114

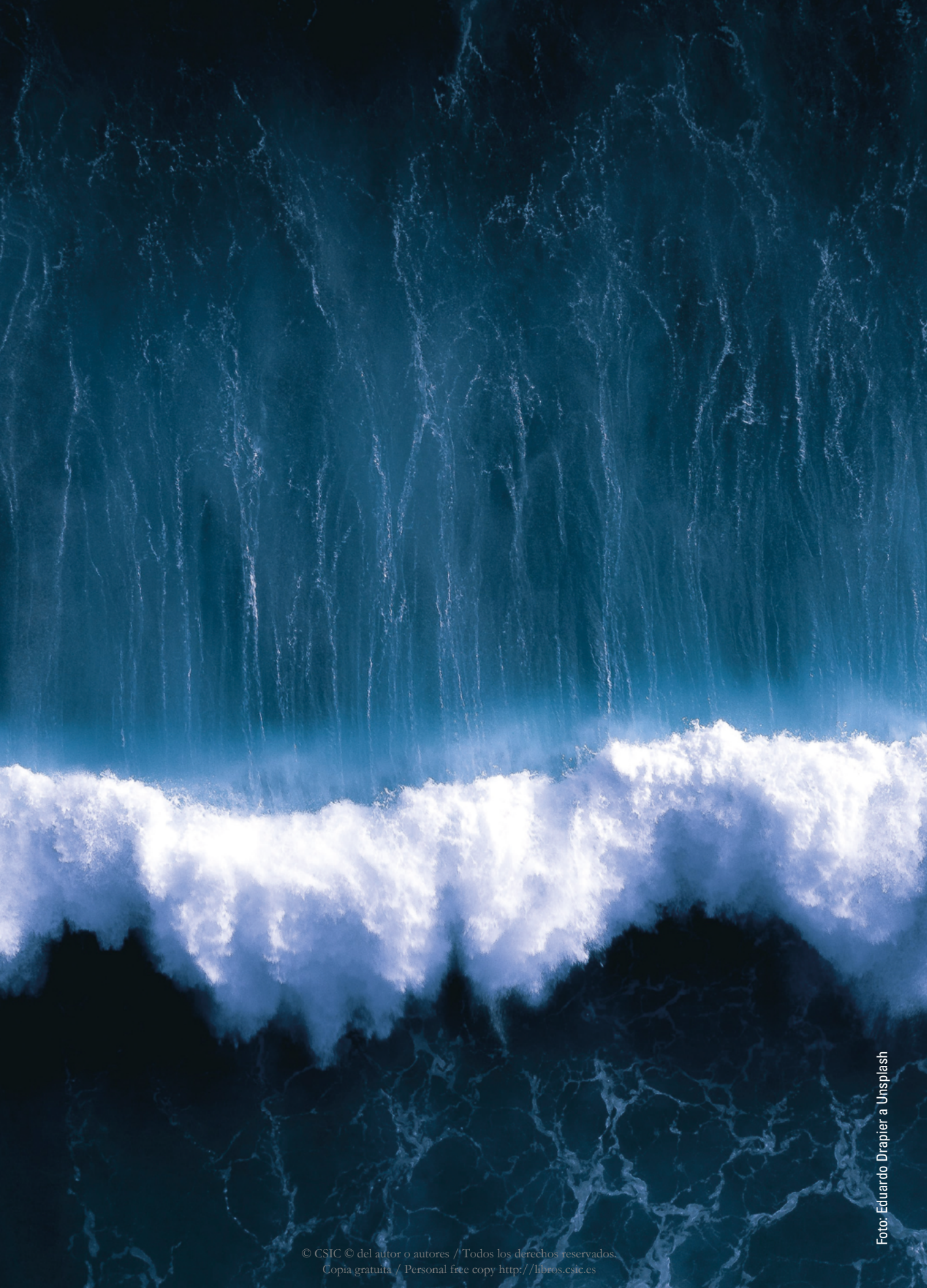


3.9. Ciència i recursos marins vius: cap un futur diferent	117
Francesc Sardà, Isabel Palomera .....	
3.10. La primera cogestió pesquera a Catalunya: el cas de la pesca del sonso	120
Pilar Sánchez, Montserrat Demestre, Ana I. Colmenero .....	
<b>4. Oceà predictable</b>	
Marta Coll, Carolina Gabarró, David Casas .....	123
4.1. De mar en amunt: oceans, aire, núvols i clima	
Rafel Simó, Martí Galí, Manuel Dall'Osto .....	124
4.2. Desxifrant la recurrència dels processos sedimentaris marins	
Belén Alonso, David Casas, Gemma Ercilla, Ferran Estrada .....	127
4.3. Cartografiant el fons marí: la resolució és la solució	
Ferran Estrada, Gemma Ercilla, David Casas, Belén Alonso .....	130
4.4. <i>Mare salis intellegere</i> . Comprendre la sal dels oceans	
Nina Hoareau, Mikhail Emelianov, Joaquim Ballabrera, Carolina Gabarró, Verónica González-Gambau, Maribel Lloret, Estrella Olmedo, Marcos Portabella, Jordi Salat, Joaquín Salvador, Marta Umbert, Antonio Turiel .....	133
4.5. Observatoris microbians: sentinelles del canvi global	
Ramon Massana, Dolors Vaqué, Maria Montserrat Sala, Josep M. Gasol .....	136
4.6. Turbulència i dinàmica del plàncton en un oceà més càlid	
Miquel Alcaraz, Marta Estrada .....	139
4.7. Tendències de la clorofil·la oceànica en temps de canvis globals	
Francesc Peters .....	142
4.8. El fitoplàncton i els elements de la vida	
Mariona Segura-Noguera, Elisa Berdalet, José Manuel Fortuño .....	145
4.9. Quin paper jugarà el zooplàncton en un oceà futur?	
Albert Calbet, Enric Saiz .....	148
4.10. L'oceà recicla la matèria orgànica i segresta el carboni	
Miguel Cabrera-Brufau, Pedro Cermeno, Cèlia Marrasé .....	151
4.11. Estudiar el litoral. Entendre la frontera	
Jordi Camp, Eva Flo, Albert Reñé, Nagore Sampedro, Esther Garcés .....	154
4.12. Per què estudiem les zones polars?	
Clara Cardelús, Vanessa Balagué, Magda Vila .....	156
4.13. L'acidificació oceànica: tendències, efectes i què ens queda per aprendre	
Carles Pelejero, Blanca Figuerola, Eva Calvo .....	158
4.14. Utilitat i reptes dels models d'ecosistema marí per a una millor comprensió i gestió de l'oceà	
Marta Coll, Jeroen G. Steenbeek .....	161
4.15. Reconstruint el clima del passat per entendre el d'avui i el de demà	
Eva Calvo, Carles Pelejero .....	164
<b>5. Oceà segur</b>	
Rafael Bartolomé, Gonzalo Simarro, Marco Talone .....	167
5.1. Descobrint les geoformes submarines perilloses	
Gemma Ercilla, David Casas, Ferran Estrada, Belén Alonso .....	168
5.2. Esllavissades submarines: el fons marí en moviment	
Roger Urgeles .....	171
5.3. Quan l'oceà tremola: present i futur en l'estudi de terratrèmols i tsunamis	
Valentí Sallarès .....	174

5.4.	Sinergies per a una gestió costanera efectiva enfront de les proliferacions d'organismes marins	
	Macarena Marambio, Ainara Ballesteros, Josep-Maria Gili .....	177
5.5.	Extrem, o no tan extrem, aquesta és la qüestió	
	Marcos Portabella, Federica Polverari, Wenming Lin, Ad Stoffelen, Albert S. Rabaneda, Joe Sapp, Paul Chang, Zorana Jelenak, Giuseppe Grieco, Ana Trindade, Eugenia Makarova, Federico Cossu.....	180
6.	<b>Oceà accessible</b>	
	Jordi Sorribas, Arantza Ugalde, Jordi Isern, Ramiro Logares .....	185
6.1.	De la llibreta al núvol de dades: 70 anys de ciència marina	
	Savitri Galiana, Lucía Quirós, Elisa Berdalet, Xavier García, Emilio García-Ladona, Jordi Isern-Fontanet, Laia Viure .....	186
6.2.	Del suport tècnic a la ciència	
	Joel Sans, Arturo Castellón, Jordi Sorribas .....	190
6.3.	Col·leccions Geològiques: una herència científica	
	David Casas, Gemma Ercilla, Belén Alonso, Ferran Estrada .....	192
6.4.	Les Col·leccions Biològiques de Referència: un referent del passat i present, útil per al futur	
	Pere Abelló, Elena Guerrero, Ricardo Santos-Bethencourt .....	194
6.5.	El compromís de l'ICM amb la igualtat de gènere en la recerca marina	
	Esther Garcés, Silvia Donoso, Elena Torrecilla, Janire Salazar, Sara Soto, Clara Cardelús, Maria Gracia Puga, Queralt Güell Bujons, Cristina González Haro, Josep L. Pelegrí, Andrea G. Bravo, Pere Puig, Mercedes Blázquez, Belén Alonso ..	196
6.6.	La nova generació de vaixells oceanogràfics	
	Jordi Sorribas, Arturo Castellón .....	198
6.7.	Observant l'evolució d'una partícula d'aigua	
	Joaquín Salvador, Josep L. Pelegrí .....	201
6.8.	Les plataformes autònomes i les seves aplicacions en oceanografia	
	Pablo Rodríguez, Núria Pujol, Jordi Sorribas .....	204
6.9.	Gestió de dades de campanyes oceanogràfiques per a una informació accessible	
	Susana Díez, Jordi Sorribas .....	207
6.10.	Auscultar el fons oceànic amb cables submarins de telecomunicacions	
	Arantza Ugalde .....	210
6.11.	Eines de prevenció i post-picades de meduses basades en estratègies de R+D+I	
	Ainara Ballesteros, Macarena Marambio,, Josep-Maria Gili .....	212
6.12.	L'emergència de la <i>iEcology</i> i la culturòmica de la conservació per al desenvolupament sostenible dels oceans	
	Valerio Sbragaglia, Lucía Espasandín Soneira, Jeroen Steenbeek, Karen Soacha Godoy, Jaume Piera, Marta Coll .....	214
6.13.	Contribució de la ciència ciutadana i els sistemes de monitoratge participatiu al coneixement i la conservació dels oceans	
	Karen Soacha Godoy, Jaume Piera, Sonia Liñán, Carlos Roderó, Xavier Salvador, Raúl Bardají, Valerio Sbragaglia .....	217
7.	<b>Oceà inspirador i estimulant</b>	
	Pedro Cermeño, Vanessa Balagué, Carine Simon .....	221
7.1.	Una oportunitat per a un desenvolupament harmònic amb la natura	
	Josep L. Pelegrí .....	222



7.2. <i>Mission Starfish 2030: una ciència integradora i engrescadora per recuperar els nostres oceans i rius en el marc de l'Horizon Europe</i> Sònia Sagristà, Elena Torrecilla .....	225
7.3. <i>Ocean Decade. Un decenni cap a la governança participativa dels oceans</i> Vanessa Sarah Salvo .....	228
7.4. <i>Una societat civil compromesa amb el medi marí</i> Carine Simon, Magda Vila, María Vicioso, Maravillas Abad, Josep L. Pelegrí .....	231
7.5. <i>El cor blau de la Terra: conèixer-lo per protegir-lo</i> Elena Martínez Batalla, María Vicioso .....	234
7.6. <i>Cultura oceànica: cap a una societat científicament informada i compromesa amb l'oceà</i> Janire Salazar, Josep-Maria Gili, Begoña Vendrell.....	236
7.7. <i>El mar explicat des de les campanyes oceanogràfiques</i> Vanessa Balagué, Clara Cardelús, Josep-Maria Gili, Carine Simon, María Vicioso, Magda Vila .....	239
7.8. <i>Observadors del Mar: ciència ciutadana marina com a motor transformador</i> María Vicioso, Paula López, Sandra Espeja, María García, Gemma Agell, Macarena Marambio, Joaquim Garrabou .....	242
7.9. <i>Rigorositat artística i creativitat científica</i> Vanessa Balagué, Anna Rierola, María Vicioso.....	245
Índex d'autors .....	249
Índex temàtic .....	255





# Els 70 anys d'història de l'Institut de Ciències del Mar i la Unitat de Tecnologia Marina marquen l'inici de la Dècada dels Oceans: cap a una ciència oceànica inclusiva i transformadora

Josep L. Pelegrí<sup>(1)</sup>, Maria Victoria Martínez de Albéniz<sup>(2)</sup>, Josep-Maria Gili<sup>(3)</sup>, Jordi Sorribas<sup>(4)</sup>

L'Institut de Ciències del Mar (ICM) és un dels centres capdavaners del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), dedicat a l'estudi interdisciplinari del medi marí. Sota el lema «Ciència oceànica per a un planeta saludable», l'ICM connecta estudis de processos i ecosistemes locals amb la complexitat i intel·ligència del nostre planeta oceà, i fomenta la transferència de ciència i tecnologia en tòpics relacionats amb la interacció entre oceà i clima, la conservació i l'ús sostenible dels ecosistemes marins i la mitigació de l'impacte de les perturbacions naturals i antropogèniques. Pels seus assoliments científics i el seu compromís amb la societat, l'ICM ha estat reconegut com un centre d'excel·lència Severo Ochoa, formant així part d'una trentena de centres espanyols que actualment tenen aquesta acreditació i convertint-se en el primer i únic centre marí a aconseguir-la a dia d'avui.

La Unitat de Tecnologia Marina (UTM) té com a objectiu principal el prestar serveis i suport tècnic a tota la comunitat espanyola de ciència i tecnologia marines i polars. A aquest efecte, és un actor principal en la gestió de dues grans infraestructures científicotècniques singulars (ICTS) del Ministeri de Ciència i Innovació d'Espanya, –la ICTS FLOTA que agrupa 10 vaixells de recerca oceanogràfica i la ICTS BAEs composta per un campament internacional i dues bases antàrtiques– a més de tot l'equipa-

ment i instrumentació científica i tecnològica de primera línia. La UTM és a més un centre nacional de dades oceanogràfiques i polars, formant part de la infraestructura europea de dades marines i internacional de dades polars.

El 2021, l'ICM i la UTM compleixen 70 anys d'història, amb 20 anys ja en la seva actual seu davant de la platja del Somorrostro de Barcelona. El 24 de novembre de 1939 es va crear el CSIC amb José Ibáñez com a president i José María Albareda com el seu ideòleg i primer secretari general. D'acord amb Guerra i Prego (2003), fou Albareda qui va aconseguir que el 10 d'abril de 1943 naixés a Barcelona, adscrit al CSIC però amb seu a la Universitat de Barcelona, l'Institut de Biologia Aplicada (IBA), i el seu primer director va ser Francisco García del Cid. El 18 de febrer de 1949, l'IBA va crear la Secció de Biologia Marina, que en aquest mateix any ja disposava de laboratoris a Blanes, Castelló i Vinaròs.

El 14 de gener de 1949, Buenaventura Andreu va escriure un informe titulat *Proyecto para la creación de un centro de investigaciones pesqueras dependiente del CSIC* que conduiria al fet que el 3 d'octubre de 1951, per resolució de la Junta de Govern del CSIC, la Secció de Biologia Marina de l'IBA passés a convertir-se en un nou institut del CSIC, el Instituto de Investigaciones Pesqueras (IIP). L'IIP, el primer director del qual

## Els set grans assoliments de la Dècada de la Ciència Oceànica per al Desenvolupament Sostenible

**Assoliment 1:** Un oceà net, on es detecten i es redueixen o eliminen les fonts de contaminació. La societat genera una gran varietat de contaminants i escombraries marines –com són els compostos orgànics tòxics i persistents, els metalls pesants i els plàstics– i ocasiona diverses alteracions físiques i biogeoquímiques del medi aquàtic –des de l'eutrofització per excés de nutrients fins al soroll subaquàtic d'origen antropogènic, entre altres. Aquestes alteracions provenen d'una àmplia varietat de fonts contaminants terrestres i marines, que inclouen fonts localitzades i no localitzades. Els seus efectes posen en perill els ecosistemes, la salut humana i els recursos naturals. És essencial satisfer les llacunes de coneixements interdisciplinaris sobre les causes i les fonts de contaminació i els seus efectes en els ecosistemes i la salut humana. Aquests coneixements apuntalaran la formulació conjunta de solucions compartides per a eliminar la contaminació en origen, mitigar les activitats nocives i contribuir a la transició de la societat cap a una economia circular.

**Assoliment 2:** Un oceà saludable i resilient, on s'entenen, protegeixen, restauren i gestionen els ecosistemes marins. La degradació dels ecosistemes marins s'està accelerant a causa de les activitats insostenibles dutes a terme en terra i mar. Per a gestionar els ecosistemes marins i costaners de manera sostenible, i protegir-los o restaurar-los quan sigui necessari, fa falta millorar el nostre coneixement sobre els ecosistemes i les seves reaccions a factors múltiples de pertorbació. Això s'aplica tant a la degradació local del medi litoral i marí com en els efectes globals sobre el medi marí associats al canvi climàtic. Aquest coneixement és imprescindible per a desenvolupar eines que permetin posar en pràctica accions que creïn resiliència, evitant situacions de no retorn i garantint així que els ecosistemes continuïn prestant els seus serveis per a la salut i el benestar de la societat i del planeta en el seu conjunt.

**Assoliment 3:** Un oceà productiu, que sustenti de manera sostenible un subministrament d'aliments i una economia oceànica. L'oceà és un pilar clau en el desenvolupament econòmic mundial i el benestar i la salut de l'ésser humà en el futur, entre altres coses quant a la seguretat alimentària i els mitjans de subsistència per a centenars de milions de persones de les més pobres del món. Són essencials els coneixements i les eines per a donar suport a la recuperació de les poblacions marines explotades, amb pràctiques de pesca i aqüicultura sostenibles, al mateix temps que es protegeix la diversitat biològica essencial i els ecosistemes. L'oceà també proporciona béns i serveis fonamentals a una àmplia varietat d'indústries, com la indústria extractiva, l'energètica, el turisme, el transport i la farmacèutica. Cadascun d'aquests sectors té necessitats específiques en coneixements, tecnologia i innovació, així com en instruments de suport a la presa de decisions que minimitzin els riscos i optimitzin el desenvolupament d'una economia oceànica sostenible. Els governs també necessiten informació i instruments a fi d'orientar el desenvolupament d'economies oceàniques sostenibles i promoure els sectors marins.

**Assoliment 4:** Un oceà predictable, que permeti a la societat comprendre i respondre a les seves condicions canviants. L'enorme volum de l'oceà no s'ha cartografiat ni observat adequadament, ni es comprèn plenament. És essencial millorar l'exploració i comprensió dels elements que controlen els canvis en l'oceà, inclosos els seus components físics, químics

i biològics, i les seves relacions amb l'atmosfera i la criosfera, en particular en relació amb el canvi climàtic. Aquest coneixement va des de la línia litoral fins a l'alta mar i des de la superfície fins a les profunditats oceàniques, incloent condicions oceàniques passades, actuals i futures. La comprensió integral de les interconnexions i respostes en els ecosistemes oceànics sustentarà les prediccions necessàries per a una ordenació dinàmica dels oceans, adaptada als canvis en l'entorn i l'ús de l'oceà.

**Assoliment 5:** Un oceà segur, on la vida i els mitjans de subsistència estan protegits dels perills relacionats amb l'oceà. Els perills hidrometeorològics, geofísics i biològics, així com els causats per l'ésser humà, tenen efectes devastadors, en cascada i insostenibles per a les comunitats costaneres, els usuaris dels oceans, els ecosistemes i les economies. La freqüència i intensitat canviants dels perills relacionats amb les condicions meteorològiques i amb el clima estan exacerbant aquests riscos. Es necessiten mecanismes i processos per a avaluar els riscos prioritaris, mitigar, predir i alertar sobre aquests perills, i formular les respostes flexibles per a reduir els efectes a curt i llarg termini en la terra i el mar. Això implica disposar de dades oceàniques de major densitat i millors sistemes de predicció, inclosos els relacionats amb el nivell del mar, les condicions meteorològiques marines i el clima, en temps gairebé real i a escales de dècades. Aquestes millores, acompanyades de l'educació, divulgació i comunicació, permetran formular polítiques i adoptar decisions encaminades cap a una major resiliència individual i comunitària.

**Assoliment 6:** Un oceà accessible, amb un accés a informació, dades i tecnologia, sota els principis FAIR, que assegurin que aquestes siguin identificables, Accessibles, Interoperables i Reutilitzables. Les desigualtats formatives en ciències oceàniques i en el coneixement del nostre entorn han d'erradicar-se i per a això és imprescindible assegurar l'accés als coneixements, la tecnologia i a les dades fruit de l'experimentació i l'observació de l'oceà, al costat del coneixement precís dels seus orígens i control de qualitat. Això ha d'anar acompanyat de majors destreses i oportunitats de col·laborar en la recopilació de dades, la generació de coneixements i el desenvolupament tecnològic, en particular en països menys desenvolupats, regions sense accés al mar i petits estats illes, el benestar dels quals no és aliè al coneixement global del nostre planeta. La gestió, innovació i adopció d'estratègies i polítiques sostenibles millorarà amb una major i millor divulgació de coneixements oceànics entre la comunitat científica, els governs, els educadors, les empreses, el sector industrial i el públic general, tot contribuint als objectius socials relacionats amb el desenvolupament sostenible.

**Assoliment 7:** Un oceà inspirador i estimulador, que la societat entengui i valori en relació amb el benestar humà i el desenvolupament sostenible. A fi de motivar un canvi de conducta i garantir l'eficàcia de les solucions formulades en el marc de la Dècada, és necessari un canvi profund en la relació entre la societat i l'oceà. Això es pot aconseguir mitjançant enfocaments basats en la cultura marina, eines tradicionals i innovadores d'educació i sensibilització, i mesures per a garantir un accés físic equitatiu a l'oceà. Aquests enfocaments, en conjunt, generaran una comprensió més àmplia dels valors econòmics, socials i culturals de l'oceà per part de la societat, i de la multitud de funcions que exerceixen per a defensar la salut, el benestar i el desenvolupament sostenible. Aquest resultat posarà en relleu la bellesa i el caràcter inspirador de l'oceà, influint així en la pròxima generació de científics, responsables polítics, funcionaris governamentals, administradors i innovadors.



va ser Francisco García del Cid, va tenir la seva seu central a Barcelona, amb les seves instal·lacions inicials a la Universitat de Barcelona i amb laboratoris a Blanes (director Carles Bas), Castelló (director Buenaventura Andreu) i Vinaròs (que depenia de Castelló).

Les tres seus inicials de l'IIP (Barcelona, com a seu central, Blanes que depenia de Barcelona, i Castelló-Vinaròs) es van ampliar progressivament, al setembre de 1952 amb la seu de Vigo i a l'estiu de 1957 amb la seu de Cadis. El 22 de juny de 1963, es va inaugurar l'edifici de la seu de l'IIP a Barcelona, un edifici de 2 plantes amb un ampli aquari en la seva planta baixa, que va estar localitzat en l'actual Plaça del Mar, en el barri mariner de la ciutat, la Barceloneta.

El 1979, l'IIP es va esquarterar en quatre centres independents: l'institut seu central de Barcelona, que el 1987 va passar a dir-se Institut de Ciències del Mar, l'Institut de Investigacions Mariñas a Vigo, l'Institut d'Aqüicultura Torre de la Sal a Castelló i l'Institut de Ciencias

Marinas de Andalucía a Cadis (Guerra i Prego 2011). Ja més tard, a l'octubre de 1985, el laboratori de Blanes es convertiria en el Centre d'Estudis Avançats de Blanes, i el 1992 es va crear la Unitat de Gestió de Vaixells Oceanogràfics que, més tard, l'any 2000, es convertiria en la UTM.

Van ser investigadors i tècnics de l'ICM els qui en 1988 van establir la primera estació antàrtica espanyola que finalment cristal·litzaria en la Base Antàrtica Espanyola Juan Carlos I, que des del 1999 és gestionada per la UTM. La UTM també és responsable de diversos vaixells oceanogràfics, entre ells el V/O García del Cid (1979, que inicialment depenia de l'IIP) i dos grans vaixells oceanogràfics, el V/O Hespèrides (1991) i el V/O Sarmiento de Gamboa (2008). Des d'aquest mateix any 2021, amb la integració de l'Instituto Español de Oceanografía com a centre del CSIC, els vaixells que gestiona el CSIC componen ja el 90% del conjunt de la flota oceanogràfica espanyola.

L'ICM i la UTM es van traslladar en el 2001 a la seva seu actual, un edifici de tres plantes i

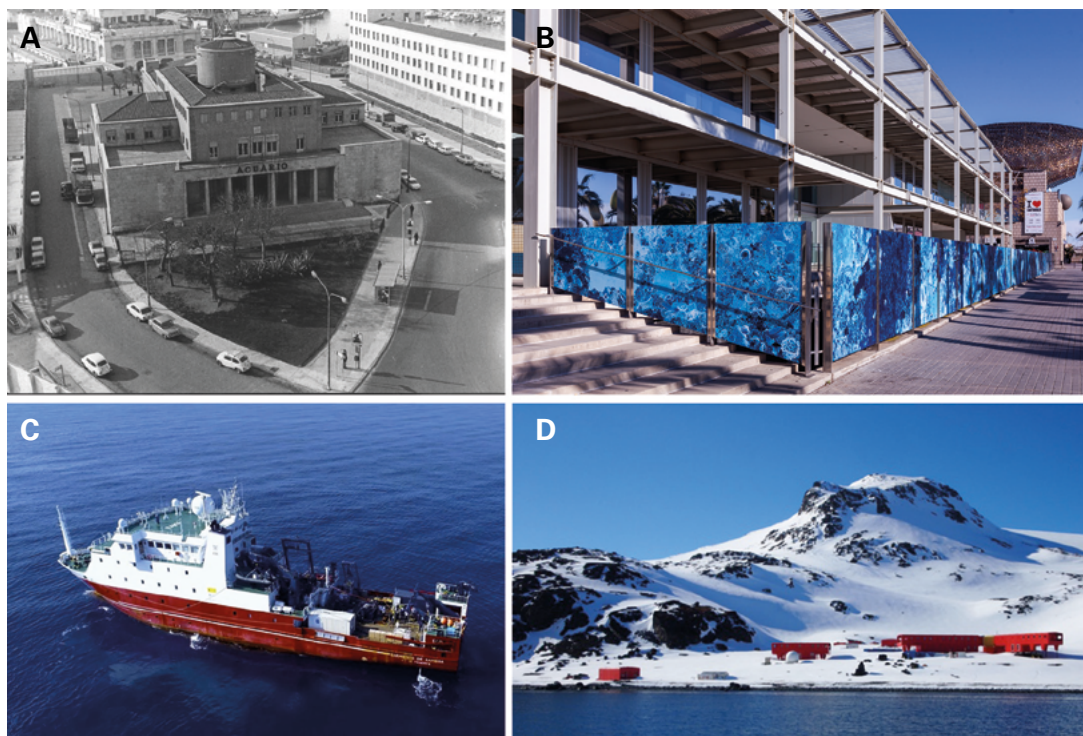


Figura 1. A, antiga seu de l'Institut de Investigaciones Pesqueras a l'actual Plaça del Mar del barri de la Barceloneta. B, façana de la seu actual de ICM, UTM i CMIMA. C, el V/O Sarmiento de Gamboa, un dels vaixells de la ICTS FLOTA. D, panoràmica de la base antàrtica Juan Carlos I.

## Directors de l'Institut de Investigaciones Pesqueras, Institut de Ciències del Mar i de la Unitat de Tecnologia Marina

### **Instituto de Investigaciones Pesqueras (1951-1979)**

1951-1965 Francisco García del Cid (Bas 2011)

1965-1967 Ramon Margalef (Castellví 2012)

1967-1979 Buenaventura Andreu (Guerra 2012)

### **Instituto de Investigaciones Pesqueras (Barcelona, 1979-1987) - Institut de Ciències del Mar (1987-present)**

1979-1983 Buenaventura Andreu (Guerra 2012)

1983-1987 Carles Bas (Sardà 2012)

1987-1991 Andrés Maldonado (Alonso i Díaz 2012)

1991-1994 Enrique Macpherson (Olivar i Abelló 2013)

1994-1995 Josefina Castellví

1995-1997 Marta Estrada

1997-2001 Rosa Flos

2001-2009 Dolors Blasco

2009-2018 Albert Palanques

2018-present Josep Lluís Pelegrí

### **Unitat de Tecnologia Marina (2001-present)**

2000-2012 Juan José Dañoibeitia

2012-2013 Enrique Tortosa

2013-2016 Albert Figueras

2016-present Jordi Sorribas

soterrani (15 000 m<sup>2</sup> construïts) localitzat al final del Passeig Marítim de la Barceloneta, i es va crear una estructura administrativa i logística per a donar suport al funcionament de totes dues institucions: el Centre Mediterrani d'Investigacions Marines i Ambientals (CMIMA). D'aquesta manera es va constituir el principal nucli de coneixement científicotècnic marí i polar no només d'Espanya sinó també de tot el Mediterrani, en primera línia de platja i prop del centre urbà de Barcelona, amb un fort arre-

lament en el seu teixit social. ICM i UTM centren gran part de les seves activitats professionals en el desenvolupament sostenible, i els equips de coordinació i treball d'aquests centres mantenim un compromís personal i vital per la integració harmònica de la societat amb la naturalesa a la qual pertanyem.

Coincidint amb l'inici de la Dècada de les Ciències Oceàniques per al Desenvolupament Sostenible (UN 2021), aquest 70 aniversari de la creació de l'IIP és una excel·lent oportunitat per a exposar de quina manera la recerca actual de l'ICM i la tecnologia i serveis prestats tant per ICM com UTM s'enfoquen plenament cap als objectius del desenvolupament sostenible. És per això que aquest llibre, escrit en la seva major part per investigadors i tecnòlegs vinculats a l'ICM i la UTM, s'estructura en set capítols centrats en els set assoliments que persegueix la Dècada: un oceà net, saludable i resilient, productiu, previsible, segur, accessible i inspirador.

## Referències

- Alonso B., Díaz J.I. 2012. Andrés Maldonado López. Sci. Mar. 76: 633-636.
- Bas C. 2011. Francisco García del Cid Arias. Sci. Mar. 75: 823-826.
- Castellví J. 2012. Ramon Margalef López. Sci. Mar. 76: 217-220.
- Castellví J. 2017. Antoni Ballester i Nolla. Sci. Mar. 81: 139-140.
- Guerra A. 2012. Buenaventura Andreu Morera. Sci. Mar. 76: 221-224.
- Guerra A., Prego R. 2003. El Instituto de Investigaciones Pesqueras. Tres décadas de historia de la investigación marina española. Serie de Estudios sobre la Ciencia 33, CSIC, 341 pp.
- Guerra A., Prego R. 2011. Origen y desarrollo de la investigación marina en el CSIC. In: Puig-Samper M.A., Rebok S. (eds.), España Explora Malaspina 2010. Lunweg, pp. 109-117.
- Olivar M.P., Abelló P. 2013. Enrique Macpherson Mayol. Sci. Mar. 77: 9-12.
- Sardà F. 2012. Carles Bas i Peired. Sci. Mar. 76: 425-428.
- UN 2021. Decade of Ocean Sciences for Sustainable Development. [www.oceandecade.org](http://www.oceandecade.org)

- (1) Director ICM i CMIMA, CSIC
- (2) Editora administrativa *Scientia Marina*, CSIC
- (3) Vicedirector de Cultura Científica Marina ICM, CSIC
- (4) Director UTM, CSIC

DOI: <https://doi.org/10.20350/digitalCSIC/14048>





# L'Institut de Ciències del Mar que volem: recerca marina d'excel·lència amb compromís social

Valentí Sallarès<sup>(1)</sup>, Josep L. Pelegrí<sup>(2)</sup>, Josep M. Gasol<sup>(3)</sup>, Sònia Sagristà<sup>(4)</sup>

Els oceans són fonamentals per a la vida a la Terra. Ells sostenen els ecosistemes, estableixen el sistema climàtic i proporcionen els recursos que fan que la Terra sigui habitable per a la humanitat. Tanmateix, l'activitat humana està provocant ràpids canvis globals que afecten la salut dels oceans, entesa com a resiliència per a mantenir-se dins d'uns certs límits. L'escalfament global, les alteracions dels patrons climàtics, la pujada del nivell del mar, l'acidificació dels oceans i els fenòmens meteorològics puntuals i extrems, pertorben les economies dels països costaners i afecten la vida quotidiana dels seus habitants. A aquests factors d'estrès ambiental se li afegeixen la invasió d'estructures antròpiques en el litoral, la contaminació marina i la sobrepesca, que alteren les poblacions marines, perjudiquen el funcionament dels ecosistemes i amenacen la biodiversitat. A més, els oceans estan subjectes a diversos riscos naturals, que colpegen episòdicament les costes causant enormes pèrdues humanes i econòmiques.

## Recerca marina per a un planeta saludable

El coneixement fonamental i aplicat, l'acció decidida, el compromís social i la gestió coordinada són objectius essencials per fer front a aquests reptes globals i facilitar el desenvolupament sostenible de la humanitat. En els darrers anys, l'Institut de Ciències del Mar (ICM) ha fet un gran esforç per adaptar la seva visió de futur a aquesta realitat i contribuir de forma efectiva a assolir una relació sostenible amb la

natura. Així, sota el lema «Recerca marina per a un planeta saludable», l'equip humà de l'ICM s'ha compromès a abordar aquests objectius a través de la recerca de frontera i la transferència de coneixement i tecnologia a la societat, al voltant de tres reptes: el coneixement de les interaccions entre l'oceà i el clima; la conservació i l'ús sostenible de la vida i els ecosistemes marins; i la comprensió i mitigació de l'impacte dels perills naturals i antropogènics. L'establiment d'aquests reptes, i d'una visió de futur compartida, és fruit d'un llarg procés d'anàlisi i reflexió intern que ha permès dissenyar un full de ruta que consolidi les fortaleces, mitigui les debilitats, i aprofiti les oportunitats estratègiques mitjançant un esforç col·lectiu.

Aquest exercici conjunt, amb una estructura altament participativa, ha comportat un canvi de paradigma no només en la visió i la missió del centre, sinó també en la seva organització. Per tal de donar cabuda a totes les veus, al model clàssic de governança *top-down* (de dalt a baix: junta, claustre i assemblea) l'acompanyen ara diversos comitès i grups de treball *bottom-up* (de baix a dalt) que actuen de forma coordinada en els àmbits de recerca, serveis, transferència de coneixement, igualtat (Garcés *et al.* 2022), divulgació i comunicació, i s'han creat també un comitè social extern per acostar-nos a la ciutadania i un de científic per assessorar-nos i guiar la nostra evolució. Conscients de la importància cabdal del diàleg social, aquests canvis estructurals s'han reflectit en una renovació de la imatge corporativa i de la nostra projecció externa, com a primer pas per acostar-nos a la societat.





Figura 1. Part de l'equip humà de l'Institut de Ciències del Mar. Font: ICM-CSIC.

## De l'excel·lència científica al compromís social

La nova imatge de l'ICM forma part d'una estratègia institucional guiada per criteris d'excel·lència en la recerca, compromís social, voluntat d'arrelament al territori i de projecció i reconeixement internacional. Aquest impuls va permetre assolir l'any 2020 un gran èxit en la història de l'ICM: l'obtenció de l'acreditació d'excel·lència Severo Ochoa, atorgada pel Ministeri de Ciència i Innovació als centres de recerca estatals que són referents en l'escenari internacional. L'ICM forma part d'una trentena de centres de totes les disciplines científiques que tenen aquesta distinció, essent el primer i únic centre de recerca marina que l'ha aconseguit. L'obtenció de l'acreditació Severo Ochoa ha esdevingut una empena decisiva per aprofundir en la transformació de l'Institut, consolidant la seva condició de referent internacional en recerca marina i de garant dels valors de sostenibilitat i consciència planetària davant la societat.

L'assignació anual d'un milió d'euros fins al 2023 que acompanya el guardó ha permès implementar un pla estratègic estructurat en dos pilars: l'enfortiment d'àrees operacionals claus per augmentar l'impacte de la recerca, i el reforç de l'estratègia científica institucional. D'una banda, s'ha creat i dotat de recursos humans

i econòmics l'Oficina de Suport a la Recerca, concebuda com a engranatge entre els grups de recerca i l'administració en temes com ara la gestió de projectes, divulgació i comunicació, formació del personal, tracte personal i ambient de treball, captació de recursos i transferència de coneixement. D'altra banda, el reforç de l'estratègia científica s'ha materialitzat en un conjunt de convocatòries competitives, arrelades en els principis de transparència, foment del talent jove, implementació de mesures d'igualtat, i creació de sinèrgies científiques. Aquestes convocatòries han permès augmentar de forma considerable l'atracció de talent extern i retenir talent intern, reforçar diverses línies estratègiques de recerca i millorar les infraestructures científiques i tècniques.

A més dels beneficis econòmics directes i el prestigi derivat de l'acreditació Severo Ochoa, la nova dinàmica de treball ha enfortit la presència institucional de l'ICM en diversos àmbits de rellevància internacional. Entre les fites més transcendents cal destacar la implicació i protagonisme en el marc de la Dècada de la Ciència Oceànica pel Desenvolupament Sostenible (2021-2030), impulsada per la UNESCO, on l'ICM lidera i coordina el programa *Ocean Cities*, que té com a objectiu impulsar unes ciutats costaneres més resilient i fer més sostenible la relació dels seus ciutadans amb l'oceà. En el





Figura 2. Panoràmica d'un dels patis que van acollir activitats de la Biennial Ciutat i Ciència 2021. Font: ICM-CSIC.

marc d'aquesta Dècada de l'Oceà, l'ICM també s'ha postulat com a centre col·laborador UNESCO per a la Mediterrània.

En l'àmbit local, l'ICM ha teixit aliances amb l'Ajuntament de Barcelona per a desenvolupar iniciatives que facilitin les interaccions entre ciència i societat i alhora fomentin la conscienciació de la ciutadania sobre els límits planetaris, la sostenibilitat i la crisi climàtica mitjançant projectes com Barcelona Mar de Ciència o amb la participació com a actor rellevant en la Biennial Ciutat i Ciència 2021.

## Un projecte comú

Al marge d'aquestes fites institucionals, la progressiva consolidació de l'ICM en els darrers anys es manifesta també en els nombrosos èxits científics, individuals i col·lectius, que inclouen la coordinació de diversos projectes europeus dins el programa *Horizon 2020*, la consecució de la primera *European Research Council Advanced Grant*, l'augment sostingut en les publicacions d'alt impacte, i els nombrosos premis i reconeixements a membres de l'Institut.

Si bé les perspectives actuals semblen doncs força favorables per al creixement de l'ICM, no s'està exempt de riscos notables en un context

polític inestable i una dinàmica socioeconòmica complexa i canviant. La consolidació de l'ICM com a protagonista destacat en l'escenari local i internacional requerirà aprofundir en la contínua transformació del centre per, d'una banda, mantenir i millorar encara més la capacitat formativa i la recerca innovadora d'excel·lència i, de l'altra, respondre de forma efectiva a un creixent compromís social i ambiental. Considerem que aquest doble repte, que només serà assolible amb l'esforç col·lectiu, ha de guiar les decisions i accions institucionals de l'ICM en el futur immediat.

## Referències

Garcés E., Donoso S., Torrecilla E., *et al.* 2022. El compromís de l'ICM amb la igualtat de gènere en la recerca marina. A: Pelegrí J.L., Gili J.M., Martínez de Albéniz M.V. (eds.), *L'oceà que volem: ciència oceànica inclusiva i transformadora*. Institut de Ciències del Mar, CSIC. Barcelona. pp. 196-197.

- (1) Vicedirector d'Estratègia Científica ICM, CSIC
- (2) Director ICM i CMIMA, CSIC
- (3) Director científic Severo Ochoa, ICM, CSIC
- (4) Coordinadora Oficina de Suport a la Recerca ICM, CSIC

DOI: <https://doi.org/10.20350/digitalCSIC/14049>







# 1. Oceà net

Andrea G. Bravo, Silvia G. Acinas, Cristina Romera

El nostre planeta blau està envoltat en un 70% de la seva superfície per oceans i mars. La revolució industrial va suposar un gran avenç en el desenvolupament de l'economia i benestar de la nostra espècie humana, però alhora va comportar un augment dràstic de la contaminació en els nostres ecosistemes marins. La nostra societat genera una gran varietat de residus contaminants, com les escombraries marines, els plàstics, les substàncies químiques perilloses i els metalls pesants. Fins i tot, el soroll subaquàtic antropogènic es considera ja un tipus de contaminació. Aquests contaminants provenen d'una àmplia varietat de fonts terrestres i marines, que inclouen fonts localitzades i no localitzades. Les activitats humanes han provocat també un augment de nutrients (eutrofització) en l'oceà amb greus implicacions com a proliferació excessiva de fitoplàncton, que pot alliberar toxines o disminuir la concentració d'oxigen dissolt en l'oceà.

La contaminació resultant i creixent serà insostenible per a l'oceà i posa en perill els ecosistemes, els mitjans de subsistència i per tant la salut humana a nivell global. És essencial millorar el coneixement sobre les fonts de contaminants, les seves possibles transformacions i els seus efectes en els ecosistemes i la salut humana. La recerca i desenvolupament de solucions per a evitar que els contaminants continuïn arribant al mar ha de ser una prioritat en les agendes de política mediambiental. Entre les solucions proposades estan la millora d'infraestructures per a evitar que els residus urbans arribin a la costa, la neutralització química dels contaminants abans que arribin al mar o l'ús de microorganismes, que tinguin un paper principal en les transformacions dels contaminants. Molts dels processos de detoxificació que utilitzen els microorganismes poden ser potencialment implementats en futurs processos de bioremediació. Aquests coneixements apuntalaran la formulació conjunta de solucions compartides per a eliminar la contaminació en l'origen, mitigar les activitats nocives, reduir els nivells dels contaminants en l'oceà i contribuir a la transició de la societat cap a una economia circular. Finalment, és imprescindible conscienciar a la població de la importància de l'oceà en la vida humana i dels problemes que l'afecten per a aconseguir un esforç col·lectiu que redueixi la forta pressió antropogènica a la qual ara està sotmès.

# 1.1. Microorganismes marins i biotecnologia blava

Josep M. Gasol, Ramon Massana, Maria Montserrat Sala, Marta Sebastián, Ramiro Logares, Pablo Sánchez, Silvia G. Acinas

És probablement la història sobre biotecnologia i descoberta de biodiversitat que més gent coneix: la que relaciona els científics Thomas D. Brock i Kary Mullis amb el condemnat a mort Kirk Bloodworth: als anys 60, Thomas Brock va estudiar a Yellowstone els microorganismes hipertermòfils (procariotes que es desenvolupen a temperatures molt altes). Va trobar un bacteri que creix i es divideix a temperatures de fins a 70 °C, i el va anomenar *Thermus aquaticus*. Va treballar pel plaer del coneixement, per comprendre els límits de la vida. Ningú li va demanar que fes investigacions «aplicades». Molts anys després, Kary Mullis va recordar que aquest procariota replica el seu ADN a altes temperatures i va desenvolupar un mètode per copiar i multiplicar qualsevol molècula d'ADN mitjançant un enzim aïllat de *Thermus*. Aquesta tècnica, anomenada reacció en cadena de la polimerasa (PCR), s'ha convertit en una paraula de moda habitual per a la majoria de nosaltres i li va fer guanyar el premi Nobel de Química, alhora que ell i la seva empresa guanyaven molts diners. I vet aquí que uns anys després, la primera vegada que es va utilitzar la PCR en un cas judicial, va permetre demostrar que Kirk Bloodworth no era responsable de l'assassinat del qual l'havien acusat. Brock, el descobridor de la biodiversitat, mai no va pensar que la seva investigació bàsica podria arribar a fer que algunes persones fossin riques, altres absoltes d'assassinat i la major part de nosaltres ens féssim proves per detectar la COVID19. La recerca bàsica en diversitat va permetre avenços i desenvolupaments biotecnològics molt significatius.

## Molts microorganismes, i molt diversos

L'oceà és curull de microbis. Fins a  $10^{29}$  procariotes i eucariotes unicel·lulars es reparteixen en una quantitat estimada de  $10^{11}$  espècies diferents (Locey i Lennon 2016). Pel seu ampli repertori metabòlic, immensament més gran que el dels eucariotes, els procariotes condueixen els cicles biogeoquímics de la Terra (Falkowski *et al.* 2008) fins al punt que un món de grans eucariotes pluricel·lulars (és a dir, plantes i animals) no seria sostenible sense els microorganismes. Cada procariota té de 2.000 a 7.000 gens i cada protista (és a dir, un eucariota unicel·lular) uns 30.000. Tot i que la major part de la maquinària genètica dels microbis tracta de funcions essencials comunes a la majoria d'ells (com ara la duplicació de l'ADN, la divisió cel·lular, etc.), també hi ha una gran quantitat de «gens funcionals», que codifiquen funcions i metabolismes específics i que són els que condueixen els cicles biogeoquímics. Per a una determinada funció específica, hi ha moltes variants genètiques diferents de microbis diferents: sovint centenars de variants en una mateixa ubicació. Amb una mica de matemàtiques senzilles es pot imaginar la immensa diversitat en les funcions biogeoquímiques que poden fer els microbis. Poden fixar el nitrogen atmosfèric en forma d'amoníac, però també convertir l'amoníac en nitrit i tornar-lo a nitrogen gas. Poden oxidar el ferro reduït, però també reduir el ferro oxidat (i corroir les canonades i fer que funcionin malament) o mentre alguns usen el metà com a font de carboni, d'altres produeixen metà. Els metabolismes microbians són extremadament versàtils i poden

degradar multitud de substàncies produïdes de manera autòctona a l'oceà, però també moltes substàncies al·lòctones: les que els humans hi hem introduït, com ara plàstics, petroli o tot tipus de productes químics. I és probable que executin moltes altres funcions que ni tan sols sabem que existeixen. En una recerca recent de l'oceà profund tropical i subtropical, hem trobat més de 600.000 gens microbians únics d'aquest hàbitat, dels quals el 58% no s'havien observat abans i el 63% d'aquests tenen una funció hores d'ara desconeguda (Acinas *et al.* 2021). Tot i que algunes d'aquestes noves funcions poden ser semblants a d'altres de descrites anteriorment, n'hi poden haver de noves per a la ciència.

### Microorganismes oceànics i economia

No és estrany, per tant, que els gens presents en els microbis oceànics siguin part dels fonaments de l'anomenada economia blava, l'economia que es genera a partir de productes o serveis derivats de l'oceà. El descobriment d'organismes que contenen molècules i gens d'interès comercial ha crescut paral·lel a l'exploració de la biodiversitat marina. Per al 2025, es preveu que el mercat mundial de biotecnologia marina arribarà als 6.400 milions de dòlars, i que inclourà una àmplia gamma de productes comercials dins les indústries farmacèutica, de biocombustibles i química. Des de 2017, un total de 12.998 seqüències genètiques provinents de 862 espècies marines han estat patentades amb protecció in-

ternacional en virtut del Tractat de Cooperació de Patents (figura 1). La major part d'aquestes patents s'associen a espècies microbianes. Representen més del 73% de totes les seqüències patentades a les bases de dades (Blasiak *et al.* 2018), tot i constituir només el 19% de les espècies recollides al Registre Mundial d'Espècies Marines (WoRMS). Això indica el gran potencial dels microbis marins per a aplicacions biològiques.

### Ús biotecnològic dels microorganismes marins: alguns exemples rellevants

Com es poden utilitzar les funcions microbianes biotecnològicament? La producció de biomassa és un dels processos més antics. La biomassa microalgal s'ha recol·lectat com a aliment i també s'ha utilitzat com a biocombustible des de fa molt de temps. Els polisacàrids (agar i carraginat són els més coneguts), i altres compostos d'alt pes molecular com els alginats, són utilitzats per la indústria alimentària i per la indústria cosmètica, sovint fent servir l'origen oceànic del principi actiu microbià per avalar la utilitat del producte. Els biosurfactants, els bioemulsionants o els exopolisacàrids d'origen microbià també tenen aplicacions en enginyeria (en perforació de roques) i les sílices derivades de bacteris, en forma de nous biosilicats amb propietats elèctriques, òptiques i catalítics úniques, també tenen un gran potencial en nanomaterials (OECD 2013). Malgrat que la majoria dels antibiòtics utilitzats

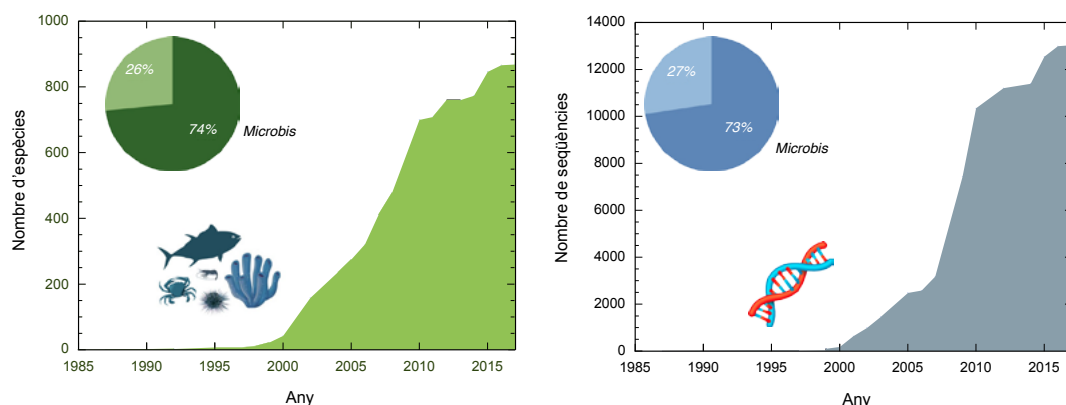


Figura 1. Interès comercial creixent pels recursos genètics marins. Nombre acumulat al llarg del temps (1988-2017) d'espècies marines amb seqüències patentades (A) i seqüències patentades d'espècies marines (B). En els gràfics esfèrics, les proporcions corresponents als microbis. Adaptat de Blasiak *et al.* (2018).



actualment es van aïllar d'organismes terrestres, es creu que els bacteris i els fongs marins són fonts prometedores per a la bioprospecció i per a nous descobriments.

A més de l'aplicació de subproductes del creixement microbià, podem destacar el paper dels microbis en la degradació de substàncies. Bacteris degradadors d'hidrocarburs com *Alcanivorax*, *Cycloclasticus* o *Marinobacter* s'utilitzen juntament amb agents tensioactius per a la bioremediació dels vessaments de petroli a l'oceà. S'ha demostrat que alguns bacteris són capaços de subsistir només degradant hidrocarburs, i s'han trobat en tots els oceans, fins i tot als punts més profunds de la fossa de les Marianes, a 11.000 m de profunditat. Els compostos inorgànics, com el metil-mercuri, són tòxics per a la majoria d'organismes, inclosos els humans, però no per a molts microbis. Ja se sabia que els bacteris metanotròfics, que s'han especialitzat en la degradació de substrats reduïts d'un carboni en presència d'oxigen, són capaços de desmetilar i, per tant, desintoxicar, aquest compost tòxic, però hem trobat una gran diversitat i una àmplia distribució de microbis amb aquest potencial ge-

nètic a l'oceà profund. S'està fent un esforç per utilitzar aquests bacteris marins en la degradació de metil-mercuri i en la bioremediació de sediments marins contaminats.

Els plàstics s'estan convertint en un dels contaminants més prevalents a l'oceà i afecten els organismes marins de tot tipus. Però els plàstics estan formats principalment per hidrocarburs i alguns microbis han desenvolupat la capacitat de degradar el PET (tereftalat de polietilè, un component principal del plàstic), i fins i tot s'ha descrit un aïllat, *Ideonella sakaiensis*, que degrada el PET i l'assimila com a font única de carboni i energia (Yoshida *et al.* 2016). En un estudi recent de l'expedició Malaspina, hem observat diverses desenes de variants d'aquest enzim, que són particularment abundants a l'oceà profund (Alam *et al.* en revisió): sembla que aquests bacteris han evolucionat i diversificat fa relativament poc, cosa que indicaria que la contaminació per plàstics s'està convertint en una font de carboni per als microbis de l'oceà profund que contribueixen a eliminar el plàstic present al medi marí. Els bacteris oceànics s'adaptarien als contaminants que nosaltres, humans, aboquem al medi marí.

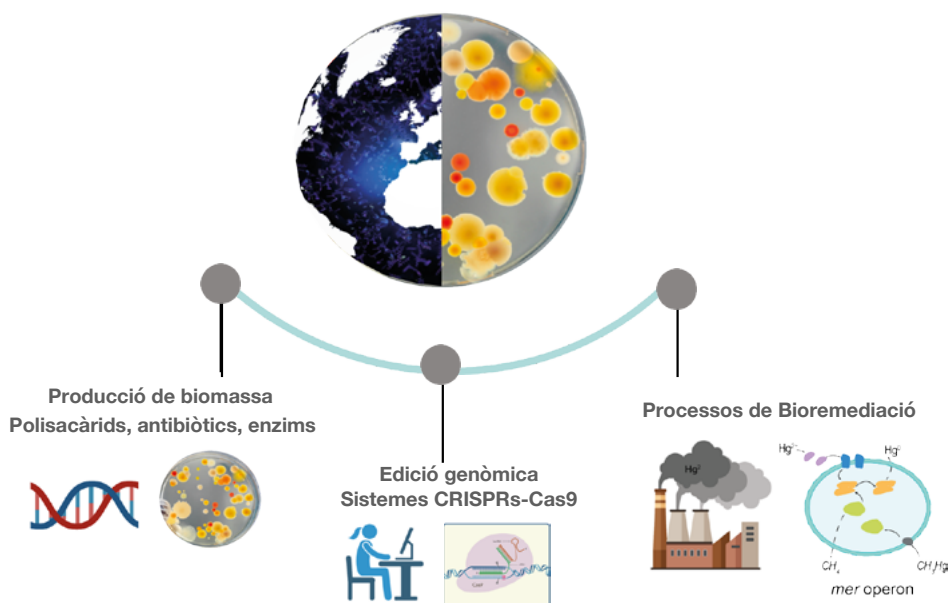


Figura 2. Una visió general de la presència i la rellevància dels microbis a l'oceà (panell superior, esquerra), la recuperació de la biodiversitat marina en cultiu pur (panell superior, dreta) i les aplicacions biotecnològiques discutides en el text a partir de la biomassa, de les seqüències i dels gens d'aquests microbis marins.

Un altre gran exemple d'avenç biotecnològic basat en la investigació bàsica és el descobriment de les repeticions curtes palindròmiques intercalades regularment, conegudes com a CRISPR. Aquestes seqüències van ser observades per Francisco Mojica i col·laboradors durant la dècada de 1990 quan estudiaven arqueus halòfils en salines. Mojica va encunyar el terme CRISPR i va proposar que estaven implicats en la immunitat bacteriana contra elements genètics estranys (Mojica *et al.* 2005). Els sistemes CRISPR-Cas són sistemes de resposta immune adaptativa que protegeixen els procariotes dels bacteriòfags i d'altres agents externs. El sistema CRISPR-Cas9 s'ha usat com una eina robusta d'edició del genoma per eliminar, editar o introduir nous gens i regular l'expressió gènica. Aquest és probablement el descobriment científic més rellevant del segle i amb un impacte enorme en la biomedicina i la biotecnologia. Si bé Jennifer Doudna i Emmanuelle Charpentier van guanyar el premi Nobel de Química el 2020 per desenvolupar la tecnologia CRISPR d'edició del genoma, les primeres observacions de Mojica van ser essencials i van obrir el camí als estudis posteriors. Un altre cop, la investigació bàsica va anar per davant. En una anàlisi recent de mostres de l'expedició Malaspina hem identificat noves arquitectures del sistema CRISPR-Cas i noves variants Cas9 provinents de l'oceà profund que, després de la validació en organismes model, podrien ser aprofitades en investigacions biològiques, biotecnologia i aplicacions clíniques.

Tot i que els microbis tenen molt menys glamur que altres organismes marins, com ara balenes, tortugues o peixos de colors, són essen-

cials per al funcionament del sistema Terra i representen una font inexplorada d'enzims i compostos que cada cop apareixen en més iniciatives d'economia blava (figura 2). És essencial que es continuï fent esforços per determinar la diversitat microbiana i la dels seus gens, per aïllar bacteris, arqueus, fongs, petits protists i virus, per caracteritzar els seus genomes i els enzims i compostos que produeixen, i per explorar el seu potencial biotecnològic, per tal que la gran quantitat de funcions útils que utilitzen per dirigir la biogeoquímica oceànica s'utilitzin també industrialment per millorar la vida humana.

## Referències

- Acinas S. G., Sánchez P., Salazar G. *et al.* 2021. Deep ocean metagenomes provide insight into the metabolic architecture of bathypelagic microbial communities. *Comm. Biol.* 4.
- Blasiak R, Jouffray J.B., Wabnitz C.C.C., *et al.* 2018. Corporate control and global governance of marine genetic resources. *Science Advances* 4, 6: eaar5237.
- Falkowski P.G., Fenchel T., Delong E.F. 2008. The microbial engines that drive Earth's biogeochemical cycles. *Science* 320: 1034-1039.
- Locey K. J., Lennon J.T. 2016. Scaling laws predict global microbial diversity. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 113: 5970-5975.
- Mojica F.J., Díez-Villaseñor C., García-Martínez J. *et al.* 2005. Intervening sequences of regularly spaced prokaryotic repeats derive from foreign genetic elements. *J. Mol. Evol.* 60: 174-182.
- OECD. 2013. *Marine Biotechnology: Enabling Solutions for Ocean Productivity and Sustainability*, OECD Publishing. <http://dx.doi.org/10.1787/9789264194243-en>
- Yoshida S., Hiraga K., Takehana T., *et al.* 2016. A bacterium that degrades and assimilates poly(ethylene terephthalate). *Science* 351: 1196-1199.

DOI: <https://doi.org/10.20350/digitalCSIC/14051>

## 1.2. Història de la contaminació de metalls pesants en els sediments del mar Català

Albert Palanques, Pere Puig, Jorge Guillén

Els metalls pesants són contaminants habituals que generen les activitats domèstiques i industrials i que s'aboquen al mar a través de rius, efluent residuals i emissions atmosfèriques. En diversos països, la distribució de metalls pesants en el medi marí s'estudia de manera sistemàtica per a estimar el seu impacte i els seus efectes econòmics i socials, i prendre mesures preventives i correctives. Molts estudis han detectat i datat l'impacte de l'activitat antropogènica en els sediments, on queden registrades les aportacions històriques i les tendències d'aquests contaminants. Aquests treballs generalment mostren un enriquiment antropogènic continu de metalls pesants a les àrees costaneres durant l'últim segle a causa de l'augment de la indústria, el desenvolupament urbà, la població, l'agricultura i la mineria.

En general, l'aplicació de regulacions ambientals, noves plantes depuradores i altres mesures de protecció han ajudat a reduir la descàrrega de metalls pesants en àrees costaneres durant les últimes dècades. No obstant això, els efectes d'aquestes reduccions són encara difícils d'identificar perquè poden passar diversos anys fins que quedin registrats en els sediments costaners i també perquè aquests registres es poden veure afectats per diversos processos com fortes tempestes, la construcció i els dragatges de ports, el desviament de desembocadures de rius o els canvis en les emissions de contaminació.

Un cop abocats al mar, els contaminants es veuen afectats per diversos processos fisicoquímics i són dispersats per corrents i ones. Al mar Mediterrani, la capacitat de transport d'aquests processos és menor que en els grans oceans, de manera que una gran part de la càrrega de par-

tícules contaminants pot assentar-se ràpidament en el fons marí proper a la costa, generant concentracions persistents i anòmales en els sediments. Només els esdeveniments hidrodinàmics extrems, com fortes tempestes o forts corrents induïts pel vent o accions erosives d'origen antropogènic, poden resuspendre aquests sediments contaminats i transportar-los mar endins.

### El mar Català

Durant les dècades de 1980 i 1990, els investigadors de l'ICM van estudiar la contaminació de metalls en sediments d'àrees específiques del mar Català, inclosa la costa, plataforma i els canons submarins propers a Barcelona, la costa i plataforma del riu Llobregat i la costa i plataforma de delta de l'Ebre, que mostren una contaminació significativa de metalls pesants en diversos llocs (figura 1).

L'any 2000, investigadors de l'ICM van participar en un programa de vigilància de la contaminació per metalls pesants en sediments marins de la plataforma interior catalana liderat per l'Agència Catalana de l'Aigua (ACA), seguint la Directiva Marc de l'Aigua (DMA, DIR 2000/60/CE). Van establir una xarxa de monitorització que va prioritzar el control de sediments en els voltants de les desembocadures dels rius, on s'acumulen els sediments amb una major contaminació de metalls pesants. Com a continuació d'aquest treball, l'ACA va posar en marxa el 2006 un segon programa per determinar els nivells de metalls traça i contaminants orgànics en els sediments del litoral català, donant prioritat a les zones de control més afectades segons els resultats del projecte 2000.

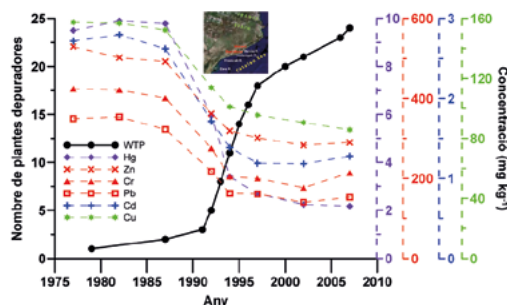


Figura 1. Nombre anual de plantes depuradores en funcionament des de 1979 fins al 2010 a la conca del riu Besòs i registre de concentracions de metalls traça als sediments del litoral de la ciutat de Barcelona durant aquest període de temps. PD: plantes depuradores. Les concentracions de metalls traça es corresponen amb l'eix Y de la línia discontinua del mateix color (de Palanques *et al.* 2017). Mapa que mostra la ubicació de l'àrea d'estudi.

Aquests estudis van identificar tres sectors: 1) La costa nord catalana, des de la frontera francesa fins a la localitat de Mataró, on la contaminació per metalls pesants era molt baixa o nul·la amb només contaminació aïllada en alguns punts; 2) el litoral de la ciutat de Barcelona, que presentava una contaminació molt elevada per a la majoria dels contaminants estudiats, especialment Hg i Cd, i 3) el litoral sud català amb una contaminació significativa decreixent cap al sud i amb valors màxims aïllats de Hg enfront de la desembocadura del riu Francolí (Palanques *et al.* 2016).

A més, les investigacions dutes a terme per científics de l'ICM entre els anys 80 i 2010 van identificar l'evolució històrica de la contaminació de metalls pesants al litoral de la ciutat de Barcelona, enfront i al sud de la desembocadura del riu Besòs, que és la zona més contaminada del litoral català. Els sediments d'aquesta zona van mostrar un augment moderat de la contaminació durant els anys vint i trenta i un fort augment des dels anys quaranta fins a finals dels vuitanta, que es correlacionen amb el desenvolupament industrial i l'evolució de la població a Catalunya. Des de finals de la dècada del 1980, els nivells de contaminació per metalls pesants van disminuir com a conseqüència de la normativa ambiental i les infraestructures desenvolupades en els rius i la costa catalana. La màxima disminució de la contaminació per metalls pesants va ser durant la dècada del 1990, quan es va produir el màxim

augment en el nombre de plantes de tractament d'aigües residuals, així com restauracions ambientals i regeneracions de platges, especialment a l'àrea del Besòs (figura 1) (Palanques *et al.* 1998, 2017).

Tot i que s'ha produït una dràstica reducció de la contaminació de metalls, els nivells a la zona de la costa de Barcelona segueixen sent elevats. De fet, la tendència descendent de la contaminació es va aturar durant la dècada del 2000, cosa que indica un límit en l'efectivitat de les mesures aplicades. La conca del riu Besòs i l'àrea metropolitana de Barcelona estan molt poblades i industrialitzades i encara produeixen una càrrega contaminant important. Tot i que aquesta contaminació és tractada per les plantes depuradores, durant esdeveniments ocasionals de pluges extremes i inundacions, la capacitat d'aquestes plantes no és suficient i l'excés d'aigua s'aboca sense tractar directament al mar formant grans plomes d'aigua contaminada (figura 2). Aquestes plomes romanen diverses hores fins que el material contaminat es dispersa i es diposita en el fons marí, la qual cosa contribueix a mantenir els nivells de contaminació encara relativament alts en el sediment (Palanques *et al.* 2017)

A més, les tempestes excepcionals poden erosionar part de la capa altament contaminada acumulada fins a la dècada del 1980 en el fons marí, provocant alguns augments dels nivells de metalls



Figura 2. Plomes d'aigua tèrbola i contaminada sense tractar abocades durant pluges extremes i inundacions a la costa de la ciutat de Barcelona. En groc perfils verticals de concentracions de metalls pesants en el sediment que mostren la seva evolució històrica. (De Palanques *et al.* 2017).



traça en els sediments superficials fins que s'enterren novament i es barregen amb sediments menys contaminats. (Palanques *et al.* 2020)

Per tant, si bé la normativa i els plans mediambientals desenvolupats a Catalunya a partir dels anys 80 han estat molt eficaços per reduir els nivells de contaminació dels metalls traça, a les zones més contaminades de litoral de Barcelona segueix sent necessari avançar en el desenvolupament de noves estratègies i implantar noves millores per reduir els impactes, especialment durant pluges extremes i tempestes.

## Referències

- Palanques A., Sanchez-Cabeza J.A., Masqué P., Leon L. 1998. Historical record of heavy metals in a highly contaminated Mediterranean deposit: the Besòs Prodelta. *Mar. Chem.* 61: 209-217.
- Palanques A., Caixach J., Belzunces M., Bartolomé A. 2016. Evolution of chemical pollution in Catalan coastal sediments. In: Munné A., Ginebreda A., Prat N. (Eds), *Experiences from Ground, Coastal and Transitional Water Quality Monitoring. The EU Water Framework Directive Implementation in the Catalan River Basin District 2*. Springer, Switzerland, pp. 271-300.
- Palanques A., López L., Guillén J., Puig P., Masqué P. 2017. Decline of trace metal pollution in the bottom sediments of the Barcelona City continental shelf (NW Mediterranean). *Sci. Total Environ.* 579: 755-767.
- Palanques A., López L., Guillén J., Puig P. 2020. Trace metal variability controlled by hydrodynamic processes in a polluted inner shelf environment (Besòs prodelta, NW Mediterranean). *Sci. Total Environ.* 735: 139482.

DOI: <https://doi.org/10.20350/digitalCSIC/14052>

## 1.3. El mercuri en un oceà canviant

Andrea G. Bravo, Isabel Sanz-Sáez, Amina T. Schartup

El mercuri (Hg) planteja un problema ambiental reconegut a nivell mundial amb preocupants impactes ambientals i de salut pública (UNEP 2019). Si bé sempre han existit fonts naturals de Hg com les erupcions volcàniques, l'activitat geotèrmica i la meteorització de roques riques en Hg en l'escorça terrestre, en el segle passat les activitats humanes com la mineria d'or artesanal i en petita escala, la combustió de carbó, la producció de metalls no-ferrosos, la producció de ciment i l'eliminació de deixalles que contenen Hg han superat a les fonts naturals. Al voltant del 80% del Hg emès a l'atmosfera de fonts naturals i antropogèniques es diposita a l'oceà, la qual cosa ha resultat en una triplicació de les concentracions de Hg en les aigües marines superficials en comparació amb els nivells preindustrials. Per això, l'Organització Mundial de la Salut ha col·locat al Hg entre les 10 principals substàncies químiques de major preocupació per a la salut pública. Espanya és un dels 130 signataris d'un tractat global, el Conveni de Minamata, que busca protegir la salut humana i el medi ambient dels efectes adversos del Hg i que va entrar en vigor a l'agost del 2017. Algunes de les accions proposades del conveni inclouen l'eliminació de l'ús de Hg en una sèrie de productes i processos industrials, la prohibició de noves mines de Hg i l'eliminació de les existents, el monitoratge de les emissions de Hg a l'aire i els alliberaments a la terra i l'aigua, i la regulació del sector informal de mineria d'or artesanal i en petita escala. En aquest context, la Unió Europea ha establert polítiques ambientals per a monitorar i modelar la distribució global de Hg, un exemple és el Sistema Global d'Observació de Mercuri. Comprendre el cicle biogeoquímic global del Hg als oceans és

clau per a predir els nivells de Hg en les xarxes alimentàries aquàtiques i avaluar l'impacte de les estratègies de reducció en l'exposició humana.

### El cicle del mercuri en l'oceà

En els ecosistemes marins, el Hg és present en diferents formes químiques que són sensibles a les condicions ambientals i biològiques. Les principals formes són el mercuri elemental,  $\text{Hg}^0$ , mercuri inorgànic divalent,  $\text{Hg}^{\text{II}}$ , mono- i di-metilmercuri,  $\text{CH}_3\text{Hg}^+$  i  $(\text{CH}_3)_2\text{Hg}$ , respectivament. El  $\text{Hg}^0$  és volàtil i pot transportar-se a grans distàncies en l'atmosfera i dipositar-se lluny de la seva font (inclòs l'oceà). A més, el  $\text{Hg}^0$  es pot oxidar a  $\text{Hg}^{\text{II}}$  i arribar a l'oceà. En l'aigua de mar, el  $\text{Hg}^{\text{II}}$  pot: i) reduir-se a  $\text{Hg}^0$  i tornar a emetre's a l'atmosfera o ii) metilar-se biòticament en la forma orgànica  $\text{CH}_3\text{Hg}^+$ , i iii) unir-se a matèria orgànica i partícules inorgàniques i sedimentar (figura 1). El  $\text{CH}_3\text{Hg}^+$  que es forma en els ecosistemes aquàtics pot exportar-se al sediment, ser absorbit per la xarxa tròfica, degradar-se biòtica o abiòticament a Hg inorgànic, o metilar-se per a formar dimetilmercuri,  $(\text{CH}_3)_2\text{Hg}$ . Part del  $(\text{CH}_3)_2\text{Hg}$  pot tornar a emetre's a l'atmosfera i/o degradar-se a  $\text{CH}_3\text{Hg}^+$ . Moltes d'aquestes transformacions estan mediantes per microorganismes que codifiquen els gens *hgcAB* (metilació de  $\text{Hg}^{\text{II}}$ ), *merA* (reducció de  $\text{Hg}^{\text{II}}$ ) i *merB* (desmetilació de  $\text{CH}_3\text{Hg}^+$ ). Malgrat que els microorganismes tenen un paper central en el cicle del mercuri, poc se sap de la seva presència, diversitat i activitat en l'oceà.

L'estudi de la forma química  $\text{CH}_3\text{Hg}^+$  és fonamental perquè es bioconcentra i biomagnifica en les xarxes tròfiques aquàtiques, aconseguint nivells del 80% al 100% del Hg total mesurat

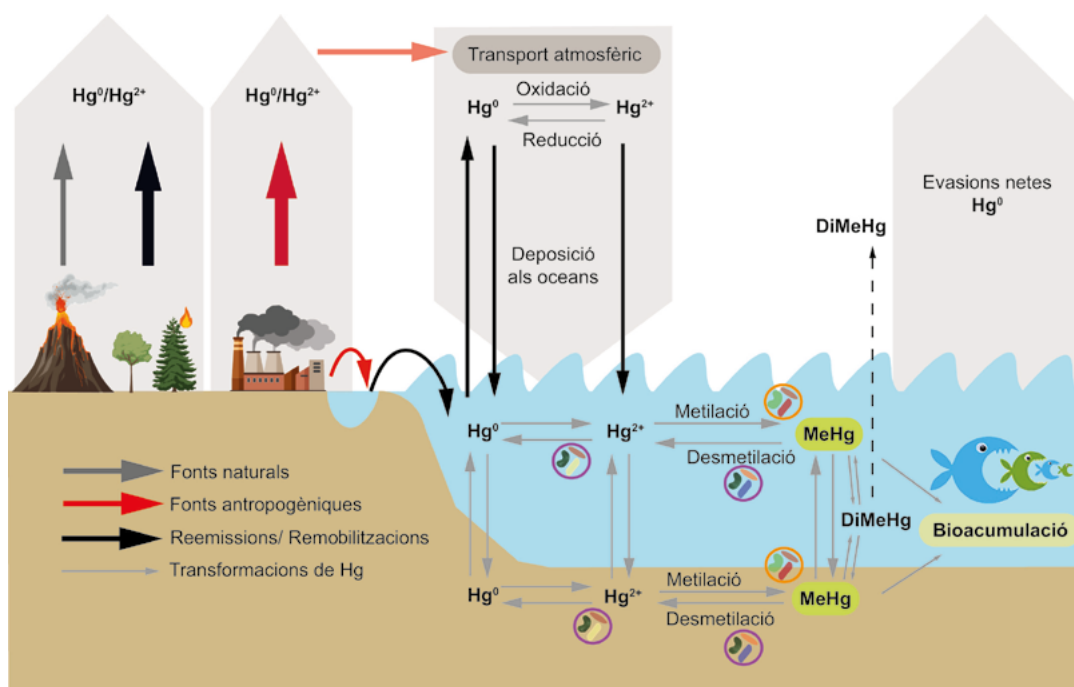


Figura 1. El cicle del mercuri i els pressupostos mundials de mercuri alliberats a l'atmosfera i recorreguts pels oceans i l'atmosfera. Les transformacions de mercuri van indicar que se centren en les que ocorren principalment en els ecosistemes marins, inclosa la columna d'aigua (àrea blava) i els sediments (àrea marró).  $Hg^0$ : mercuri elemental;  $Hg^{2+}$ : mercuri iònic; MeHg: metilmercuri.

en alguns teixits dels peixos. Tenint en compte que més de tres mil milions de persones depenen del peix i del marisc per a la seva nutrició i que les concentracions de Hg en el peix sovint excedeixen les pautes de qualitat ambiental fins i tot en absència de fonts locals, el consum de peixos i mariscos contaminats amb Hg és la principal via d'exposició humana. De fet, un estudi recent realitzat en 175 països va mostrar que el 38% de les poblacions estudiades (principalment països insulars i en desenvolupament) estaven exposades a nivells de  $CH_3Hg^+$  per sobre dels llindars governamentals (Lavoie *et al.* 2018). El  $CH_3Hg^+$  és neurotòxic i pot danyar el sistema nerviós central, provocant tremolors, distorsió de la parla, canvis en la funció renal i hepàtica, insuficiència respiratòria, marejos, visió borrosa, al·lucinacions i fins i tot la mort en persones greument exposades.

Malgrat els esforços globals per a reduir les emissions de Hg en els últims anys, les concentracions de Hg observades en els peixos marins de diversos mars europeus no han disminuït

substancialment (OSPARCOM). Al problema de l'increment del Hg en els oceans se sumen el canvi climàtic i la sobrepesca. Recentment, un model basat en dades de 30 anys va simular com els factors ambientals, inclòs l'augment de la temperatura del mar i la sobrepesca, impacten en els nivells de Hg en els peixos, en particular el bacallà de l'Atlàntic, l'alfals i la tonyina vermella de l'Atlàntic (Schartup *et al.* 2019). L'estudi va concloure que, si bé la regulació de les emissions de Hg està reduint els nivells de Hg en els peixos, la temperatura de l'aigua de mar i la disponibilitat de preses també són controls importants sobre les concentracions de Hg en els depredadors marins pelàgics. Per exemple, la sobrepesca de preses amb una concentració baixa de Hg pot obligar alguns depredadors a consumir preses riques en Hg i, per tant, augmentar les concentracions de Hg dels principals depredadors. A més, l'augment de la temperatura de l'aigua de mar pot augmentar la taxa metabòlica d'algunes espècies de peixos, la qual cosa també resulta en una major acumulació

de Hg. Un altre possible impacte que hauria d'explorar-se en recerques futures és el paper de l'hàbitat canviant, a mesura que les espècies tropicals i temperades es desplacen cap al nord a temperatures més fredes. Aquest moviment cap als pols podria resultar en un augment de MeHg en biotas perquè el MeHg arriba a les profunditats més superficials de la columna d'aigua en aigües de latitud alta (Zhang *et al.* 2015, Heimbürger *et al.* 2015). Finalment, un augment de temperatura pot potenciar el número i volum de les zones de mínim d'oxigen, propenses a formar  $\text{CH}_3\text{Hg}^+$ .

### Una acció directa i urgent és necessària per a disminuir els nivells de Hg en l'oceà

En conclusió, els esforços globals per a reduir les emissions i alliberaments de Hg en els nostres oceans poden conduir a reduir el Hg i possiblement a reduir el  $\text{CH}_3\text{Hg}^+$  en l'oceà (Zhang *et al.* 2016). No obstant això, els canvis impulsats pel clima, com l'augment de la temperatura de l'aigua de mar, l'expansió de les zones mínimes d'oxigen, l'estratificació de la columna d'aigua i els canvis en les estructures de la xarxa alimentària, poden contrarestar alguns dels beneficis projectats dels controls d'emissions (Zhang *et al.* 2021). A més, els retards en l'acció política (Selin 2018) donen com a resultat una reducció

més lenta dels nivells de Hg en el medi ambient. Per tant, hem d'actuar ara per a frenar les emissions i alliberaments de Hg i actuar de manera més agressiva. Finalment, es necessita més recerca per a comprendre com el canvi climàtic impacta la producció de  $\text{CH}_3\text{Hg}^+$  en l'oceà i la biomagnificació en les xarxes tròfiques marines.

### Referències

- Heimbürger L.-E., Sonke J.E., Cossa D., *et al.* 2015. Shallow methylmercury production in the marginal sea ice zone of the central Arctic Ocean. *Sci. Rep.* 5: 1-6.
- Schartup A., Thackray C.P., Qureshi A., *et al.* 2019. Climate change and overfishing increase neurotoxicant in marine predators. *Nature* 572: 648-650.
- Selin N.E. 2018. A proposed global metric to aid mercury pollution policy. *Science* 360 (6389): 607-609.
- UN Environment Programme (UNEP). 2019. Global mercury assessment 2018. Technical report, UN Environment Programme, Chemicals and Health Branch, UN Environment Programme, Chemicals and Health Branch Geneva, Switzerland.
- Zhang Y., L. Jaeglé, L. Thompson 2015. Natural biogeochemical cycle of mercury in a global three-dimensional ocean tracer model. *Global Biogeochem. Cycles*. 28: 553-570.
- Zhang Y., Jacob D.J., Horowitz H.M. *et al.* 2016. Observed decrease in atmospheric mercury explained by global decline in anthropogenic emissions. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 113: 526-531.
- Zhang Y., S. Dutkiewicz E.M. Sunderland 2021. Impacts of climate change on methylmercury formation and bioaccumulation in the 21st century ocean. *One Earth* 4: 279-288.

DOI: <https://doi.org/10.20350/digitalCSIC/14053>



## 1.4. Soroll de fons

Cristina Romera-Castillo, Lorenzo Bramanti

El documental «El món del silenci» en el qual el comandant Jacques Cousteau ens mostrava els secrets de la vida submarina, no feia honor al seu nom. Lluny de ser silenciós, el món submarí es caracteritza per ser un concert sonor, un soroll de fons provocat per animals marins i fenòmens geològics, de la mateixa forma que en la selva terrestre es barregen els sons d'animals amb els de la terra i la meteorologia. No obstant això, el concert equivalent que té lloc sota el mar no és tan conegut, probablement, perquè quan bussegem, el soroll de les nostres pròpies bombolles neutralitza gairebé tota la resta. El so en l'aigua es transmet cinc vegades més ràpid que en l'aire, per la qual cosa els sorolls d'alguns animals marins poden viatjar milers de quilòmetres. A més, es transmet més ràpid en aigua calenta que en aigua freda.

### La coral del mar

La majoria d'animals marins emeten sons entre <20 Hz (infrasons) i >20 kHz (ultrasons), per la qual cosa són audibles per un ampli rang d'espècies. Alguns com a invertebrats, cetacis, peixos i rèptils, són capaços de percebre sons de baixa freqüència (<5 kHz) mentre que els cetacis, sobretot dofins i orques (odontocets), també emeten i detecten a alta freqüència (fins a 200 kHz). Alguns animals, com les balenes, són capaces de comunicar-se a llarga distància utilitzant sons de baixa freqüència (Duarte *et al.* 2021). La balena blava (*Balaenoptera musculus*) i el rorqual comú (*Balaenoptera physalus*) se submergeixen fins a trobar el corrent d'aigua amb la temperatura apropiada des de la qual llançar els seus cants, el so dels quals pot arribar a altres conques oceàniques i ser escoltat pels seus congèneres fins a 4.000 km de distància, com si

d'un cable de fibra òptica es tractés (Tsuchiya *et al.* 2004).

Els animals emeten sons per diversos motius, per exemple, per a orientar-se en la navegació, en alimentar-se, per a defensar el seu territori, atreure a una parella o per a allunyar a un competidor en el festeig. Les balenes produeixen crides de baixa freqüència amb finalitats reproductives i socials. La balena geperuda (*Megaptera novaengliae*) canta cançons complexes que fins i tot tenen dialectes regionals i canvien amb el temps. I no sols els grans cetacis són capaços de comportaments complexos. Recentment s'ha vist que una espècie de cranc (*Maca squinado*) emet sons quan percep la proximitat d'aliment, probablement per a avisar als seus companys. Alguns animals, com el peix lloro, fan sons en alimentar-se i gratar la superfície d'on s'alimenten. Sorprèn el so característic que fan els eriçons de mar en pasturar les algues en el substrat rocós i que permet als investigadors identificar-los individualment. I encara és més sorprenent el cas de la petxina de pelegrí (*Pecten maximus*) que fa sorolls diferents quan es mou (nedant a propulsió) de quan menja (filtrant aigua) de manera que a través del so es pot saber què està fent exactament (Busson *et al.* 2010).

### El so de la revolució

A partir de la Revolució Industrial, tots aquests sons s'han vist acompanyats dels que provoca l'activitat humana, com la navegació, la pesca, les prospeccions sísmiques, el dragatge, les operacions militars o l'extracció minera del fons marí. Tota aquesta activitat antropogènica ha afegit una contaminació acústica als sons naturals propis del medi marí (figura 1). Diferents estudis han demostrat que aquest soroll antro-

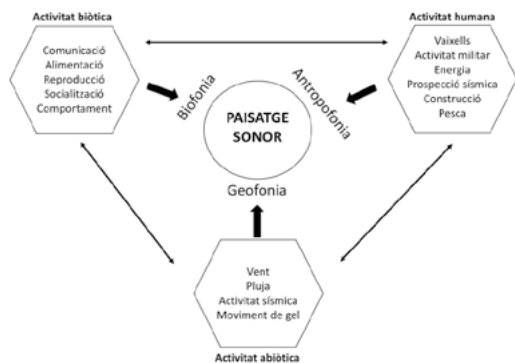


Figura 1. Diferents components del paisatge sonor marí (soundscape). El *soundscape* és la suma dels sorolls que originen els organismes (biofonia), els fenòmens meteorològics i geològics (geofonia) i l'home (antropofonia).

pogènica afecta negativament als animals marins (Duarte *et al.* 2021). En molts casos, la freqüència de banda a la qual s'emet el soroll antropogènica se superposa amb aquella a la qual els animals poden sentir i poden emmascarar els sons que els seus congèneres usen per a comunicar-se. El soroll de navegació pertorba l'activitat dels mamífers marins com l'alimentació, socialització, comunicació, navegació i el descans. També pot atenuar el comportament anti-predadors dels juvenils d'alguns peixos, augmentant la seva mortalitat i reduint la seva capacitat d'aprendre a evitar predadors en el futur (Duarte *et al.* 2021). És capaç de pertorbar l'assentament i

desenvolupament dels invertebrats, com el de les larves i juvenils d'algunes espècies que habiten els esculls i utilitzen els sons del seu voltant per a localitzar un lloc apropiat on assentar-se (Lillis *et al.* 2018).

La degradació dels hàbitats marins, com els boscos de kelp, les praderies de plantes marines o els esculls de coral, provoca la disminució del paisatge sonor d'aquests ecosistemes pel fet que disminueix la presència d'animals que produeixen sons. A més, hàbitats com les praderies de posidònia o els boscos de gorgònies, quan gaudeixen de bona salut, poden tenir una funció d'atenuació del soroll creant oasi de tranquil·litat per a les espècies que es refugien en elles.

En els últims 50 anys, l'augment de la navegació ha multiplicat per 30 el soroll de baixa freqüència al llarg de les principals rutes de navegació (figura 2). D'altra banda, la sobrepesca ha disminuït la població de molts peixos i mamífers, disminuint el paisatge sonor al qual aquests contribuïen. El canvi climàtic també afecta als sons del fons marí. L'augment de la temperatura de l'aigua que augmenta l'estratificació i modifica els corrents pot alterar la velocitat i distància a la qual es transmet el so amb conseqüències per als animals marins. L'augment de CO<sub>2</sub>, que causa l'acidificació de l'oceà, provoca un oceà més sorollós, donant lloc a una disminució substancial en l'absorció de so per l'oceà a fre-

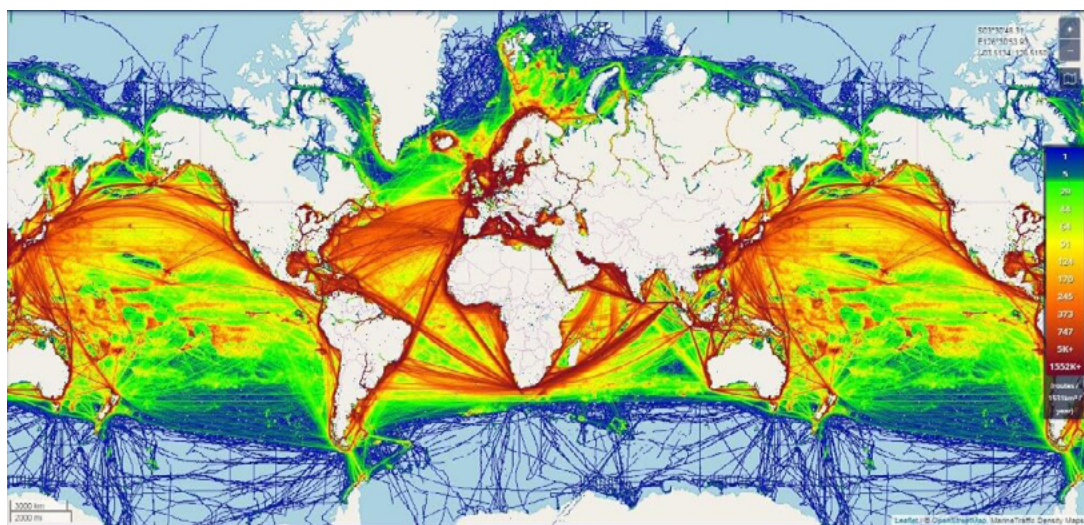


Figura 2. Mapa del trànsit marítim (<https://moverdb.com/shipping-traffic-density/>).

qüències per sota dels 10 kHz. També a causa del canvi climàtic, han augmentat el nombre de ciclons i onades de calor, la qual cosa provoca la degradació d'hàbitats marins i l'alteració de la seva biofonia (Duarte *et al.* 2021).

Els experts estan proposant mesures per a mitigar el soroll antropogènic. En algunes àrees marines protegides ja s'estan duent a terme. En les zones protegides de l'Àrea Marina de Cinque Terre (Itàlia), es donen permisos de navegació sobre la base del soroll tot premiant a aquelles que produeixen menys. A França, en la reserva marina de Cerbere/Banyuls, s'ha dut a terme un estudi dels cants de meros (*Epinephelus marginatus*) i corbines (*Sciaena umbra*) per a poder regular els bussejos nocturns evitant les temporades en què aquestes espècies canten durant la reproducció. En altres àrees marines, com el Cap de Creus i les Illes Medes, la velocitat de navegació s'ha limitat per a reduir el soroll i el conseqüent impacte sobre el paisatge sonor de les àrees de protecció integral. S'ha estimat que la disminució de velocitat en 2 nusos redueix un 50% del soroll de banda ampla provocat pels vaixells.

Malgrat algunes iniciatives a nivell local, la contaminació acústica submarina és un fet al qual encara no s'ha parat esment en els objectius de les polítiques mediambientals a nivell nacional i internacional, però, probablement, comencem a sentir a parlar en el futur i el «soroll de fons» sigui escoltat per tota la població.

## Referències

- Busson S., Gervaise C., Barazzutti A., *et al.* 2010. Higher-order statistics for bioacoustic click detection. 10ème Congrès Français d'Acoustique, Lyon, France.
- Duarte C.M., Chapuis L., Collin S.P., *et al.* 2021. The soundscape of the Anthropocene ocean. *Science* 371: eaba4658.
- Lillis A., Apprill A., Suca J.J., *et al.* 2018. Soundscapes influence the settlement of the common Caribbean coral *Porites astreoides* irrespective of light conditions. *R. Soc. Open Sci.* 5: 181358.
- Tsuchiya T., Naoi J., Futa K., Kikuchi T. 2004. Difference in Simulated Low-Frequency Sound Propagation in the Various Species of Baleen Whale. *Jpn. J. Appl. Phys.* 43: 3193.

DOI: <https://doi.org/10.20350/digitalCSIC/14054>

## 1.5. Brossa marina, la nova plaga de mars i oceans

Eve Galimany, Elena Marco-Herrero, Montserrat Ramón

Mars i oceans representen la major part del planeta Terra. La bona salut de les seves aigües és determinant per mantenir la vida, no només dels ecosistemes aquàtics sinó també dels terrestres. Però aquesta salut es veu amenaçada per l'anomenada brossa marina, restes de tota mena d'objectes i materials que formen actualment una de les principals causes de contaminació, creant greus problemes ambientals i econòmics arreu del món.

La gran majoria de brossa marina prové d'activitats terrestres, on els residus es transporten cap a mars i oceans per acció del vent, dels rius, de la pluja i d'una falta de gestió adient per a una Terra actualment superpoblada. Dels diferents tipus de brossa marina que arriben a mars i oceans, incloent-hi teles, paper, bateries i vidre, la gran majoria (61-87%) està composta per plàstic. Aquest plàstic, de dimensions que van des de les micres (microplàstics) fins als centímetres i ocasionalment metres (macroplàstics), acaben als fons marins on es perpetuen durant anys, fins i tot segles.

### La brossa marina i els seus efectes

Els efectes de la brossa marina són variats i alteren tant els organismes i les comunitats com les activitats econòmiques que generen aquests ecosistemes. Fins ara, s'han descrit efectes en 1400 espècies distribuïdes per tot el món (Galvani *et al.* 2019). Dels efectes físics més comuns observats en la fauna es troben l'entortolligament, quan queden enredats amb brossa marina, i la inanició, quan ingereixen brossa que s'acumula en els sistemes digestius impedint la seva alimentació i, fins i tot, danyant els

seus òrgans. A més, els plàstics sovint porten additius químics que poden ser tòxics i que es bioacumulen al llarg de la cadena alimentària. Econòmicament, la brossa marina té efectes molt negatius per l'increment de despesa que suposa la neteja tant de la massa d'aigua com de les platges. També pot generar despeses en sectors econòmics marítims degut a impactes als cascs dels vaixells i trencament d'estris pesquers, i poden arribar a espatllar sistemes de refrigeració i motors.

### Com està el mar Mediterrani?

El mar Mediterrani, que culturalment i tradicionalment ha donat suport a totes les civilitzacions que han ocupat les seves costes, és especialment vulnerable als efectes de la brossa marina. La geomorfologia mediterrània fa que sigui un mar molt tancat, on els residus que hi arriben queden atrapats sense gairebé cap opció de dispersar-se i sortir. És per la gran acumulació de brossa marina que actualment es considera un dels mars més bruts del planeta (Galvani *et al.* 2014).

La quantitat exacta de brossa marina a la Mediterrània és difícil d'avaluar degut, entre altres coses, al fet que la majoria de recerca s'ha fet majoritàriament a fondàries >100 m. El primer estudi que va quantificar la quantitat i el tipus de brossa que es troba al fons marí en fons somers es va publicar recentment, l'any 2019 (Galimany *et al.* 2019). Mitjançant la col·laboració amb mariscadors que pesquen entre els 10 i els 68 m de fondària a Catalunya, es va quantificar la brossa marina present a les captures en dues àrees, una urbana, situada just al sud de Barce-





Figura 1. Aspecte de la captura obtinguda pels pescadors artesanals a la zona urbana (esquerra) i a la zona rural (dreta).

lona, i una de rural al Delta de l'Ebre (figura 1). Els resultats van mostrar que, en zones properes a àrees molt poblades (zona urbana) i amb rutes de navegació molt transitades, la brossa marina pot representar el 37,6% del total de la captura

pesquera en pes per àrea mostrejada (figura 2). En termes de densitats de massa, suposa entre 198 i 393 kg de brossa per km<sup>2</sup>. Per contra, la brossa marina pescada al litoral de les àrees menys poblades (zona rural) va suposar un 5,2%

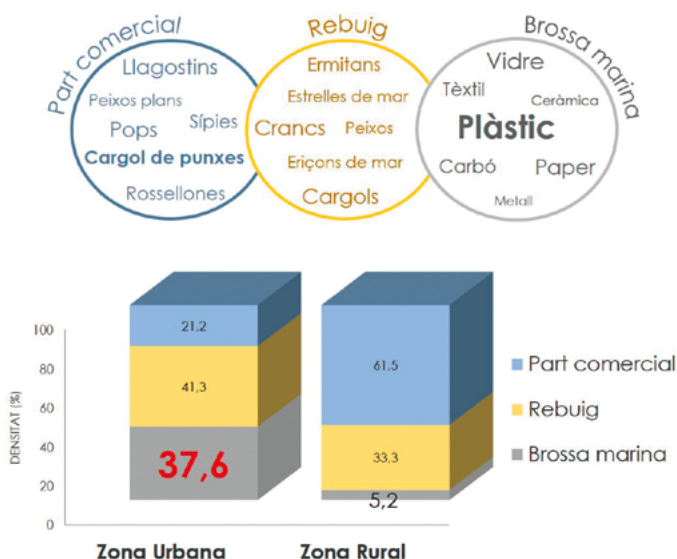


Figura 2. Comparativa de la densitat de massa (kg m<sup>-2</sup>) en percentatge de les captures de brossa marina, rebuig (organismes sense valor comercial) i part comercial a l'art de pesca *rastell de cadenes* entre la zona urbana i la rural.

del total de les captures, representant unes densitats molt més baixes (34 i 56 kg de brossa per km<sup>2</sup>).

Una vegada la brossa ha arribat a mars i oceans, la seva eliminació és molt difícil perquè la deriva i la immensitat espacial per on es mouen, incloent-hi grans fondàries, dificulta enormement trobar una solució efectiva i econòmica. A més, tampoc existeixen mètodes eficients ni legislacions fermes per netejar els fons marins. Així doncs, el millor residu és el que no es genera i per a això ha d'haver un esforç comú de la població per trencar la tendència actual de producció de residus. Actes senzills com el reciclatge, la reutilització de recursos i un canvi en els hàbits de la població, sobretot pel que fa a l'excés del plàstic, poden ajudar enormement a reduir la brossa que arriba al mar. Per a aquells

residus que ja estan acumulats en els fons, es podrien establir mecanismes de col·laboració amb les pesqueres i que aquestes ajudin a eliminar els residus que pesquen accidentalment a diari. Amb això es reduirien els costos de pesca i els perills potencials per als ecosistemes marins.

## Referències

- Galgani F., Barnes D., Deudero S., *et al.* 2014. Marine litter in the Mediterranean and Black Seas. CIESM Workshop Monograph 46. In: Briand F. (ed.), CIESM Publisher, Monaco, 180 pp.
- Galgani L., Beiras R., Galgani F., *et al.* 2019. Editorial: Impacts of marine litter. *Front. Mar. Sci.* 6: 208.
- Galimany E., Marco-Herrero E., Soto S., *et al.* 2019. Benthic marine litter in shallow fishing grounds in the NW Mediterranean Sea. *Waste Manage.* 95: 620-627.

DOI: <https://doi.org/10.20350/digitalCSIC/14055>

## 1.6. Estratègies internacionals i els reptes de la societat: cap a un mar sense plàstic

Cristina Romera-Castillo, Vanessa Sarah Salvo

El Plasticè o L'Edat del Plàstic es va iniciar en els anys 50 a causa del continu increment de producció i consum de plàstic (Corcoran *et al.* 2014). Des de llavors, aquest material ha arribat, fins i tot, a formar conglomerats amb roques formant «plastiglomerats», proposats com a marcador geològic de l'Antropocè. De tot el plàstic generat en la història de la humanitat, només s'ha reciclat un 9%, el 12% ha estat incinerat i el 79% s'ha anat acumulant en abocadors o en el medi ambient (Geyer *et al.* 2017). En 2020 es van produir uns 350 milions de tones de plàstic, dels quals, un 5% acaba arribant al mar. S'estima que la producció de plàstic augmenta anualment de manera exponencial i, paral·lelament, l'arribada d'aquest residu a l'oceà. Per acció de la llum solar, l'erosió i l'oxidació, el plàstic es degrada i es fragmenta en trossos que poden anar des de <5mm (microplàstics) fins a grandàries microscòpiques com a partícules o fibres. Els residus de plàstic provoquen un impacte estètic, físic, químic i biològic en l'ecosistema marí, i arriba a afectar l'ésser humà a través del peix i marisc que ingerim i de l'aigua que bevem (figura 1). El problema no es limita a les partícules de plàstic sinó també als additius que s'afegeixen als seus polímers, compostos químics que fan el material més resistent i li confereixen les qualitats i característiques desitjades. Els additius s'alliberen a l'aigua de mar i alteren l'ecosistema marí com, per exemple, a nivell del cicle del carboni i de la cadena tròfica microbiana (Romera-Castillo *et al.* 2018). Alguns additius són també tòxics per a la salut humana i la dels organismes marins. En alguns casos són substàncies persistents que s'acumulen en els éssers vius incrementant al llarg de la cadena

tròfica (biomagnificació). El plàstic a més té la capacitat de adsorbir contaminants presents en el mitjà aquós i acumular-los fins a aconseguir altes concentracions d'aquests. Si el plàstic és ingerit per un organisme, els additius i/o contaminants adsorbits poden alliberar-se a l'interior d'aquest amb potencials efectes negatius que van des d'afeccions al desenvolupament neurològic i al sistema endocrí fins a efectes carcinogènics.

### Polítiques internacionals

A nivell internacional, l'atenció sobre les escombraries marines, en particular el seu component predominant, el plàstic, ha començat amb el pacte voluntari del 1995 del GPA (*Global Programme of Action for the Protection of the Marine Environment from Land-Based Activities*) de la UNEP per a la prevenció de la contaminació marina d'origen terrestre identificant factors de degradació ambiental. Uns anys després, L'Estratègia de Honolulu (2012) proposada en la Conferència de Rio 20+ ha representat una de les primeres preses de decisions institucionals d'acció global enfront d'aquest contaminant. Actualment, la comunitat internacional ha reconegut el plàstic com una de les principals amenaces per al planeta. Avui dia, són innombrables les declaracions, recomanacions i decisions ratificades. Des dels Objectius de Desenvolupament Sostenible 12 i 14 de l'Agenda 2030 de les Nacions Unides fins a les crides urgents a l'acció del *G7 Action Plan to Combat Marine Litter* (2015) i el *G20 Action Plan on Marine Litter* (2017). En 2018 es va adoptar la *European Strategy for Plastics* que inclou una sèrie de recomanacions, línies d'acció i mesures per als pròxims anys,



Figura 1. Plàstic d'un sol ús en ambient marí. © The Ocean Agency-Ocean Decade.

algunes de les quals s'han vist plasmades en polítiques actives per als estats membres com la DIR (UE) 2019/904 sobre l'eliminació de productes d'un sol ús. Aquesta s'està implantant a nivell nacional i autonòmic, encara que amb gran retard i alentida per la pandèmia de COVID-19. El primer lloc on s'han implantat a Europa han estat les Illes Balears (Llei 8/2019 del 19 de febrer), servint d'exemple per a la resta de països europeus per la seva ambició, superior a la pròpia directiva. No obstant això, en totes aquestes propostes i crides a l'acció continuen quedant moltes preguntes obertes a les quals les recerques hauran d'aportar les respostes adequades amb dades, nous materials i tecnologies.

## Solucions

S'han proposat possibles solucions per a «netejar» l'oceà de plàstic però són un intent d'escombrar al desert. La primera mesura a prendre és «tancar l'aixeta» de plàstic que arriba al mar cada dia a través de mesures de prevenció. El 80% del plàstic que arriba al mar ho fa a través de fonts terrestres, derivat del consum humà, principalment a través de rius. Moltes actuacions i estudis que s'estan duent a terme són curatius, és a dir, mesures aplicades al final de la cadena d'un procés i no en la font de l'impacte. Alguns exemples de mesures curatives són les

noves tecnologies lligades a la valorització del residu, la reutilització, el reciclatge o la substitució per altres materials. També hi ha recerques en marxa que van des de la utilització de bacteris especialitzats en biodegradació de plàstic fins a sistemes potencialment impactants, com el reciclatge químic, que es proposa com una alternativa a la incineració. Encara falten dades per a obtenir una visió detallada de l'impacte real creat pels plàstics i els seus substituïts, considerant les afeccions directes i indirectes. Però el que sí és clar és que la salut del nostre planeta blau i la nostra pròpia està en perill. És hora de fer un esforç col·lectiu entre ciutadans, governs i científics per a superar el Plasticè amb mesures i accions contundents de prevenció.

## Referències

- Corcoran P.L., Moore C.J., Jazvac K. 2014. An anthropogenic marker horizon in the future rock record. *GSA Today* 24: 4-8.
- Geyer R., Jambeck J.R., Law K.L. 2017. Production, use, and fate of all plastics ever made. *Sci. Adv.* E1700782.
- NOAA & UNEP. 2012 The Honolulu strategy. A global framework for prevention and management of marine debris. 50 pp.
- Romera-Castillo C., Pinto M., Langer T.M., *et al.* 2018. Dissolved organic carbon leaching from plastics stimulates microbial activity in the ocean. *Nat. Commun.* 9: 1430

DOI: <https://doi.org/10.20350/digitalCSIC/14056>







## 2. Oceà saludable i resilient

Clara Ruiz-González, Enrique Isla, Joan Navarro

Vivim envoltats de natura malgrat que no sempre sapiguem apreciar la seva grandesa. Els oceans, que percebem com a masses d'aigua homogènies que ens proporcionen aliment i diversió, amaguen infinits secrets que només es revelen amb l'observació i l'estudi detallat de les seves propietats, dels seus habitants i dels delicats equilibris que mantenen el seu funcionament. Les nostres accions i la nostra manera de viure contra (i no amb) la natura estan fent perillar aquest equilibri i la salut dels oceans, sense que siguem del tot conscients de les repercussions negatives que un oceà malalt podria tenir sobre les nostres vides i l'habitabilitat del planeta.

És urgent que entenguem que és el moment de protegir i cuidar aquesta grandiosa font de vida, així com de promoure accions que permetin la seva recuperació. L'acció humana, que tant de mal pot causar, és capaç també d'aconseguir canvis positius si els esforços es dirigeixen a la recuperació i restauració dels ecosistemes o les poblacions i comunitats d'organismes. Això requereix un profund coneixement del funcionament de l'oceà i de la seva capacitat de respondre davant els canvis que han succeït i que s'espera que succeeixin durant els propers anys.

L'estudi dels oceans abasta innumbrables disciplines que inclouen des de l'ecologia dels microorganismes del plàncton, que controlen els cicles globals dels elements químics i mantenen les poblacions de grans mamífers marins o la productivitat de les pesqueres, fins a la regulació del clima del planeta a través dels moviments de corrents i masses d'aigua. No obstant això, malgrat els enormes avenços en el nostre coneixement dels oceans, encara estem lluny de disposar de totes les eines necessàries per a poder conservar-lo, recuperar-lo i sobretot protegir-lo dels problemes que no-saltres mateixos estem generant. Únicament aprenent a mirar a l'oceà amb el respecte, l'admiració i la dedicació que mereix serem capaços de deixar de degradar-lo i entendre que sense ell no som res.

## 2.1. L'organisme planetari

Josep L. Pelegrí

Tota una vida d'estudi dels oceans m'ha regalat l'oportunitat d'esguardar la seva complexitat i intel·ligència. Inicialment em vaig centrar en analitzar alguns dels seus components per separat –com els corrents, els processos de mescla i la producció primària– però amb els anys vaig descobrir que la seva bellesa i riquesa està en la complementarietat, en les seves interconnexions, en el seu rol generador de la complexitat planetària.

El 2008 vaig presentar una aproximació fisiològica als oceans que proposa que el sistema de circulació oceànic polsa de manera similar al sistema circulatori d'entitats complexes com els mamífers (Pelegrí 2008). Un senzill model fisiològic explicava les variacions del CO<sub>2</sub> atmosfèric entre períodes glacials i interglacials durant els últims tres milions d'anys. El model va ser posteriorment ajustat amb algorismes genètics, demostrant que l'oscil·lació natural del carboni atmosfèric es pot justificar com a resultat de la transformació entre les formes orgànica i inorgànica de carboni dissolt en els oceans (Pelegrí *et al.* 2013). En termes fisiològics, el cor de l'oceà batega amb periodicitat anual, impulsant cada hivern el flux circulatori planetari mitjançant l'enfonsament de les aigües superficials en latituds altes. Aquest circuit és molt actiu en èpoques interglacials –amb un metabolisme elevat que transforma grans quantitats de carboni i nutrients inorgànics via fotosíntesi– i s'alenteix durant els períodes glacials –una fase de repòs amb l'emmagatzematge de matèria orgànica disolta com a forma d'energia en reserva.

Recentment, hem explorat la idea que oceà i atmosfera maximitzen el flux d'energia, igual que ho fan els éssers vius (Roca i Pelegrí 2020). Sota aquesta premissa, hem desenvolupat un model energètic planetari que reproduïx correctament les tendències climàtiques entre l'úl-

tim màxim glacial i l'actualitat, i fa prediccions raonables sobre l'evolució de la temperatura del planeta per a finals de segle. Un corol·lari d'aquest estudi és que la Terra presenta patrons espacials que són similars als observats en espècies que han evolucionat al llarg del temps, i que aquests patrons són responsables d'optimitzar el flux de les propietats que sostenen la vida –com són l'aigua, els nutrients i l'energia (figura 1).

### Una nova mirada a Gaia

Aquests estudis conceptuals sobre patrons fisiològics temporals i espacials, juntament amb molts treballs oceanogràfics observacionals i numèrics en diferents regions del planeta, permeten reinterpretar la complexitat del planeta oceà. Partint d'un breu recordatori de la hipòtesi Gaia i apel·lant a la visió de la vida com a procés, podem reexaminar el paper fonamental de l'aigua i els oceans en el nostre planeta.

Durant la dècada dels 70, James Lovelock i Lynn Margulis van proposar que la vida intervé en la creació de l'ambient planetari: es regula l'entorn físic de manera que s'optimitza el desenvolupament de la pròpia vida (Lovelock i Margulis 1974). Aquesta proposta –la teoria Gaia– va generar una nova mirada al nostre planeta però no va aconseguir entusiasmar a gran part de la comunitat científica a causa de l'aparent impossibilitat pràctica de verificar-la. Malgrat alguns valuosos esforços durant aquesta última dècada (Stephen Harding; Eileen Crist i Bruce Rinker; Carlos de Castro), l'enfocament predominant actual sobre el nostre planeta és sistèmic: un conjunt d'entitats diferenciades que interaccionen i s'auto-organitzen, donant peu a propietats col·lectives més complexes que les propietats de les seves parts.

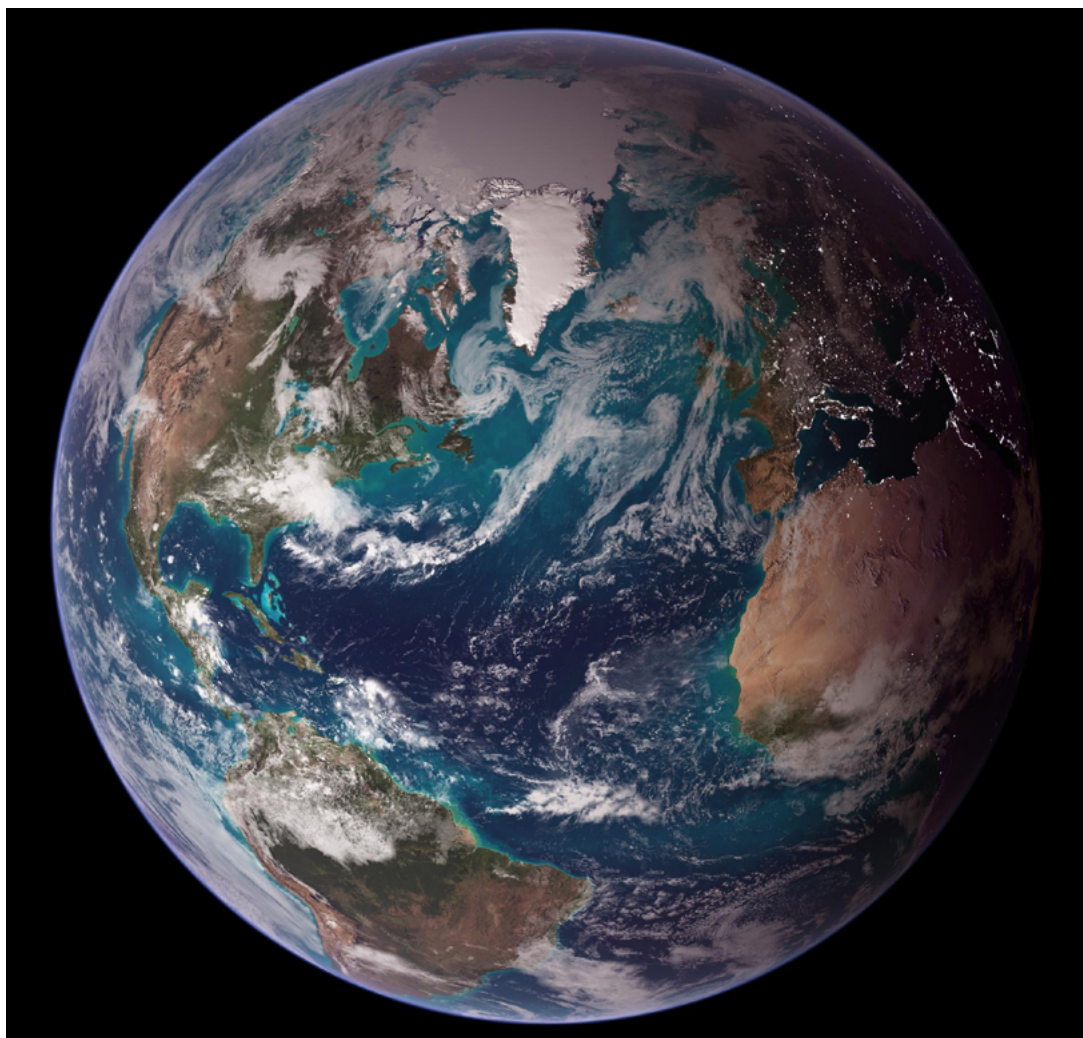


Figura 1. Imatge de satèl·lit que permet entrellucar la complexitat de l'atmosfera i la superfície dels oceans i continents del planeta Terra. Goddard Space Flight Center, NASA.

En aquest moment en què l'ideari de Gaia sembla haver cedit pas al pragmatisme del *big data* i la intel·ligència artificial, sorprèn veure com molts programes i organitzacions prenen com a lema el simbolisme del planeta viu (p. ex. *Living Earth*, *Living Planet*, *Living Ocean*). Aquests programes sorgeixen de la nostra nova capacitat d'observar amb elevada precisió la gairebé totalitat de la superfície del planeta (figura 1), allò que abans era remot i inaccessible apareix pròxim i es transmet la imatge de familiaritat. No obstant això, aquests programes se centren més a dissecionar els blocs (ambient fisicoquímic, individus i comunitats, ecosiste-

mes) i comprendre els engranatges entre entitats diferenciades que a explorar la idea holística d'un planeta viu.

### La vida com a procés

La visió clàssica de la vida es basa en la substància: l'ésser viu material desenvolupa funcions complexes, en un aparent equilibri intern, dins d'uns límits físics delimitats. Aquest ésser viu –físicament diferenciat, connectat i atrapat en un espai limitat– s'organitza i autoregula responant i adaptant-se a estímuls externs.

Una visió oposada de la vida es basa en processos dinàmics que, mitjançant un flux continu de propietats, condueixen a un sistema aparentment estable (Nicholson i Dupré 2018). És el que solem dir un sistema homeostàtic, però que va molt més enllà d'un sistema complex auto-organitzat, puix que es troba en constant evolució. Matèria, energia i informació flueixen creant complementarietat i resiliència, maximitzant la complexitat i minimitzant el desordre (entropia).

Temporalment, algunes porcions del sistema exhibeixen un elevat grau d'organització però aquestes regions renoven completament la seva matèria en cicles molt més curts... els éssers humans, per exemple, renovem totes les nostres cèl·lules en períodes molt més curts que l'extensió de la nostra vida. Des de la perspectiva substancial de la vida, a aquestes regions les anomenem individus, però sota l'enfocament processual desapareix la restricció espacial i temporal de l'individu i les entitats diferenciades s'aprecien només com una imatge estàtica dins del continu flux de processos.

La vida com a procés obre una nova perspectiva a la hipòtesi Gaia. Es pot afirmar amb certesa que cap part del sistema Terra, inclosos els éssers humans, està tancada. Només la biosfera, amb els oceans com a element essencial i central, és realment independent, una entitat d'una complexitat incommensurable que des de fa milions d'anys funciona i evoluciona utilitzant pràcticament només l'energia solar.

## Planeta Oceà

En el flux de matèria, energia i informació –el flux de la vida– l'aigua apareix com a compost químic indispensable. Fa més d'un segle, Lawrence Henderson (1913) va destacar les seves meravelloses propietats tèrmiques i com a solvent (de carboni, nutrients i sals, entre altres). Recentment, Gerald Pollack (2013) ha emfatitzat el seu ocasional comportament cristal·lí, amb sorprenents afinitats espacials i temporals.

L'aigua, que connecta els llocs més allunyats del planeta com a solvent líquid o com a solut, líquid en el subsol i gasós en l'atmosfera, també arriba als espais més minúsculs on tenen lloc

els processos moleculars que possibiliten la nostra existència. El flux de l'aigua entre mitjà i entitats, es diguin ecosistemes o individus, apareix en totes les escales: des de la formació dels oceans per l'impacte de cometes o meteorits i el reciclatge del carboni gràcies a la lubricació de les plaques tectòniques, fins a la transformació de l'energia solar en energia química per mitjà de la fotosíntesi i els cicles biogeoquímics responsables del manteniment del volum d'aigua planetària.

Parlar del cicle hidrològic és parlar d'oceans, i parlar d'oceans és parlar de vida. Els oceans són mitjà, estructura i propòsit. Els oceans contenen el 97% de l'aigua superficial líquida en el nostre món i són el major repositori de les propietats vitals per a la vida, amb més del 95% de l'activitat metabòlica planetària. Els fronts i corrents oceànics estableixen l'entorn físic i biogeoquímic, caracteritzant regions i definint el grau de connexió entre ecosistemes. Com a resultat, les diferents regions oceàniques tenen rols fisiològics complementaris que possibiliten el funcionament de l'organisme planetari (Pelegrí 2019).

L'oceà viu deixa de ser una frase metafòrica, es converteix en una realitat formada per molt més que individus, comunitats i ecosistemes marins. Al flux de matèria (aigua i propietats biogeoquímiques) li acompanya el d'energia (en totes les seves formes, des d'interna i mecànica fins a química, emmagatzemada com a matèria orgànica) i informació (genètica, ambiental, comunitats). D'aquí que la cerca d'exoplanetes amb vida comença per la identificació de planetes amb aigua líquida.

Gràcies als oceans, gràcies al flux de l'aigua i les seves múltiples propietats, tots estem interconnectats amb el nostre entorn i entre nosaltres. La vida com a procés qüestiona la individualitat: matèria, energia i informació formen part del flux universal, així ha estat durant uns 4000 milions d'anys de vida planetària. Cadascun de nosaltres forma part del planeta, malgrat que en cada instant ens manifestem amb un elevat grau d'organització en un espai aparentment limitat.

El futur d'una humanitat en harmonia amb el seu entorn jeu en la nostra habilitat per a desenvolupar una consciència planetària. La salut del planeta depèn de la salut de cadascuna de les



seves parts i viceversa, la salut de tot l'organisme planetari és el que ens portarà salut aquí i ara. La pandèmia COVID-19 i l'emergència climàtica són clars exemples que salut i consciència planetària van de la mà.

Aquest assaig és l'adaptació d'un article publicat en *The Conversation* el 3 de setembre de 2020 sota el títol «Planeta oceà: el cor líquid que ens manté vius» (<https://theconversation.com/planeta-oceano-el-corazon-liquido-que-nos-mantiene-vivos-145553>).

## Referències

- Henderson L. 1913. *The Fitness of the Environment*. The MacMillan Company, 317 pp.
- Lovelock J.E. 1979. *Gaia: A New Look at Life on Earth*. Oxford, 157 pp.
- Lovelock J.E., Margulis L. 1974. Atmospheric homeostasis by and for the biosphere-The Gaia hypothesis. *Tellus*, 26: 2-10.
- Nicholson D.J., Dupré J. 2018. *Everything flows - Towards a Processual Philosophy of Biology*. Oxford, 416 pp.
- Pelegrí J.L. 2008. A physiological approach to oceanic processes and glacial-interglacial changes in atmospheric CO<sub>2</sub>. *Sci. Mar.* 72: 185-202.
- Pelegrí J.L. 2019. Corrents i ecosistemes oceànics com a subsistemes d'un organisme planetari. *Treb. Soc. Catalana Biol.* 69: 41-48.
- Pelegrí J.L., De La Fuente P., Olivella R., García-Olivares A. 2013. Global constraints on net primary production and inorganic carbon supply during glacial and interglacial cycles. *Paleoceanogr.* 28: 713-725
- Pollack G.H. 2013. *The Fourth Phase of Water*. Ebner & Sons Publishers, 357 pp.
- Roca J.M., Pelegrí J.L. 2020. Analysis of the planetary thermal distribution with a simple three-zone maximum-flux model. *Int. J. Heat Mass Transfer* 160: 120185

DOI: <https://doi.org/10.20350/digitalCSIC/14058>

## 2.2. L'impacte de l'oceà Austral sobre el clima

Anna Olivé Abelló, Josep L. Pelegrí

L'oceà Austral es defineix com la regió oceànica que envolta i aïlla parcialment al continent antàrtic de les càlides aigües subtropicals. Els intensos vents de l'oest eleven les aigües profundes i denses cap al sud, la qual cosa té dos efectes principals. D'una banda, dona lloc al corrent Circumpolar Antàrtic (ACC), el corrent més intens, llarg i profund del planeta, que flueix cap a l'est i connecta les tres principals conques oceàniques contribuint a l'establiment de la cinta transportadora oceànica global (figura 1). D'altra banda, permet la interacció directa entre l'atmosfera i les aigües profundes, regulant l'intercanvi de massa, calor, sal, carboni, oxigen i altres propietats entre les capes inferiors i superiors de l'oceà global (figura 2).

Les aigües profundes es formen sobre la plataforma continental antàrtica. L'enfonsament de les aigües denses, juntament amb l'ascens induït pel vent (aflorament) de les aigües subsuperficials,

conduïx a la formació de patrons de recirculació vertical, que es coneixen com les cèl·lules verticals subantàrtiques inferior i superior (figura 2). La branca ascendent de totes dues cel·les eleva les aigües antigues i profundes entre el 30° S i el passatge de Drake —desproveïdes d'oxigen i enriquides en carboni inorgànic dissolt i macronutrients— cap a l'oceà superior. Al seu torn, les branques descendents aporten calor, oxigen, carboni antropogènic i altres propietats a l'interior de l'oceà.

En l'oceà Austral es desenvolupen les pol·línies, regions lliures de gel on es produeix la formació d'aigües profundes i un augment de la producció primària. D'encara major importància és la seva capacitat d'emmagatzematge i transport d'importants propietats físiques i biogeoquímiques cap a les diferents conques oceàniques, causant una profunda influència en el clima. La intensitat del ACC zonal i les seves

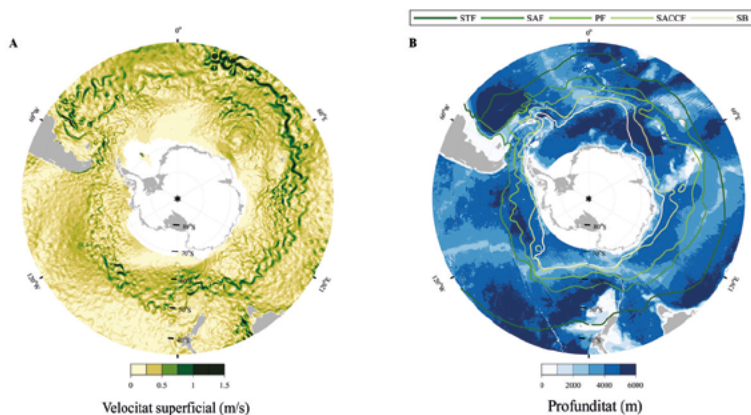


Figura 1. A, instantània diària (30 de maig de 2020) de l'estructura rica en remolins de la superfície del mar en l'oceà Austral, deduïda a partir d'un conjunt de dades de 0.25° de resolució que combina dades de satèl·lit amb productes de models numèrics. B, batimetria i posició dels fronts del ACC segons Orsi *et al.* (1995), de nord a sud: front Subtropical (STF), front Subantàrtic (SAF), front Polar (PF), front Sud del ACC (SACCF) i front del Límit Sud (SB).

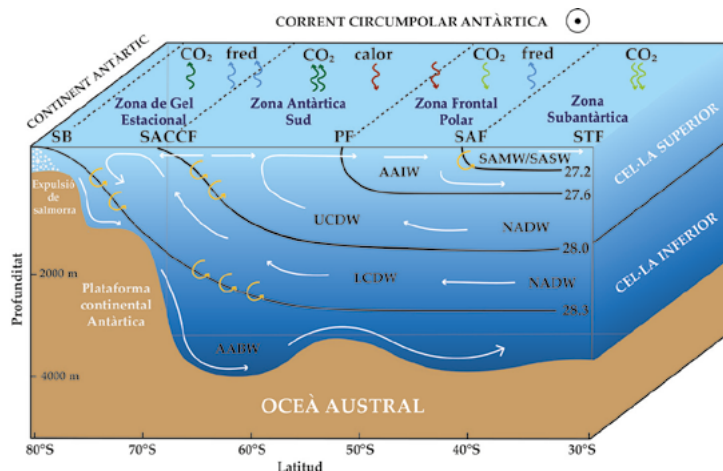


Figura 2. Secció meridional esquemàtica en l'oceà Austral que mostra les masses d'aigua segons la seva densitat neutra ( $\text{kg m}^{-3}$ ), les cèl·lules meridionals-verticals i les principals zones d'alliberament/captació de calor en relació amb els fronts circumpolars. Les masses d'aigua són l'aigua modal subantàrtica (SAMW), l'aigua superficial subantàrtica (SASW), l'aigua intermediana antàrtica (AAIW), l'aigua profunda circumpolar superior (UCDW), l'aigua profunda circumpolar inferior (LCDW), l'aigua antàrtica de fons (AABW) i l'aigua profunda de l'Atlàntic Nord (NADW).

cèl·lules verticals converteixen a l'oceà Austral en un important regulador del clima.

## Un regulador tèrmic regional i global

Durant la formació del gel marí, la sal és expulsada a l'aigua subjacent en un procés de formació de salmorra. Això provoca un augment de la densitat de les aigües de la plataforma continental que genera mescla i convecció vertical, originant la freda i densa aigua antàrtica de fons (AABW). Una vegada formada, l'AABW migra cap al nord seguint la topografia, convertida en un factor clau per a mantenir fredes les regions abissals (Carter *et al.* 2008).

Els intensos vents zonals modelen les aigües circumpolars profundes generant els fronts del ACC, que són regions amb gradients latitudinals de densitat màxims i corrents zonals extrems (figura 1). Aquests sistemes frontals són també els emplaçaments principals per a les branques d'ascens i descens de les cèl·lules verticals superior i inferior (figura 2). Les aigües que afloren entre el front Sud del ACC (SACCF) i el front Polar (PF) es transformen en aigües antàrtiques superficials, modals i intermèdies més lleugeres, que seran transportades cap al nord i s'enfonsaran (procés denominat subducció) entre el PF i el front Subtropical (STF) (Rintoul 2018).

A l'estiu, una de les conseqüències del procés de subducció és l'alliberament de calor atmosfèrica cap a l'interior de l'oceà, la qual cosa equilibra la calor perduda cap a l'atmosfera en latituds més baixes. S'ha estimat que l'oceà Austral és responsable d'absorbir aproximadament el 75% de la calor antropogènica des del període preindustrial, actuant per tant com un regulador molt eficient de l'escalfament global.

Per altra banda, la subducció d'aigües lleugeres compensa el transport cap al sud de les masses d'aigua profundes (relativament càlides i salades) originades en l'oceà Atlàntic Nord. Quan aquestes aigües septentrionals arriben a l'oceà Austral, l'intens aflorament les porta cap a les capes superficials. Una de les conseqüències és la fusió del gel de la plataforma antàrtica, que causa la formació de polínies costaneres i la disminució del gruix del gel de la plataforma.

## Interaccions entre el desgel, l'albedo superficial i l'increment del nivell del mar

El clima global i l'augment del nivell del mar estan regulats en gran mesura per les interaccions bidireccionals entre l'oceà i la criosfera en l'oceà Austral. L'escalfament de l'aigua del mar és una força impulsora de la fusió del gel de la plataforma, la qual cosa influeix en el balanç d'aigua

dolça, repercuteix en l'estabilitat de la capa de gel antàrtica i controla la contribució de l'oceà Austral a la cinta transportadora oceànica global.

Els canvis en l'extensió del gel marí també influeixen en l'albedo de la superfície terrestre, definit com la proporció de radiació solar que és reflectida per la terra, l'oceà o el gel; com més blanca és la superfície, major és l'albedo. La regió antàrtica presenta una de les majors variacions d'albedo del planeta, associada a la gran expansió i contracció estacional del gel marí. La reducció de l'extensió del gel marí provocarà tant una disminució de l'albedo, de manera que l'oceà Antàrtic absorbirà més radiació solar, com un augment de la temperatura de les aigües superficials, que disminuirà la capacitat de l'aigua per a absorbir diòxid de carboni (Rintoul *et al.* 2010).

L'evolució de la capa de gel de l'Antàrtida, la major reserva de gel terrestre del planeta, continua sent una gran incògnita, ja que depèn no sols de la incorporació de l'excés de calor atmosfèrica, d'origen antròpic, sinó també de la complexa combinació de diferents factors. Un augment de les precipitacions en forma de neu (major albedo) i una disminució de la intensitat de la cèl·lula vertical de l'oceà Austral (una menor arribada d'aigües càlides a la regió) afavoriran el manteniment del gel continental. Per contra, la reducció de l'albedo superficial i el desglaç de les aigües submergides litorals provocarien la reducció de les capes de gel sobre l'Antàrtida (DeConto *et al.* 2021).

## Un paper global rellevant en el cicle del carboni

L'oceà Austral destaca per ser la principal regió on s'emmagatzema l'excés de CO<sub>2</sub> antropogènic. L'intercanvi net de carboni ve determinat per l'equilibri de dos efectes oposats: la desgasificació natural en les latituds més altes, on les aigües profundes riques en carboni entren en contacte amb l'atmosfera, i la subducció de carboni antropogènic, especialment en la zona subantàrtica (figura 2). El resultat d'aquest equilibri és la captació per part de l'oceà d'aproximadament 1 Pg de carboni per any, la qual cosa representa més del 40% de la captació global de diòxid de carboni antropogènic per part de tot l'oceà (Rintoul *et al.* 2010).

La producció primària dels organismes fotosintètics consumeix l'escassa quantitat de nutrients inorgànics disponibles en la superfície del mar. L'intens aflorament de l'oceà Austral és la principal via de retorn del nitrat, el fosfat i el silicat des de les profunditats cap a la part superior de l'oceà, responsable de mantenir l'elevat nivell de producció primària. Quan els fronts de l'ACC interactuen amb la batimetria, els sediments rics en ferro també emergeixen, sent exportats a milers de quilòmetres del seu origen. A mesura que són incorporats en les aigües modals subantàrtiques, aquests nutrients sostenen al voltant del 75% de la producció primària oceànica al nord de 30° S, convertint-se, alhora, en un important embornal de CO<sub>2</sub> atmosfèric i una font d'oxigen per a la nostra atmosfera (Sarmiento *et al.* 2004).

Les idees aquí exposades reflecteixen que l'oceà Austral, fred i profund, actua com una barrera i com un connector. És una barrera per al continent gelat antàrtic, i més important encara, una regió que emmagatzema i distribueix grans quantitats de propietats climàtiques clau. Aquesta connectivitat amb les principals conques oceàniques situa a l'oceà Austral com un actor essencial en els fluxos i l'emmagatzematge d'energia a escala global, que comprèn des de la producció primària fins al clima, en el que es pot entendre com el sistema metabòlic planetari.

## Referències

- Carter L., McCave I.N., Williams M.J. 2008. Circulation and water masses of the Southern Ocean: a review. *Developments in earth and environmental sciences*, 8: 85-114.
- DeConto R.M., Pollard D., Alley R. B., *et al.* 2021. The Paris Climate Agreement and future sea-level rise from Antarctica. *Nature*, 593(7857): 83-89.
- Rintoul S.R. 2018. The global influence of localized dynamics in the Southern Ocean. *Nature*, 558(7709): 209-218.
- Rintoul S.R., Speer K., Sparrow M., *et al.* 2010. Southern Ocean Observing System (SOOS): Rationale and strategy for sustained observations of the Southern Ocean. *Proceedings of OceanObs '09: Sustained Ocean Observations and Information for Society*.
- Sarmiento J.L., Gruber, N., Brzezinski, M.A., *et al.* 2004. High-latitude controls of thermocline nutrients and low latitude biological productivity. *Nature* 427(6969): 56-60.

DOI: <https://doi.org/10.20350/digitalCSIC/14059>



## 2.3. La vida als oceans: de la màgia de les estrelles al coneixement científic del plàncton

Magda Vila, Vanessa Balagué

El principi de tot plegat va començar amb la gran explosió a partir de la qual es van formar les estrelles i, després, els planetes. La gran bola de foc, que milions d'anys més tard anomenaríem planeta Terra, es va anar refredant i solidificant fins que, quan ja estava suficientment freda, el vapor d'aigua es va condensar i va inundar les grans conques donant lloc a una vasta extensió d'aigua que anomenaríem oceà. L'atmosfera primitiva hagués estat irrespirable per la majoria d'éssers vius actuals, era reduïda, i estava formada principalment per metà ( $\text{CH}_4$ ), amoníac ( $\text{NH}_3$ ) i vapor d'aigua ( $\text{H}_2\text{O}$ ), i al llarg del temps es va enriquir amb altres gasos procedents de l'activitat volcànica.

### Vida! De les primeres formes a les actuals

El temps va anar passant i fa uns 3.800 milions d'anys van originar-se les primeres formes de vida. Era vida microscòpica i molt simple, anaeròbica (que vivia en absència d'oxigen a l'aire) i que va començar a poblar els sistemes aquàtics. Les cèl·lules procariotes, sense nucli diferenciat, van ser els únics habitants del planeta durant uns quants milions d'anys. Éssers vius que van anar evolucionant i es van anar diversificant en morfologia (coccoïdal, bacil·lar, espiral) i mida. També es van diversificar les seves rutes metabòliques i, fa uns 2.700 Ma, alguns d'aquests microorganismes, els cianobacteris, van començar a produir-se el seu propi aliment tot captant el  $\text{CO}_2$  del medi i, mitjançant l'energia del sol, transformant-lo en matèria orgànica (sucres),

aigua i un material de rebuig altament tòxic pels habitants primitius, l'oxigen ( $\text{O}_2$ ) (Cermeño 2020). Havien inventat la fotosíntesi. El temps seguia passant, i aquests ancestres, poc a poc, van anar transformant l'atmosfera primitiva en una d'oxigènica fins donar lloc a la massa gasosa actual on predomina el nitrogen ( $\text{N}_2$ , 78%), l'oxigen ( $\text{O}_2$ , 21%), l'argó (Ar, ~0.9%) i el diòxid de carboni ( $\text{CO}_2$ , ~0.04%). Hi ha poc coneixement científic sobre la formació de les cèl·lules eucariotes, amb un nucli diferenciat, però l'any 1967, la Lynn Margulis, una científica revolucionària, va proposar una teoria sobre l'origen dels eucariotes basada en la simbiosi com a mecanisme evolutiu (Margulis 2002, Cornejo i Pita 2022). La teoria simbiòtica postula que els cloroplasts (els orgànuls de les plantes que permeten fer la fotosíntesi) i els mitocondris (les fàbriques d'energia de les cèl·lules amb nucli) són el resultat de successives simbiosis de procariotes que van donar lloc a la cèl·lula eucariota. Encara no sabem del cert quan, on i com les cèl·lules eucariotes van evolucionar, però avui en dia no hi ha dubte que la simbiogènesi va tenir un paper clau en l'evolució de la vida a formes més complexes. Alguns d'aquests organismes marins complexos van colonitzar la terra emergida, i uns pocs van retornar al mar (per exemple, les fanerògames marines i les balenes). Però aquesta part de la història la passarem per alt per transportar-nos a l'oceà actual.

### Plàncton: el motor de la vida de l'oceà

Què hi ha en aquest immens ecosistema líquid? Sabem que hi ha molts peixos de mi-

des, formes i colors ben diversos, aus que en depenen, grans mamífers, rèptils, invertebrats, molts organismes de formes estranyes, animals que semblen plantes –com els coralls–, vegetals que de tan petits no es deixen veure –com el fitoplàncton–, i diminuts crustacis que se n'alimenten –el zooplàncton–. Però parem. Parem i passem a explicar aquest món poc conegut que forma el plàncton. La paraula plàncton significa errant, i és que el plàncton està format per tots els organismes aquàtics que, a la deriva o surant en el mar, tenen una capacitat de moviment limitada, de manera que no són capaços de vèncer la força de les onades i els corrents, al contrari, es deixen portar pel seu vaivé i per la circulació oceànica. El plàncton (figura 1) està format per organismes molt petits, microscòpics, però

també d'altres molt més grans com les meduses o les larves de peixos i de nombrosos invertebrats marins (larves d'ericons, d'estrelles i cogombres de mar, de coralls i gorgònies...) (El mar a fons: <https://elmarafons.icm.csic.es/la-xarxa-trofica>). Quan parlem del plàncton cal destacar el paper rellevant dels productors primaris formats per nanoalgues i microalgues (fitoplàncton) i per bacteris autotròfics (cianobacteris). I aquí és on radica la màgia d'aquests organismes productors de matèria orgànica sense els quals no hi hauria l'aliment necessari perquè la resta d'organismes marins (o terrestres), els consumidors –herbívoros i carnívors– poguessin viure. Per això, simplificant, diem que el fitoplàncton està a la base de les xarxes tròfiques marines (Estrada 2013). A més a més, sense els organismes oxigenics, no gaudirí-

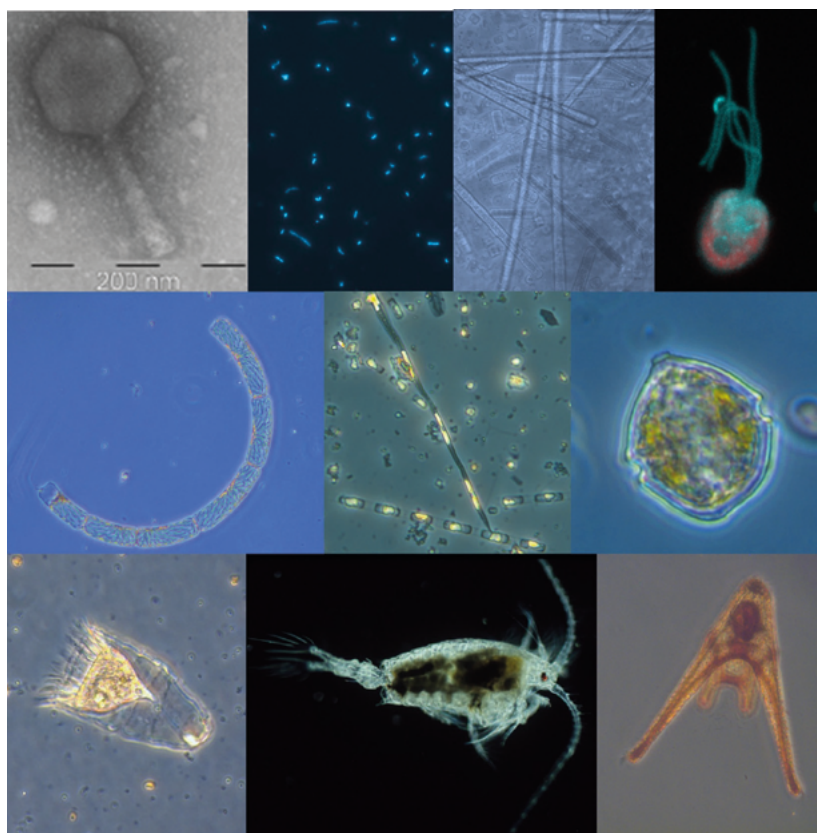


Figura 1. Fotocomposició de diversos organismes microscòpics del plàncton marí. D'esquerra a dreta i de dalt a baix. Dalt: virus *Myovirus* (Elena Lara i Dolors Vaqué), bacteris (Irene Forn i Ramon Massana), cianobacteris filamentosos (Magda Vila), flagel·lat autotròfic (Irene Forn). Mig: diatomea *Guinardia striata* (Laura Arin), cadenes de diatomees dels gèneres *Pseudonitzschia* i *Skeletonema* (Magda Vila), dinoflagel·lada *Scrippsiella* sp. (Magda Vila). Baix: ciliat tintinid (Albert Calbet), copèpode *Centropages typicus* (Albert Calbet), larva d'erico de mar (*Paracentrotus lividus*) (Marc Mascaró i Magda Vila). Les mides dels diferents microorganismes oscil·len entre els 200 nm i els 2 cm.



## 2.4. Microorganismes en un oceà canviant

Maria Montserrat Sala, Josep M. Gasol, Ramon Massana, Dolors Vaqué

La vida va sorgir a la terra fa gairebé quatre milions d'anys, quan microorganismes primitius van aparèixer en mig d'oceans sulfurosos i cels tòxics. Que l'aire que tenim avui en dia sigui respirable ho devem sobretot a microorganismes, que han anat evolucionant i modificant el nostre planeta durant milers de milions d'anys fins a aconseguir que ara hi hagi suficient oxigen per la nostra vida (figura 1) (Vila i Balagué 2022). La seva enorme variabilitat genètica i ràpid creixement fa que els microorganismes tinguin una gran capacitat de resposta i adaptació a les noves condicions ambientals. Darrera-

ment, però, els microorganismes marins s'estan enfrontant a tota una sèrie de canvis ambientals sense precedents, molts d'ells associats a impactes humans, i la seva capacitat de resposta serà clau per mantenir la vida als ecosistemes marins (Hutchins i Fu 2017).

Els microorganismes marins formen comunitats molt diverses i productives que inclouen el fitoplàncton, els protists, els fongs, els virus i els dos grups principals de procariotes, bacteris i arqueus. La seva rellevància a l'oceà és evident pel nombre total de cèl·lules ( $10^{29}$ ) o pel fet que el 70-90% de la biomassa al mar sigui microbia-

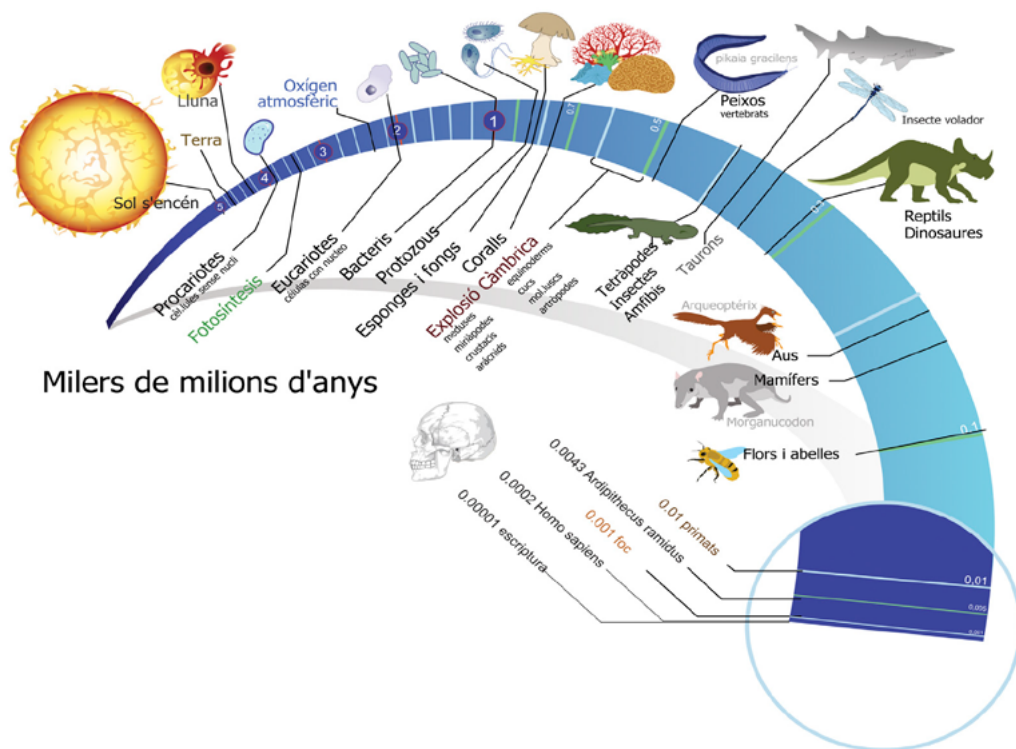


Figura 1. Diferents fases de l'evolució de la vida al planeta, on es mostra el seu origen microbià, concretament procariòtic. Font: Creative Commons CC0 1.0 Universal Public Domain Dedication.



na. Malgrat ser microscòpics i invisibles als ulls, juguen un paper clau dins els cicles biogeoquímics. Per exemple, les transformacions microbiàniques del nitrogen a l'oceà contribueixen de gran manera als fluxos de nitrogen i, molt especialment, els microorganismes tenen un lloc central al cicle de carboni ja que participen en la bomba biològica que segresta  $\text{CO}_2$  de l'atmosfera cap a l'oceà profund.

El canvi global que experimenta la Terra a les darreres dècades porta a un oceà més càlid i més àcid degut a l'increment de temperatura i a l'acumulació de  $\text{CO}_2$ ; el desgel dels pols, o l'increment de l'estratificació de la columna d'aigua, que resulta en l'expansió de zones empobrides en oxigen. Els debats sobre canvi global sovint ignoren el món microbià, segurament perquè aquests organismes no són tan visibles com els ossos polars o les balenes, o no tenen la importància comercial d'alguns peixos. L'impacte del canvi global sobre els microorganismes marins pot tenir, però, importants conseqüències a l'oceà, incloent-hi canvis en la productivitat, en les xarxes tròfiques i en l'exportació de carboni cap a sediments profunds (Cavicchioli *et al.* 2019).

### Els efectes del canvi global sobre els microorganismes són claus pel funcionament de l'oceà

El canvi global altera les interaccions entre les espècies i les força a adaptar-se, migrar, o extingir-se. Els microorganismes poden dispersar-se més fàcilment que els organismes més grans (Ruiz-González *et al.* 2022), i la seva ràpida reproducció permet un alt potencial d'adaptació. De tota manera, no es coneixen gaire els mecanismes de resposta fisiològica al canvi global i les seves implicacions sobre els cicles biogeoquímics. Per exemple, no hi ha una informació clara sobre quina és la tendència del fitoplàncton en les darreres dècades, sovint per falta de dades, i és per això que ens cal reforçar les sèries temporals (Massana *et al.* 2022). A partir d'experiments, però, sembla que l'impacte del canvi global serà negatiu sobre els cocolitòfors, algues unicel·lulars que es caracteritzen per tenir plaques de carbonat càlcic de funcionalitat

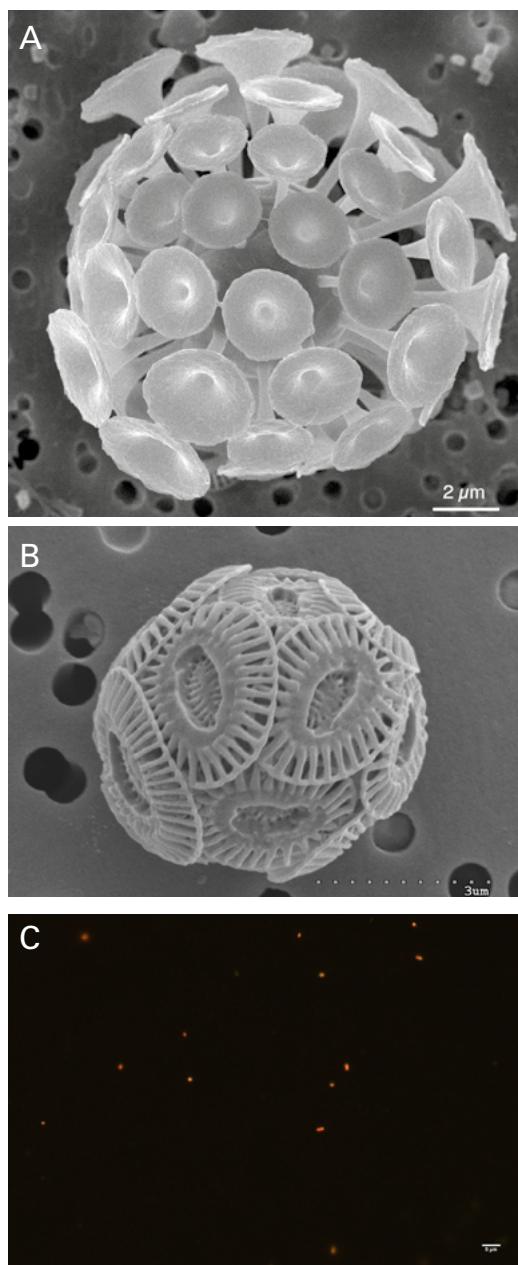


Figura 2. Imatges de microscòpia electrònica de dos cocolitòfors, *Discosphaera tubifera* (A), i *Emiliana huxleyi* (B), que es veuran afectats de manera negativa pel canvi global. Imatge de microscòpia òptica de *Synechococcus* (C), cianobacteri que serà afavorit pel canvi global. Fotos: Lluïsa Cros i Dolors Vaqué.

incerta, però que es dissolen a pH baixos (figura 2A, B). D'altra banda, sembla que es produirà un augment o una disminució de la producció primària segons l'ecosistema, però s'afavorirà

la dominància de productors primaris de mida petita, com els cianobacteris (figura 2C) respecte a microorganismes fitoplanctònics més grans. Aquesta disminució de la mida dels productors primaris de l'oceà pot tenir greus conseqüències pel planeta ja que es veurà reduïda la seva sedimentació i per tant el segrest de carboni atmosfèric cap als sediments profunds.

Els efectes del canvi global sobre els microorganismes s'han estudiat generalment en experiments de curta durada, de setmanes o mesos (p. ex. Sala *et al.* 2016), però donada la capacitat dels microorganismes per a adaptar-se a condicions ambientals canviants, són necessaris estudis de llarga durada on es combinin diferents factors ambientals, per a obtenir resultats més robusts i que ens permetin predir les conseqüències ecològiques.

## L'impacte humà i els microorganismes a l'oceà

Un altre component del canvi global, especialment en les darreres dècades, és l'impacte negatiu de l'activitat humana a la costa, causant-hi eutrofització, blooms d'algues tòxiques o hipòxia (Berdalet *et al.* 2022). També han augmentat els abocaments de substàncies tòxiques i l'acumulació de deixalles marines, al voltant d'un 80% de les quals són plàstics (Morales-Caselles *et al.* 2021). Els diferents tipus de plàstics tenen una presència gairebé ubiqüa al mar (fons marins, gel, sediments, etc.) i sembla que la seva concentració es doblarà en els propers deu anys. Aquests plàstics es fragmenten en partícules de microplàstic que són colonitzades per microorganismes, formant el que s'anomena la 'plastisfera', que els fa més gustosos pel consum d'organismes més grans i permet que passin a nivells superiors de la xarxa tròfica (Amaral-Zettler *et al.* 2020), causant problemes en diferents grups d'animals. A més, són partícules poc biodegradables, el que fa que actuïn com a vehicle de transport de microorganismes entre ecosistemes, la qual cosa pot afavorir la propagació de microorganismes patògens i la introducció d'espècies invasores. Un dels reptes científics de futur per a contribuir a la reducció de plàstics al planeta passa precisament per l'aïllament de microorga-

nismes amb enzims capaços d'accelerar la biodegradació de microplàstics.

## Reptes de futur pels microbiòlegs marins

El repte principal dels microbiòlegs marins a les properes dècades serà predir la resposta dels microorganismes al conjunt d'alteracions ambientals provocades pel canvi global, tant pel que fa a espècies concretes com a les seves interaccions, i com això repercutirà sobre la biogeografia i l'estructura de les comunitats i, sobretot, la seva potencial alteració dels cicles biogeoquímics de l'oceà.

## Referències

- Amaral-Zettler L.A., Zettler E.R., Mincer T.J. 2020. Ecology of the plastisphere. *Nat. Rev. Microbiol.* 18: 139-151.
- Berdalet E., Arin L., Vila M., Viure L. 2022. Proliferacions d'organismes fotosintètics: cara i creu dels pilars dels ecosistemes marins. A: Pelegrí J.L., Gili J.M., Martínez de Albéniz M.V. (eds.), *L'oceà que volem: ciència oceànica inclusiva i transformadora*. Institut de Ciències del Mar, CSIC. Barcelona. pp. 56-58.
- Cavicchioli R., Ripple W.J., Timmis K.N., *et al.* 2019. Scientists' warning to humanity: microorganisms and climate change. *Nat. Rev. Microbiol.* 17: 569-586.
- Hutchins D.A., Fu F. 2017. Microorganisms and ocean global change. *Nat. Microbiol.* 2: 17058.
- Massana R., Vaqué D., Sala M., Gasol J.M. 2022. Observatoris microbians: sentinelles del canvi global. A: Pelegrí J.L., Gili J.M., Martínez de Albéniz M.V. (eds.), *L'oceà que volem: ciència oceànica inclusiva i transformadora*. Institut de Ciències del Mar, CSIC. Barcelona. pp. 136-138.
- Morales-Caselles C., Viejo J., Martí E., *et al.* 2021. An inshore-offshore sorting system revealed from global classification of ocean litter. *Nat. Sustain.* 4.
- Ruiz-González C., Sebastián M., Gasol J.M. 2022. Un oceà microbià sense barreres: Connectant els microorganismes dins i fora del medi marí. A: Pelegrí J.L., Gili J.M., Martínez de Albéniz M.V. (eds.), *L'oceà que volem: ciència oceànica inclusiva i transformadora*. Institut de Ciències del Mar, CSIC. Barcelona. pp. 53-55.
- Sala M.M., Aparicio F., Balagué V., *et al.* 2016. Contrasting effects of ocean acidification on the microbial food web under different trophic conditions. *ICES J. Mar. Sci.* 73: 670-679.
- Vila M., Balagué V. 2022. La vida als oceans: de la màgia de les estrelles al coneixement científic del plàncton. A: Pelegrí J.L., Gili J.M., Martínez de Albéniz M.V. (eds.), *L'oceà que volem: ciència oceànica inclusiva i transformadora*. Institut de Ciències del Mar, CSIC. Barcelona. pp. 47-49.

DOI: <https://doi.org/10.20350/digitalCSIC/14061>

## 2.5. Un oceà microbià sense barreres: connectant els microorganismes dins i fora del medi marí

Clara Ruiz-González, Marta Sebastián, Josep M. Gasol

.Mirem on mirem hi ha un munt de vida que no podeu veure. A les nostres mans, a la taula, a l'ordinador, a l'aire, al terra, a l'herba, a l'aigua. Els microbis prosperen en tota mena d'hàbitats (inclòs el nostre propi cos) i, malgrat les seves mides insignificants, són responsables de processos biogeoquímics d'importància global. L'oceà no n'és una excepció, ja que la major part de la vida marina és realment microbiana i l'aigua de mar és essencialment una sopa de microorganismes a la deriva. Entre aquests, els éssers vius més petits són els bacteris i els arqueus. Amb aproximadament  $10^{29}$  cèl·lules a l'oceà (més que no pas estrelles a l'univers!) i  $10^{10}$  espècies diferents, tant la química com la vida a l'oceà estan controlades en gran mesura per l'activitat microbiana i les seves interaccions amb altres organismes planctònics: es divideixen i creixen, es mengen entre si, respiren i moren i durant aquests processos produeixen, consumeixen i transformen una enorme diversitat d'elements químics. Per exemple, una gran part de l'oxigen que respirem es va produir per l'activitat de petits bacteris fotosintètics que són ara molt abundants a l'oceà il·luminat pel sol (Vila i Balagué 2022). De fet, sense ells, ni tan sols estaríem en aquest planeta.

Com a ecòlegs microbians ens interessa entendre com interactuen aquests microorganismes marins amb el medi ambient. Per això, investiguem els canvis en la composició de les comunitats i les seves funcions al llarg dels gradients ambientals, així com els principals factors que controlen l'abundància de bacterioplàncton, com ara els depredadors bacterians o els virus. Tot i això, estem lluny d'entendre les

conseqüències que els canvis en les comunitats microbianes poden tenir sobre la salut dels ecosistemes, inclòs l'oceà, sobretot perquè la majoria de les espècies encara són desconegudes i tot just estem començant a aprendre què fan al seu entorn natural.

### La sorprenent ubiqüitat dels microorganismes

Durant les darreres dècades hem esdevingut cada cop millors a l'hora de caracteritzar la diversitat microbiana amagada a les mostres naturals, mitjançant la seqüenciació del material genètic (ja que malauradament no és possible distingir aquests organismes morfològicament), i centenars d'estudis han intentat contestar si els bacteris mostren patrons espacials i temporals semblants als observats en plantes i animals. A l'oceà, aquesta recerca ens ha il·luminat sobre la complexitat de la vida microbiana marina: ara sabem que algunes espècies bacterianes poden presentar-se com a cèl·lules individuals (suspeses lliurement a l'aigua), mentre que d'altres prefereixen viure unides a material orgànic mort o a altres organismes; sabem que les comunitats bacterianes canvien molt amb la profunditat perquè les espècies dominants a la superfície són molt diferents de les de l'oceà profund i observem que les comunitats microbianes oscil·len estacionalment en una successió de espècies que es repeteix any rere any. A més, aquests estudis basats en la seqüenciació de l'ADN han permès descobrir l'existència d'una enorme diversitat d'espècies de bacteris marins que son presents

en una abundància molt baixa, i que no s'havien detectat abans. Aquestes espècies «rars» tenen un paper crucial en els processos de bioremediació i en la restauració dels ecosistemes després de pertorbacions, com ara vessaments de petroli o tempestes, alhora que tenen un gran potencial biotecnològic (Gasol *et al.* 2022).

La detecció de les espècies rares va revolucionar el camp de l'ecologia microbiana, ampliant radicalment la nostra percepció de les àrees de distribució de les espècies bacterianes; moltes espècies bacterianes semblen estar a tot arreu i semblen capaces de persistir inactives fora dels seus hàbitats preferits durant temps molt llargs (fins i tot milers d'anys!), en un estat d'anomenada «latència», fins que troben condicions favorables per al creixement (per exemple, Sebastián *et al.* 2019). El fet de trobar els mateixos

bacteris en diferents àmbits, juntament amb la seva impressionant capacitat de persistència, implica que la dispersió microbiana probablement és molt més important del que ens pensàvem fins ara, i que les comunitats microbianes poden estar molt més connectades entre si del que aparenten.

## Dispersió sense límits dins i fora de l'oceà

Els científics estem començant a descobrir i caracteritzar vies de dispersió de microorganismes desconegudes fins ara (figura 1A). Per exemple, recentment hem trobat que les comunitats microbianes de l'oceà profund estan fortament connectades amb les de la superfície perquè les partícules orgàniques que s'enfonsen

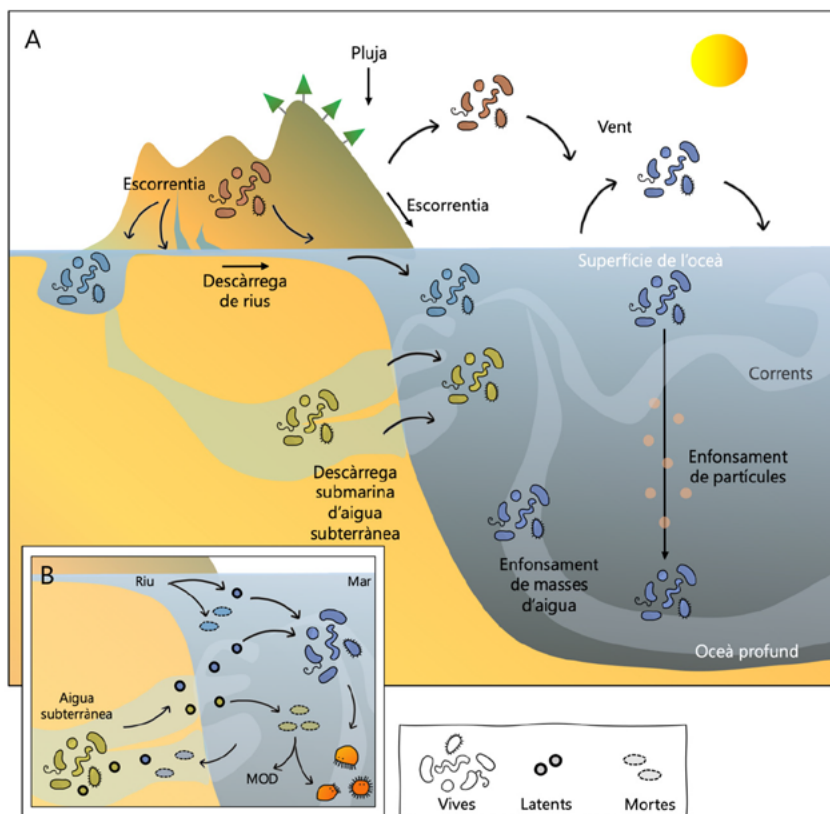


Figura 1. A, rutes principals de dispersió microbiana dins l'oceà i entre l'oceà i altres ecosistemes, destacant que les interaccions entre comunitats microbianes transcendeixen els límits dels ecosistemes (modificat a partir de Ruiz-González 2020). B, la inserció mostra que aquesta dispersió pot provocar l'activació d'espècies en estat de latència i/o la inactivació (o la mort) de espècies vives a causa del canvi de condicions ambientals. Això pot tenir conseqüències per als ecosistemes i les xarxes tròfiques, per exemple, per l'alliberament de carboni i nutrients de les cèl·lules moribundes o la ingestió de cèl·lules al·lòctones per depredadors bacterians marins (organismes de color taronja). MOD: matèria orgànica dissolta.



transporten microorganismes adherits (Mestre *et al.* 2018), cosa que ens va portar a la sorprenent troballa que les condicions superficials i la biota superficial són també factors determinants del microbioma de l'oceà profund (Ruiz-González *et al.* 2020). Els científics també han descobert que les masses d'aigua i els corrents marins que s'enfonsen poden transportar i moure els microbis per tot l'oceà, i que el vent pot transportar microorganismes marins al llarg de milers de km unint regions oceàniques remotes (Mayol *et al.* 2017), i potser explicant la ubiqüitat de certes espècies de bacteris marins.

Aquest oceà microbià, però, no està aïllat dels ecosistemes terrestres o d'aigua dolça circumdants. Es transporten enormes quantitats d'aigua i material a l'oceà des dels rius, l'escorrentia i altres vies hidrològiques, com la descàrrega d'aigua subterrània; al seu torn, l'activitat microbiana en sediments costaners, estuaris o mar controla en gran mesura el flux i el destí dels elements químics que transporta l'aigua. Però aquesta aigua continental també transporta microorganismes a l'oceà. La rellevància d'aquests microbis dispersats a l'oceà encara no es coneix, però alguns estudis recents en sistemes d'aigua dolça suggereixen que pot ser significativa: per exemple, hem vist que les comunitats bacterianes dels llacs estan molt influïdes pel transport de microorganismes des de l'ecosistema terrestre circumdant, ja que alguns organismes del sòl poden créixer a l'aigua i dominar el medi aquàtic (Ruiz-González 2020). Per tant, l'ecologia microbiana marina ha de tenir en compte tots aquests vincles amb ecosistemes d'aigua dolça i terrestre, però poques vegades es fa i queden sense contestar algunes qüestions fonamentals: aquests microorganismes poden prosperar a l'oceà i afectar el cicle d'elements químics? Els científics han demostrat que és possible recuperar experimentalment bacteris marins vius dels sediments dels llacs o de l'aire, cosa que suggereix que els ecosistemes d'aigua dolça o terrestres contenen bacteris marins en latència que esperen despertar-se en condicions marines. Poden servir aquestes espècies transportades com a aliment addicional per als microorganismes marins que s'alimenten de bacteris i arqueus? Això

implicaria una font fins ara ignorada de carboni i energia extern a les xarxes tròfiques marines (figura 1B). Estem detectant espècies bacterianes «estranyes» que no es desenvolupen a l'oceà i, per tant, estan confonent la nostra interpretació dels patrons de distribució dels microbis? I altres preguntes semblants...

Els paisatges microbians són molt més complexos del que pensem i no estan aïllats de cap manera. Per entendre el funcionament de l'oceà i les amenaces que pateix cal superar els seus límits i considerar els complexos vincles que hi ha entre els motors microscòpics que fan funcionar el nostre planeta. Només així podrem comprendre i predir com es comportarà l'oceà del futur quan s'enfronti a qualsevol dels possibles escenaris predits per als propers anys.

## Referències

- Gasol J.M., Massana R., Sala M., *et al.* 2022. Microorganismes marins i biotecnologia blava. A: Pelegrí J.L., Gili J.M., Martínez de Albéniz M.V. (eds.), *L'oceà que volem: ciència oceànica inclusiva i transformadora*. Institut de Ciències del Mar, CSIC. Barcelona. pp. 20-23.
- Mayol E., Arrieta J.M., Jiménez M.A., *et al.* 2017. Long-range transport of airborne microbes over the global tropical and subtropical ocean. *Nat. Comm.* 8: 201.
- Mestre M., Ruiz-González C., Logares R., *et al.* 2018. Sinking particles promote vertical connectivity in the ocean microbiome. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 115: E6799-E6807.
- Ruiz-González C. 2020. Metacomunitats microbianes: la dispersió i la connectivitat com a factors determinants de la diversitat i la funció dels microorganismes aquàtics. *Premis de la Secció de Ciències Biològiques*, 1. Institut d'Estudis Catalans, 42 pp. [http://www.iec.cat/activitats/documents/Metacomunitats\\_CAT.pdf](http://www.iec.cat/activitats/documents/Metacomunitats_CAT.pdf)
- Ruiz-González C., Mestre M., Estrada M., *et al.* 2020. Major imprint of surface plankton on deep ocean prokaryotic structure and activity. *Mol. Ecol.* 29: 1820-1838.
- Sebastián M., Estrany M., Ruiz-González C., *et al.* 2019. High growth potential of long-term starved deep ocean opportunistic heterotrophic bacteria. *Front. Microbiol.* 10: 760.
- Vila M., Balagué V. 2022. La vida als oceans: de la màgia de les estrelles al coneixement científic del plàncton. A: Pelegrí J.L., Gili J.M., Martínez de Albéniz M.V. (eds.), *L'oceà que volem: ciència oceànica inclusiva i transformadora*. Institut de Ciències del Mar, CSIC. Barcelona. pp. 47-49.

DOI: <https://doi.org/10.20350/digitalCSIC/14062>

## 2.6. Proliferacions d'organismes fotosintètics: cara i creu dels pilars dels ecosistemes marins

Elisa Berdalet, Laura Arin, Magda Vila, Laia Viure

Els organismes fotosintètics constitueixen la base de les xarxes tròfiques i són els pilars dels ecosistemes terrestres i aquàtics. La fotosíntesi es realitza mitjançant pigments diversos (clorofil·la, carotenoides, biliproteïnes; p.e. Berdalet 2020) que capten l'energia de la llum per incorporar el  $\text{CO}_2$ , sintetitzar matèria orgànica i produir l' $\text{O}_2$  que respirem.

### La dinàmica de les proliferacions d'organismes fotosintètics

Els organismes fotosintètics són molt diversos. En el medi aquàtic, en trobem de pluricel·lulars i macroscòpics (macròfits –posidònia– i macroalgues – sargassos, enciams de mar, l'alga nori del sushi–), i d'unicel·lulars i microscòpics (microalgues i certs bacteris). N'hi ha que suren i són arrossegats pels corrents (sargassos, microfitoplàncton); d'altres, viuen adherits a superfícies del fons (la gran majoria de macroalgues i macròfits, i el microfitobentos). Els organismes fotosintètics també participen en la «bomba biològica» del carboni, que transporta el  $\text{CO}_2$  atmosfèric al fons dels oceans, contribuint així a la regulació del clima (Vila i Balagué 2022, Segura-Noguera *et al.* 2022).

El ritme de creixement dels organismes fotosintètics ve marcat en gran part per la latitud i les estacions. A més, en el medi aquàtic, el moviment de l'aigua i dels corrents en determinen la disponibilitat de llum i nutrients. Per exemple, centrant-nos en mars de latituds temperades, com el Mediterrani (Estrada 1999; Estrada *et al.* 2022), la proliferació del fitoplàncton i

principalment de les diatomees (figura 1) es produeix al final de l'hivern i inici de la primavera. Les diatomees creixen en les capes il·luminades, turbulentes (Alcaraz i Estrada 2022) i riques en nutrients que ha aportat la barreja de l'aigua durant la tardor-hivern. Progressivament, l'aigua superficial s'escalfa, i en ser menys densa, queda separada de la capa fonda per un gradient de densitat (picnoclina). En la capa superficial, el fitoplàncton hi va creixent tot consumint els nu-

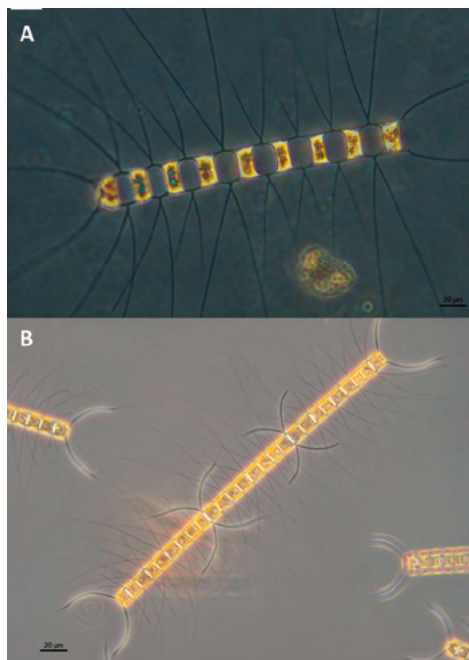


Figura 1. Dues espècies de diatomees del gènere *Chaetoceros* generalment abundants en les proliferacions de finals d'hivern i inici de primavera a la Mediterrània. A, *C. decipiens*; B, *C. affinis*. Fotos: L. Arin.

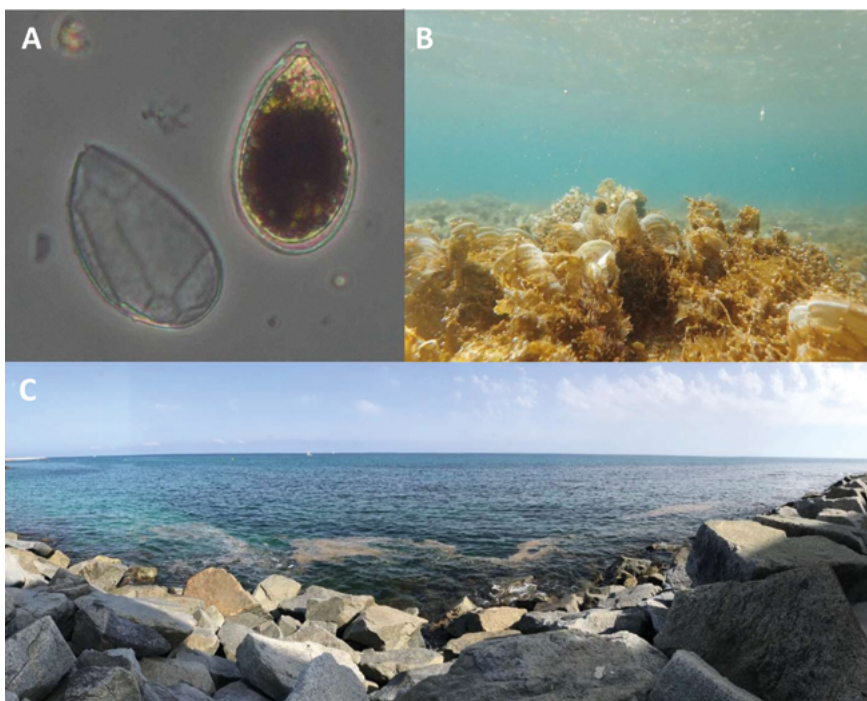


Figura 2. Proliferació de la dinoflagel·lada bentònica *Ostreopsis* cf. *ovata* (A) a la costa catalana a l'estiu. Les cèl·lules s'adhereixen a macroalgues del fons marí (B) i també es desprenen en agregats que suren a la superfície (C) i que presenten el to vermellós de la peridina de la microalga. Fotos: E. Berdalet, L. Viure i M. Vila.

trients. Quan ja són més escassos, hi proliferen cèl·lules com les dinoflagel·lades amb capacitat de migrar verticalment, tot realitzant la fotosíntesi en superfície i obtenint els nutrients de capes més profundes prop de la picnoclina. A la picnoclina el fitoplàncton pot acumular-s'hi, i si hi arriben suficient llum des de la superfície i prou nutrients de les capes profundes (per difusió o barreja de petita escala), es produirà «el màxim profund de clorofil·la» (MPC). La fondària del MPC varia segons la zona de l'oceà i la dinàmica d'estratificació i de barreja vertical, i a l'estiu és altament productiva. Paral·lelament, la matèria orgànica produïda per les xarxes tròfiques anirà sedimentant cap capes fondes i els bacteris l'aniran remineralitzant, és a dir, consumint i transformant-la en molècules orgàniques i sobretot en sals inorgàniques que seran utilitzades de nou pels organismes fotosintètics. Les tempestes de tardor retornaran els nutrients a la superfície i es repetirà el cicle estacional. També a les costes occidentals dels continents es produeixen afloraments d'aigua profunda rica en nutrients que afavoreixen la producció fito-

plànctonica i amb ella la riquesa de l'ecosistema marí que sustenta grans caladors de pesca.

### Proliferacions algals nocives (PANs)

Fins ara s'han descrit els aspectes positius de la proliferació dels organismes fotosintètics. Però en determinades circumstàncies es produeix el creixement i reproducció ràpids de certes espècies de micro- o macroalgues que comporten efectes negatius a les persones i el medi ambient: s'anomenen «proliferacions algals nocives» (PANs). D'entre els diversos milers d'espècies de microalgues descrites, unes 300 estan implicades en fenòmens de PANs i unes 100 produeixen toxines. Les PANs estan sovint afavorides per la combinació d'una disponibilitat elevada de nutrients –naturals o antropogènics– i un baix hidrodinamisme (una aigua relativament encalmada o amb poca renovació). Per motius que no es coneixen exactament unes poques espècies assoleixen concentracions en l'aigua per sobre d'un nivell considerat «normal» que depèn de l'organisme. Les PANs poden comportar canvis en el color de l'aigua

(Vila i Torán 2002), que pren el color del pigment de l'organisme que hi prolifera (verd, blau, groguenc, marró o vermell). En aigües salabroses o dolces, hi prolifereixen freqüentment cianobacteris, de color blau-verd. El terme «marees roges», s'ha utilitzat tradicionalment per a referir-se a les proliferacions del grup de microalgues dinoflagel·lades. Aquestes proliferacions són relativament freqüents a l'estiu, principalment en hàbitats confinats, amb força nutrients, elevats temps de residència de l'aigua i, sovint, un sediment ric en cists (formes de resistència que es formen per a passar l'hivern o protegir-se de períodes sense aliment) a punt per germinar i proliferar quan les condicions els siguin adequades.

Algunes d'aquestes espècies produeixen toxines que es transmeten a través de les xarxes tròfiques i contaminen aliments (peix, marisc) que poden causar intoxicacions alimentàries (amnèsica, diarreica, paralitzant, ciguatera) en els humans que els ingereixen. D'altres toxines contaminen l'aigua de beure (microcistines), es transfereixen en aerosols (ovatoxines, brevetoxines) i produeixen afectacions respiratòries, i d'altres afecten per contacte directe de la pell amb l'aigua (en aquest cas l'agent tòxic no està ben determinat). Sovint, l'excés de biomassa de les algues no pot ser consumit eficientment pels components de les xarxes tròfiques (microzooplàncton, larves de peixos, petits crustacis, etc.) i la seva degradació per part dels bacteris comporta la disminució dels nivells d'oxigen a l'aigua (necessari per als altres organismes marins), i un deteriorament de la qualitat de l'ecosistema en general.

Les PANs tenen costos econòmics, inclouent-hi els de l'atenció mèdica de les persones afectades i la inversió en el seguiment i control de les microalgues tòxiques i de les seves toxines per tal de prevenir els seus impactes en la salut. Algunes microalgues (*Chattonella antiqua*, *Fibrocapsa japonica*, *Chrysochromulina* spp., *Cochlodinium* spp., *Karlodinium* spp.) maten específicament peixos en hàbitats naturals o en zones d'aqüicultura. En zones de producció de marisc, la presència d'algues potencialment tòxiques (per exemple *Dinophysis acuta*, *Alexandrium minutum*, *Gymnodinium catenatum*) comporta la prohibició d'extracció i venda del marisc amb les conseqüents pèrdues econòmiques. D'altra

banda, quan les algues moren, la seva descomposició disminueix la qualitat de l'aigua de la platja i comporta problemes de salubritat que tenen impactes directes en el turisme. En aquest sentit, l'acumulació massiva de la macroalga *Sargassum* a les platges del Carib i costa oest d'Àfrica, constitueix des de fa uns deu anys un cas emergent de PANs.

La problemàtica de les PANs, ha guanyat protagonisme en els darrers 40 anys a tot el món. La pressió antròpica en les costes i els oceans (destrucció d'hàbitats i pèrdua de biodiversitat, eutrofització, urbanització), i l'escalfament global, estarien afavorint un augment de les PANs en certes zones (Vila *et al.* 2021). La protecció i utilització sostenible del medi ambient és fonamental per a reduir-ne la tendència i garantir un oceà saludable i resilient.

## Referències

- Alcaraz M., Estrada M. 2022. Turbulència i dinàmica del plàncton en un oceà més càlid. A: Pelegrí J.L., Gili J.M., Martínez de Albéniz M.V. (eds.), L'oceà que volem: ciència oceànica inclusiva i transformadora. Institut de Ciències del Mar, CSIC. Barcelona. pp. 139-141.
- Berdalet E. 2020. Colors d'aigua, colors d'algues. In: Sala M.M., Peters F. (eds), Treballs de la Societat Catalana de Biologia 70: 18-26.
- Estrada M. 1999. Hidrodinàmica i fitoplàncton en el mar Català. Memorias de la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona, 96, 158: 187-247.
- Estrada M., Alcaraz M., Arin L. 2022. Controls de la dinàmica del fitoplàncton en el mar Català. A: Pelegrí J.L., Gili J.M., Martínez de Albéniz M.V. (eds.), L'oceà que volem: ciència oceànica inclusiva i transformadora. Institut de Ciències del Mar, CSIC. Barcelona. pp. 99-101.
- Segura-Noguera M., Berdalet E., Fortuño J.M. 2022. El fitoplàncton i els elements de la vida. A: Pelegrí J.L., Gili J.M., Martínez de Albéniz M.V. (eds.), L'oceà que volem: ciència oceànica inclusiva i transformadora. Institut de Ciències del Mar, CSIC. Barcelona. pp. 145-147.
- Vila M., Balagué V. 2022. La vida als oceans: de la màgia de les estrelles al coneixement científic del plàncton. A: Pelegrí J.L., Gili J.M., Martínez de Albéniz M.V. (eds.), L'oceà que volem: ciència oceànica inclusiva i transformadora. Institut de Ciències del Mar, CSIC. Barcelona. pp. 47-49.
- Vila M., Torán R. 2002. Cuando el mar cambia su color. Investigación y Ciencia 305: 40-41.
- Vila M., Camp J., Berdalet E. 2021. Toxic microalgae and global change: Why have proliferations increased along the Mediterranean coast? *Mètode Science Studies Journal* 11: 40-56. University of Valencia.

DOI: <https://doi.org/10.20350/digitalCSIC/14063>



## 2.7. Simbiosi: una font d'innovació per a sobreviure a un oceà desafiador

Francisco M. Cornejo-Castillo, Lucía Pita

L'oceà, a simple vista, podria semblar una gran sopa homogènia feta d'aigua salada on la tranquil·litat, l'harmonia i la pau han regnat des dels inicis de la vida, però res més lluny de la realitat. L'oceà és un ambient ple de desafiaments constants on els seus habitants, els visibles i els microscòpics, s'enfronten al repte de sobreviure i prosperar. En aquest repte diari, la cooperació entre diferents espècies per mitjà de relacions simbiòtiques, per exemple, dona lloc a noves estratègies per a triomfar en sistemes tan dinàmics com els que representen els ambients marins. En aquest assaig explicarem la importància de mantenir una relació respectuosa amb els oceans i il·lustrarem amb alguns exemples el que aquestes relacions simbiòtiques marines ens poden ensenyar sobre el passat, present i futur dels oceans.

### Simbiosi marines: assoliments al llarg de la història de la vida a la Terra

Una de les majors revolucions en biologia va ser postulada per Lynn Margulis (1938-2011), la que coneixem com a Teoria de l'Endosimbiosi. Aquesta teoria proposa que els orgànuls (p. ex. cloroplasts i mitocondris) que existeixen dins de les cèl·lules eucariòtiques (cèl·lules amb un nucli veritable com per exemple les cèl·lules animals o vegetals) van sorgir de la integració d'una cèl·lula bacteriana dins d'una altra. Això va permetre generar nous compartiments dins de les cèl·lules que alberguen funcions tan fonamentals com, sense anar més lluny, la respiració o la fotosíntesi. Encara que els processos que van permetre aquesta integració cel·lular són tremendament difícils d'estudiar ja que van ocórrer

fa milions d'anys, el resultat és obvi: la generació de formes de vida més complexes, tot incloent organismes pluricel·lulars com per exemple les plantes i animals que coneixem avui dia. Tots aquests organismes, éssers humans inclosos, viuen i evolucionen establint aliances amb microorganismes, en alguns casos fins i tot delegant en ells funcions clau per a la supervivència, com la nutrició o la defensa.

L'ampli espectre d'interaccions simbiòtiques que podem trobar en l'oceà, des d'aquelles obligatòries fins a les facultatives, ens mostra una varietat incommensurable d'innovacions biològiques (figura 1). Entre les diferents simbiosis que actualment existeixen entre espècies unicel·lulars, és a dir, espècies les quals el seu cos està format per una sola cèl·lula, existeix un cas molt interessant constituït per una alga microscòpica del grup dels coccolitofòrids (*Braarudosphaera bigelowii*) i un cianobacteri conegut com UCYN-A, un cianobacteri que té la capacitat de fixar nitrogen (és a dir, que pot transformar nitrogen atmosfèric ( $N_2$ ) en formes de nitrogen més accessibles per al plàncton) (figura 1A) (Foster i Zehr 2019). El descobriment de UCYN-A va revelar que aquest cianobacteri alberga característiques típiques dels orgànuls, així com per exemple una grandària de genoma molt reduït comparat a la grandària de les espècies parents més pròximes però, sobretot, la pèrdua de funcions típiques dels cianobacteris com la capacitat de fer fotosíntesi. El gran paral·lelisme existent entre la simbiosi del cianobacteri UCYN-A i la seva alga hospedadora amb l'endosimbiosi que va originar els orgànuls ens ofereix una 'finestra al passat' per a mirar a través d'ella i comprendre millor les etapes primerenques dels processos evolutius

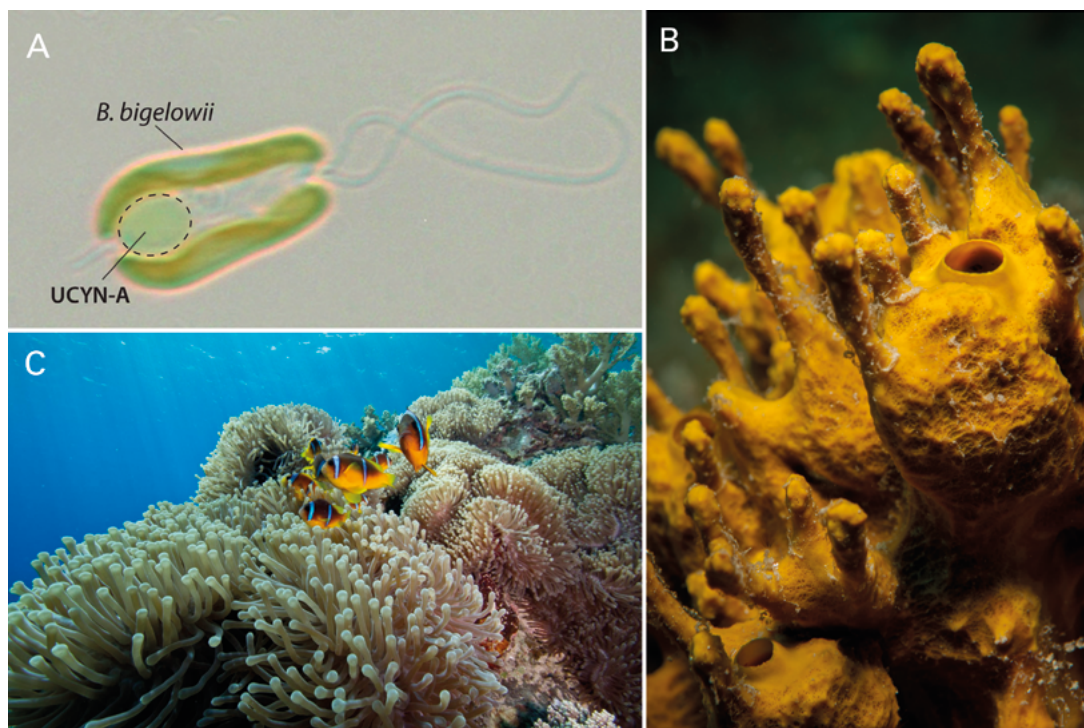


Figura 1. Exemples de simbiosis marines. A, simbiosi entre el cianobacteri fixador de nitrogen UCYN-A i *B. bigelowii* (magnificació de la imatge: 1000×) (foto: Esther Wing Kwan Mak). B, esponges, una factoria microbiana única (foto: Jordi Regàs <https://www.cibsub.cat/guia.php>). C, simbiosi que formen les barreres de coral (foto: annaroik.org).

que van experimentar els cloroplasts de les plantes i algues actuals.

Prenguem com un altre exemple a un dels grups d'animals més antics que encara existeixen: les esponges (figura 1B). Les esponges marines van aparèixer en el nostre planeta fa 600 milions d'anys (uns 300 milions d'anys abans que apareguessin els primers arbres) i, amb l'ajuda dels seus microbis, han conquerit gairebé tots els hàbitats aquàtics. Igual que en l'intestí humà, la microbiota de l'esponja proporciona nutrients i defensa al seu hoste (Pita *et al.* 2018). Alguns d'aquests microbis produeixen compostos especials amb aplicacions biotecnològiques com, per exemple, certs fàrmacs antitumorals. A més, les esponges alberguen bacteris i virus que no es troben en cap altre lloc! Per la qual cosa, perdre una sola espècie d'aquestes esponges implicaria perdre una factoria microbiana única. A causa del seu origen tan antic, les simbiosis entre esponges i microbis ens il·lustren sobre la interacció dels animals amb el món microbià. Des de les esponges fins als humans, descodificar aquest

«diàleg» animal-microbi és clau per a comprendre la salut animal.

### La importància ecològica de les simbiosis marines, un estil de vida per a sobreviure en un oceà desafiador

A l'oceà trobem ecosistemes impulsats per simbiosis amb microbis ja que l'activitat dels simbionts traspasa les parets dels seus respectius hosts i es projecta a nivell d'ecosistema. Per exemple, les transformacions de matèria i energia per part dels microbis que afecten als cicles biogeoquímics globals (McFall-Ngai *et al.* 2013, Pita *et al.* 2018).

El nitrogen (N) és un element essencial per a la productivitat primària, però és escàs en moltes regions de l'oceà. En aquestes regions, la fixació biològica de  $N_2$  exerceix un paper fonamental sobre els productors primaris ja que proporciona una fracció important del nitrogen que aquests productors necessiten. No obstant això, la fixació de  $N_2$  la realitzen exclu-

sivament algunes espècies bacterianes. Certes espècies marines (principalment fitoplàncton), en associar-se de manera simbiòtica amb bacteris fixadors de  $N_2$ , han trobat una manera de prosperar en aquests ambients empobrits en nitrogen. Per exemple, sabem que el cianobacteri UCYN-A, fixador de  $N_2$ , va començar la seva relació simbiòtica amb l'alga *B. bigelowii* durant el Cretàcic tardà, fa al voltant d'uns 100 milions d'anys (Cornejo-Castillo *et al.* 2016). Això és interessant perquè coincideix amb el fet que fa entre 190 i 100 milions d'anys, la disponibilitat de nutrients en l'oceà va ser menor que en qualsevol altre moment durant els últims 550 milions d'anys. Així que és probable que aquesta peculiar simbiosi entre UCYN-A i *B. bigelowii* s'originés com una estratègia de supervivència per a fer front a condicions de nutrients extremadament baixes en les aigües superficials de l'oceà.

En el fons marí (bentos), les esponges filtren centenars de litres d'aigua al dia, prenen els nutrients que necessiten, els transformen en diversos compostos que seguidament seran alliberats a l'aigua. L'activitat dels seus microbis determina quin tipus de transformacions es fan dels nutrients que, juntament amb la seva elevada capacitat de bombament de l'aigua, confereixen un paper fonamental de les esponges en els cicles dels elements..

En les fumaroles hidrotermals, fissures en el fons de l'oceà que descarreguen aigua geotermal calenta i tòxica, els microbis detoxifiquen les substàncies nocives i proporcionen energia i nutrients a diversos animals com cucs, musclos i gambetes. Gràcies a aquestes simbiosis, en aquests entorns extrems afloren comunitats altament diverses i productives.

Finalment, en aigües marines pobres en nutrients, altres simbionts unicel·lulars fotosintètics (els dinoflagel·lats) proporcionen als corals el carboni que necessiten per a construir l'esquelet que compon l'escull de coral, llar de múltiples espècies marines. Els esculls de coral

(figura 1C) són punts crítics de biodiversitat i milions d'humans depenen d'ells.

## Així que, en temps d'adversitat, busca't un soci microbià!

Les simbiosis tenen beneficis i costos, però l'evolució troba l'equilibri que promou l'èxit de les espècies que interactuen. En l'actualitat, les activitats humanes estan modificant la naturalesa a un ritme ràpid sense precedents, posant en risc aquest equilibri. En l'oceà, l'escalfament global, la contaminació i l'eutrofització estan acabant amb poblacions senceres d'espècies marines. Els canvis ràpids en el medi ambient afecten les interaccions entre els microbis i els seus hosts i poden contribuir a la susceptibilitat a malalties, tant en organismes marins com en humans. En els exemples presentats en aquest assaig, hem mostrat com els organismes marins en simbiosis amb els seus microbis han aconseguit respondre i adaptar-se al medi ambient que els envolta. La vida marina ens ofereix un viatge cap al nostre passat evolutiu i ens explica històries d'èxit que es van basar en enfortir la cooperació entre espècies, fet crucial per a afrontar els desafiaments actuals i futurs als quals ens enfrontem com a societat.

## Referències

- Cornejo-Castillo F.M., Cabello A.M., Salazar G., *et al.* 2016. Cyanobacterial symbionts diverged in the late Cretaceous towards lineage-specific nitrogen fixation factories in single-celled phytoplankton. *Nature Commun.* 7: 11071.
- Foster R.A., Zehr J.P. 2019. Diversity, Genomics, and Distribution of Phytoplankton-Cyanobacterium Single-Cell Symbiotic Associations. *Annu. Rev. Microbiol.* 73: 435-456.
- McFall-Ngai M., Hadfield M.G., Bosch T.C.G., *et al.* 2013. Animals in a bacterial world, a new imperative for the life sciences. *PNAS* 110: 3229-3236.
- Pita L., Rix L., Slaby B.M., *et al.* 2018. The sponge holobiont in a changing ocean: from microbes to ecosystems. *Microbiome* 6: 46.

DOI: <https://doi.org/10.20350/digitalCSIC/14064>

## 2.8. Els peixos en un escenari de canvi global: la importància dels primers estadis del cycle vital per a la conservació de les poblacions naturals

Ana Sabatés, M. Pilar Olivar, Vanesa Raya, Joan Mir-Arguimbau, Ainhoa Bernal

Les primeres etapes del cycle vital dels peixos comprenen el període des de la posta fins al reclutament a la població adulta (figura 1). La supervivència d'aquests estadis inicials del desenvolupament, els ous i les larves, determina les variacions, a curt i llarg termini, en l'abundància de les seves poblacions. La majoria de peixos marins produeixen entre milers i milions d'ous pelàgics que en pocs dies eclosionen i donen lloc a larves que passen des d'unes setmanes fins a uns pocs mesos en la comunitat planctònica. Les larves de peixos es caracteritzen per tenir una mida petita (de pocs mm a 2 cm), la seva transparència, una limitada capacitat natatòria, i una morfologia, a vegades sorprenent, que difereix notablement de la dels adults (figura 2). Durant el període planctònic, les larves interactuen amb altres organismes del plàncton, sent tant depredadors com preses (figura 1). Les larves de peixos s'alimenten d'organismes de mida petita, com per exemple estadis juvenils de copèpodes (petits crustacis), i, al seu torn, són presa d'altres espècies més grans que viuen també en el medi pelàgic, com les meduses. La mortalitat dels ous i larves de peixos durant la seva vida planctònica és extremadament elevada i només pocs individus, dels milers de larves nascudes, sobreviuen a la falta d'aliment o a la depredació (Houde 2009). Els factors físics, com ara corrents, fronts o remolins, que determinen la dispersió o la concentració de les

larves, juguen també un paper important en la supervivència larvària (Catalán *et al.* 2006). D'aquesta manera, la interacció entre l'entorn físic i la biologia larvària controla les variacions interanuals del reclutament dels peixos i, en última instància, determina la persistència de les poblacions adultes.

### Estratègies reproductores dels peixos

Els peixos han desenvolupat una àmplia varietat d'estratègies reproductores adaptades a les característiques específiques dels diferents hàbitats

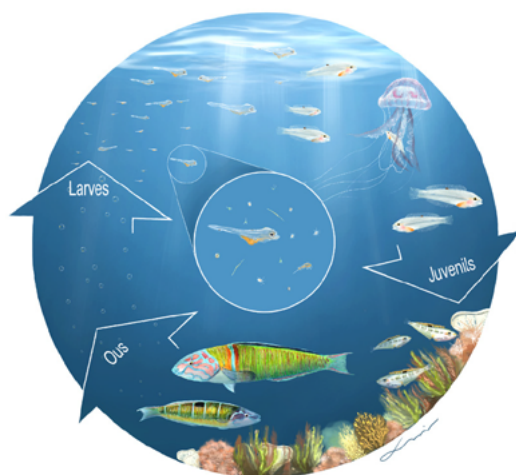


Figura 1. Representació esquemàtica del cycle de vida del fadrí, família Labridae.





Figura 2. Larva de peix d'aleta espinosa de la família Diretmidae (esquerra), larva de peix mesopelàgic de la família Scopelarchidae (centre) i larva de peix pla de la família Bothidae (dreta).

a fi que l'alliberament dels seus ous i larves tingui lloc en entorns adequats que garanteixin l'èxit de la seva alimentació, creixement i supervivència, així com la connectivitat de la població (Sabatés *et al.* 2007). La temperatura, juntament amb el fotoperíode (durada diària d'hores de llum), són els principals factors ambientals que controlen el període reproductor. Encara que la major part d'espècies tenen períodes reproductors relativament fixos, hi ha un cert grau de flexibilitat com a resposta a canvis interanuals de temperatura. Aquesta flexibilitat permetria que en un entorn ambiental alterat, per exemple amb poblacions de zooplàncton en estadis de desenvolupament més avançats als habituals (a causa de temperatures més elevades), els peixos podrien adaptar el moment de la posta per tal de garantir la coincidència entre les larves i les seves preses habituals. Els peixos són particularment sensibles a canvis fenològics en el plàncton (tipus i grandària dels organismes) induïts pel clima, ja que l'èxit del reclutament depèn, en gran mesura, de la sincronització de la fase larvària amb els pics estacionals de producció fitoplanctònica. Canvis en l'entorn físic i biològic poden, per tant, alterar la sincronització temporal entre la posta i les condicions òptimes per al desenvolupament dels ous i l'alimentació i creixement de les larves, així com el seu transport o retenció en zones favorables per al seu desenvolupament.

### Impacte del canvi climàtic en les primeres etapes de vida dels peixos

Si bé l'impacte del canvi climàtic sobre les primeres etapes de vida dels peixos no és encara prou conegut, aquest podria preveure's a partir

del que coneixem de la biologia d'aquestes etapes. Malgrat que amb l'augment de temperatura observat actualment no cal esperar efectes letals directes, el més probable és que es produeixin efectes indirectes a través de canvis en l'adequació de l'hàbitat i en l'aportació d'aliment. Es preveu que l'increment de temperatura de l'oceà afecti la composició i grandària dels organismes del plàncton, modificant, d'aquesta manera, la disponibilitat de preses adequades per a les larves de peixos. La major estratificació de la columna d'aigua reduirà la disponibilitat de nutrients a les capes superficials, limitant la producció primària i l'abundància de zooplàncton, amb la consegüent disminució de la condició nutricional de les larves. A més, l'augment de temperatura comportarà un increment de la taxa de creixement larvari i, en conseqüència, una menor durada del període planctònic, la qual cosa pot donar lloc a canvis en els patrons de connectivitat entre les zones de posta i reclutament. En qualsevol cas, la informació sobre la importància relativa de l'escalfament dels oceans i la seva interacció amb canvis en l'aportació d'aliment en la supervivència de les larves de peixos és molt limitada.

A més del canvi climàtic, la pesca constitueix, probablement, l'impacte antropogènic més important sobre els peixos. El seu efecte en les primeres etapes del cicle de vida és el resultat de canvis demogràfics en la població adulta. El número i la qualitat dels ous depenen de l'edat o grandària dels reproductors, ja que els peixos de major edat o grandària produeixen molts més ous i es reproduïen abans que els peixos més petits. Elevades taxes d'explotació pesquera donen lloc a importants canvis demogràfics, amb

menys peixos de major edat i una elevada abundància de juvenils amb baix potencial reproductor. Aquests canvis en l'estructura demogràfica contribuirien a reduir el potencial reproductor de les poblacions de peixos i a alterar la fenologia (temps i durada) del període de posta.

## Estudis sobre els primers estadis de desenvolupament dels peixos en el Mediterrani nord-occidental

Els estudis sobre els primers estadis de desenvolupament dels peixos han estat reconeguts com una part important de la recerca duta a terme a l'ICM des dels anys 70. El Mediterrani, el nostre ecosistema més pròxim, ha rebut una especial atenció. Es tracta d'un dels mars més impactats del món, ja que el canvi climàtic actua en sinergia amb molts altres factors antropogènics com la sobreexplotació pesquera, la contaminació, les invasions biològiques i la pèrdua d'hàbitats, que sovint se solapen en l'espai i el temps, i el seu efecte pot ser acumulatiu. A més, han estat reportats canvis a llarg termini en les condicions hidrodinàmiques o meteorològiques, amb increments de temperatura de l'aire i l'aigua, major estratificació de la columna d'aigua i durant períodes més prolongats, disminució de la intensitat del vent i una progressiva acidificació. En la conca occidental del Mediterrani, s'ha documentat també un descens de les descàrregues dels rius, en particular del Roine i de l'Ebre, i una disminució en les concentracions de clorofil·la-*a*. Totes aquestes tendències ambientals apunten a una oligotrofització de la regió i suggereixen que l'hàbitat de posta de les espècies pelàgiques, com l'anxova, clarament dependents de les aigües d'origen continental, podrien estar en perill en les pròximes dècades (Palomera *et al.* 2007). L'increment de temperatura pronosticat, la disminució en la intensitat del vent i de les precipitacions, i la consegüent major estratificació de la columna d'aigua s'ha observat que poden modificar la composició i fenologia de les comunitats planctòniques i afavorir l'augment de les poblacions de meduses. Les prolifera-

cions de meduses poden afectar negativament els peixos ja sigui per la seva competència per l'aliment, o directament a través de la depredació dels ous i larves (Tilves *et al.* 2016). Un pas essencial, doncs, per a predir i projectar canvis futurs, i per tant per a adaptar-se a aquests, és la comprensió dels mecanismes que relacionen els canvis ambientals amb l'extensió espacial i temporal dels hàbitats favorables per a la posta.

## Propostes de futur

En un context de canvi global, la recerca sobre els primers estadis del cicle vital dels peixos hauria d'enfocar-se en les conseqüències del forçament climàtic i l'explotació pesquera en la supervivència dels ous i larves. El seu efecte està encara lluny de ser comprès, tenint en compte les dificultats de l'estudi de l'hàbitat planctònic i els requeriments fisiològics en aquests estadis inicials. Per a avaluar l'impacte del canvi climàtic i dels canvis en l'ecosistema en la conservació de les poblacions de peixos és essencial assolir un coneixement profund de l'ecologia larvària, així com de les distribucions de les espècies i de les seves àrees i èpoques de posta. Aquest coneixement serà crític per a la futura gestió pesquera.

## Referències

- Catalán I., Olivar M.P., Palomera I., Berdalet E. 2006. Link between environmental anomalies, growth and condition of pilchard *Sardina pilchardus* larvae in the North Western Mediterranean. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 307: 219-231.
- Houde E.D. 2009. Recruitment variability. In: Jakobsen, T., Fogarty, M.J., *et al.* (eds), *Fish reproductive biology: implications for assessment and management*, Wiley-Blackwell, Oxford, pp. 91-171.
- Palomera I., Olivar M.P., Salat J., *et al.* 2007. Small pelagic fish in the NW Mediterranean Sea: An Ecological Review. *Prog. Oceanogr.* 73: 377-396.
- Sabatés A., Olivar M.P., Salat J., *et al.* 2007. Physical and biological processes controlling the distribution of fish larvae in the NW Mediterranean. *Prog. Oceanogr.* 74: 355-376.
- Tilves U., Fuentes V.L., Purcell J.E., *et al.* 2016. Natural diet and predation impacts of *Pelagia noctiluca* on fish eggs and larvae in the NW Mediterranean. *J. Plank. Res.* 38: 1243-1254.

DOI: <https://doi.org/10.20350/digitalCSIC/14065>

## 2.9. Carismàtics, amenaçats i desconeguts: depredadors marins a l'Antropocè

Joan Giménez, Francisco Ramírez, Marta Coll, Joan Navarro

Els depredadors marins, com els mamífers marins, els ocells marins i els grans peixos depredadors, com els taurons, les tonyines o els peixos espasa, són considerades espècies carismàtiques amb les quals l'ésser humà acostuma a empatitzar. Han inspirat multitud de documentals i pel·lícules, així com nombrosos llibres per a nens i xerrades de divulgació per a adults. També atreuen a milions de persones per a la seva observació en llibertat en diferents llocs del món i, alguns d'ells, es consideren espècies importants per a les pesqueres locals i globals, així com recursos importants per a algunes cultures. Per desgràcia, l'abundància de molts depredadors marins està disminuint i fins i tot alguns d'ells estan amenaçats o han desaparegut de zones on prèviament residien. En general, el seu mal estat de conservació i l'escassa viabilitat de les seves poblacions durant l'anomenada era del Antropocè estan directament o indirectament lligat a diferents impactes humans, com són l'explotació directa o la mortalitat deguda a la captura accidental en pesqueres, l'impacte del canvi climàtic, la reducció del seu aliment i la degradació dels hàbitats marins on són presents.

### Espècies útils per a la conservació

Els depredadors marins s'han utilitzat tradicionalment per assolir la conservació del medi marí ja que molts d'ells poden ser espècies emblematiques, clau en els ecosistemes, paraigües i indicadores (figura 1). En general, la seva protecció pot ajudar a la conservació de tota la comunitat de la qual depenen. Invertir en la seva conservació pot ser rellevant ja que se'ls pot utilitzar com a espècies indicadores de l'estat del

medi marí en què habiten. Poden actuar com a organismes que alerten de manera primerenca del deteriorament de la salut ambiental marina, ajudant a monitoritzar els canvis de tot l'ecosistema del qual depenen, com per exemple la presència de contaminants. A més, poden ser bons indicadors de l'abundància i la salut d'altres components clau de l'ecosistema, com per exemple dels recursos pesquers dels quals depe-



• **Indicadores:** Integren i reflecteixen l'heterogeneïtat ecològica a través d'amplexos escalas temporals i espacials.  
• **Carismàtiques:** Atractiva per al públic en general facilitant el seu compromís amb la conservació marina.  
• **Clau:** Presenten una importància desproporcionada malgrat la seva baixa biomassa. Són grups estructurals que influeixen desproporcionadament en l'abundància d'altres espècies i en la dinàmica de la xarxa tròfica. La seva eliminació té un impacte significatiu en la comunitat.  
• **Paraigües:** La seva protecció pot conservar altres espècies de l'ecosistema. Les espècies paraigües es caracteritzen normalment per requerir grans territoris per a sobreviure, per la qual cosa la seva protecció pot servir a altres espècies amb menors requeriments d'hàbitat.

Figura 1. La importància dels depredadors marins. Fotografies cedides per Joan Giménez [pingüí carabanc (*Pygoscelis antarcticus*), foca lleopard (*Hydrurga leptonyx*)] i per CIRCE (Conservación, Información y Estudio de Cetáceos; dofí comú (*Delphinus delphis*), orca (*Orcinus orca*), mascarell atlàntic (*Morus bassanus*), i baldrigra atlàntica (*Calonectris borealis*)).

nen i comparteixen amb les pesqueres. De fet, els descensos poblacionals d'aquests depredadors han estat típicament presagi de col·lapses pesquers (Velarde *et al.* 2019).

## Llacunes de coneixement

Malgrat els innegables avenços en la comprensió de la biologia i ecologia d'aquests organismes, molts d'ells són encara grans desconeguts. Per exemple, els estudis dirigits a analitzar els canvis en la seva abundància, distribució, ecologia tròfica o moviments són escassos. Això es deu principalment al fet que el seu estudi presenta dificultats metodològiques i logístiques, ja que la major part dels depredadors marins són animals molt mòbils, que passen la major part del seu temps allunyats de la superfície i amb freqüència utilitzen aigües oceàniques allunyades de la costa. La conservació dels depredadors marins i la seva utilitat com a espècies indicadores precisa d'una comprensió més profunda sobre aspectes bàsics de la seva biologia, ecologia, fisiologia, comportament i distribució al llarg del cicle anual, així com sobre les múltiples ame-

naces i desafiaments als quals s'enfronten (figura 2). Per això es requereixen necessàriament iniciatives de recerca, tant locals com transnacionals, juntament amb enfocaments nous i interdisciplinaris.

Per exemple, en l'actualitat és possible realitzar estudis integrats, amb enfocaments que van des de les anàlisis de biomarcadors intrínsecs (per exemple, anàlisis d'isòtops estables en els teixits dels individus) fins al seguiment dels moviments individuals mitjançant mètodes de telemetria, acústics o visuals, que proporcionen una comprensió més holística respecte al paper que juguen els factors ambientals i humans en la distribució d'aquestes espècies (Navarro *et al.* 2016). Aquesta informació també és crucial per a entendre com aquests organismes marins de llarga vida responen als canvis ambientals i a altres factors d'estrès provocats per l'activitat humana. La integració de tota aquesta informació ecològica i biològica en precisos models ecosistèmics, que tenen en compte la dimensió espacial i temporal, així com les interaccions tròfiques entre els múltiples components de les xarxes tròfiques marines, permet identificar el paper eco-

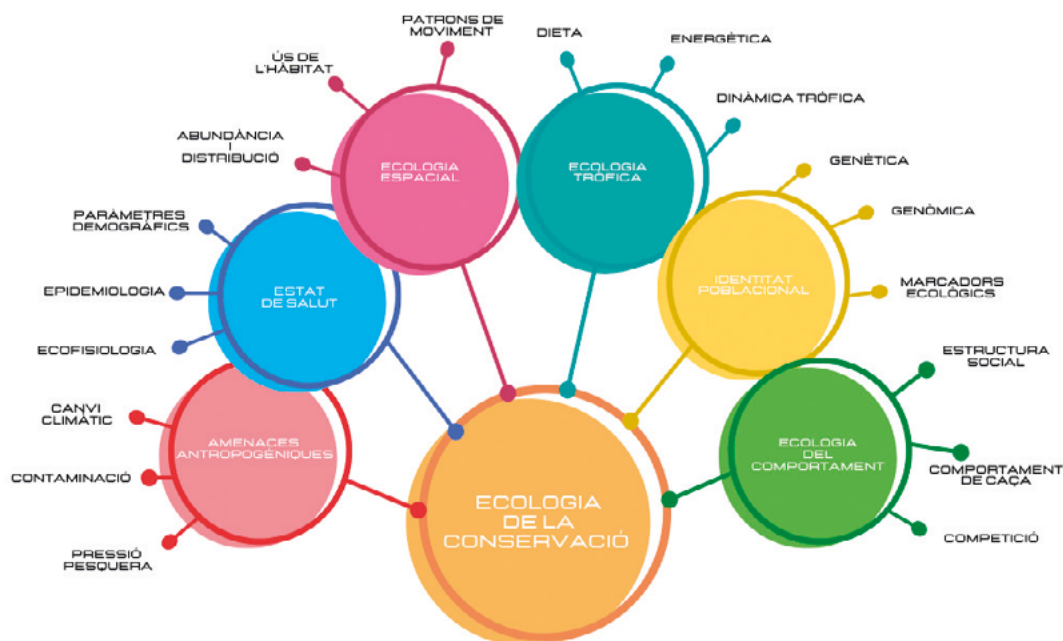


Figura 2. Una comprensió precisa del diferents subàrees científiques ens informa sobre les estratègies de conservació més adequades per a preservar i recuperar les poblacions de depredadors marins a l'Antropocè.



lògic d'aquests depredadors en l'ecosistema marí (Coll *et al.* 2013), així com avaluar l'efecte de l'establiment d'àrees marines protegides (AMPs) per a salvaguardar aquestes espècies de l'extinció i aconseguir uns objectius de conservació adequats (Giménez *et al.* 2020).

Per a preservar la vida marina, han d'aplicar-se estratègies de conservació robustes basades en el coneixement científic (Duarte *et al.* 2020). Per exemple, l'establiment de AMPs per a conservar i restaurar l'abundància dels grans depredadors marins pot promoure la recuperació dels ecosistemes marins, restaurant potencialment la biodiversitat i el funcionament ecològic. No obstant això cal destacar que els enfocaments basats en AMPs han de combinar-se amb altres enfocaments dirigits a gestionar les amenaces (per exemple, la millora de la selectivitat pesquera, la mitigació del soroll oceànic) que permetin la correcta gestió dels impactes humans per a aconseguir nivells satisfactoris que garanteixin la

seva conservació. Això implica el desenvolupament d'anàlisi i eines espacials per a entendre i gestionar l'ecosistema marí en tota la seva complexitat.

## Referències

- Coll M., Navarro J., Palomera I. 2013. Ecological role, fishing impact, and management options for the recovery of a Mediterranean endemic skate by means of food web models. *Biol. Conserv.* 157: 108-120.
- Duarte C.M., Agusti S., Barbier E., *et al.* 2020. Rebuilding marine life. *Nature* 580: 39-51.
- Giménez J., Cardador L., Mazon T., *et al.* 2020. Marine protected areas for demersal elasmobranchs in highly exploited Mediterranean ecosystems. *Mar. Environ. Res.* 160: 105033.
- Navarro J., Cardador L., Fernández Á.M., *et al.* 2016. Differences in the relative roles of environment, prey availability and human activity in the spatial distribution of two marine mesopredators living in highly exploited ecosystems. *J. Biogeogr.* 43: 440-450.
- Velarde E., Anderson D.W., Ezcurra E. 2019. Seabird clues to ecosystem health. *Science* 365: 116-117.

DOI: <https://doi.org/10.20350/digitalCSIC/14066>

## 2.10. Integritat ecològica dels fons marins: conciliar conservació i explotació

Montserrat Demestre, Silvia de Juan, Alfredo Garcia-de-Vinuesa

La pesca és una eina que l'home ha fet servir des de fa mil·lennis per extreure aliment del mar. L'activitat pesquera, poc a poc, ha perfeccionat els mètodes d'extracció dels organismes marins adaptant les arts de pesca a la biologia i al comportament de les espècies objectiu. Les espècies que viuen en estreta relació amb el fons del mar, les denominades espècies bentòniques i demersals, son pescades amb arts que treballen connectades amb el fons marí. Alguns d'aquests arts com l'art d'arrossegament, no són gens selectius i poden capturar tot el que troben al seu pas pel fons marí. Altres arts com el tresmall o el palangre no afecten directament els fons. Aquesta pesca contínua i intensa sobre els fons és un dels efectes més perjudicials pels ecosistemes bentònics, ocasionant una degradació progressiva i freqüentment irreversible de la seva integritat, altrament dit, del seu bon estat ambiental (de Juan *et al.* 2009). La capacitat dels ecosistemes de proveir beneficis depèn estretament de la seva integritat.

### Les captures accidentals de la pesca: la supervivència del rebuig

L'arrossegament, al no ser selectiu, pesca espècies comercials (lluç, rap, escamarlà, gamba) alhora que també captura espècies que no es comercialitzen, el que es defineix com a captura accidental o no desitjada (figura 1). La gran majoria d'aquesta captura accidental es retorna al mar viva o morta i és el que es coneix com a rebuig. Una part del rebuig poden ser espècies comercials de talla petita, no legal, i que per tant no es poden vendre (Garcia-de-Vinuesa *et al.* 2018). La mortalitat del rebuig és un altre

efecte directe de la pesca a tenir en compte. Els estudis ens mostren que la supervivència dels peixos rebutjats és molt baixa, mentre que els invertebrats, al ser un grup molt heterogeni amb estructures externes resistents (crustacis i gasteròpodes) i formes de vida que els aïllen o regeneren (bivalves, poliquets, estrelles de mar), poden tenir nivells de supervivència molt més elevats (Demestre *et al.* 2018).

Per avançar en l'equilibri entre conservació i explotació s'han dissenyat arts de pesca d'arrossegament experimentals, amb malles de diferents mides o amb unes reixes intercalades a la xarxa amb l'objectiu que tota la captura accidental pugui escapar-se i no quedi retenguda a la xarxa, disminuint així significativament el rebuig. Evitant aquestes captures s'augmenta a mig i llarg termini la biomassa dels recursos al mar en benefici tant de la conservació de les pròpies espècies com per a l'economia dels pescadors.

La pesca d'arrossegament també té efectes negatius indirectes, desconeguts i massa vega-



Figura 1. Imatge de la captura d'una pesca d'arrossegament sobre un fons de crinoïdeus on es veu una gran quantitat de *Leptometra phalangium*, una espècie no desitjada. Calador de pesca proper a la costa de Blanes freqüentada per les barques d'arrossegament. Campanya Pesquera CRIMA (RTI2018-095770-B-I00).

des ignorats, sobre els fons marins i les seves comunitats. Aquests efectes causen una disminució de la diversitat, provoquen degradació i homogeneïtzació dels hàbitats i un canvi en les comunitats amb una dominància dels organismes menys vulnerables a aquesta perturbació (de Juan i Demestre 2012). És molt necessari conèixer els límits de resiliència de les comunitats bentòniques i no sobrepassar-los per arribar a modificacions irreversibles amb un canvi en la funcionalitat de l'ecosistema, molt relacionat amb la capacitat de proveir béns i serveis a la societat, com són els recursos pesquers. Per minimitzar l'impacte i contribuir a mantenir la resiliència del sistema a llarg termini, es proposen vedes espacials i temporals, així com tancats de pesca permanents i modificacions de les arts per eliminar al màxim el contacte amb el fons marí (Demestre *et al.* 2008).

### Hàbitats bentònics emblemàtics en perill

Totes aquestes actuacions són particularment necessàries i urgents en els fons identificats com emblemàtics per la seva elevada diversitat i productivitat, com és el cas dels fons de maërl i el fons de crinoïdeus. Aquests fons són molt presents a les costes mediterrànies i són zones on hi ha una activitat de pesca regular.

El maërl són agregacions d'algues vermelles que formen nòduls calcaris amb un paper molt important a la natura perquè la seva capacitat de retenir carboni podria mitigar els efectes del canvi climàtic. Aquestes estructures en nòduls defineixen uns hàbitats tridimensionals on hi viuen i s'hi refugien un gran nombre d'espècies. Els fons de maërl es distribueixen principalment entre els 30 i els 70 metres de profunditat, en aigües costaneres i molt ben il·luminades (figura 2A). Tant el propi hàbitat com dues de les espècies d'algues vermelles que el configuren, *Lithothamnion corallioides* i *Phymatolithon calcareum*, es troben a la Directiva d'hàbitats de protecció d'espècies. Malauradament, la pesca d'arrossegament pot impactar sobre aquets fons ja que només és prohibida en fons de menys de 50 metres.

Els fons de crinoïdeus formats majoritàriament per agrupacions de l'equinoderm *Leptome-*

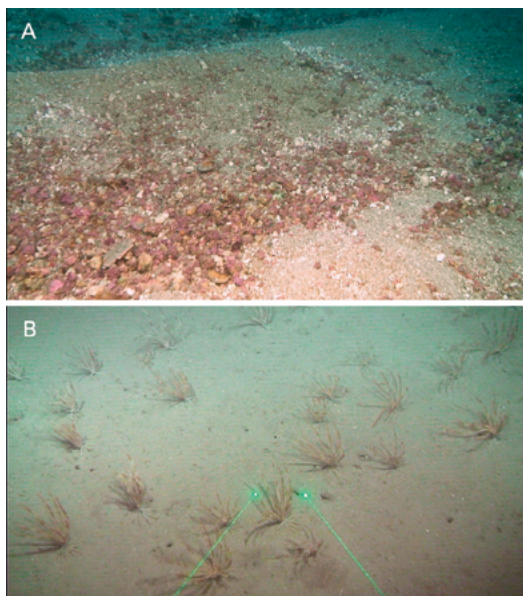


Figura 2. Imatge d'un fons: A, de maërl on es veuen les formacions de rodòlits dipositats al llarg de les valls de les *ripple-marks* de corrent; B, de crinoïdeus (*Leptometra phalangium*) tots orientats cap a la corrent per capturar la matèria orgànica en suspensió. Zona propera a la costa de Blanes freqüentada per les barques d'arrossegament. Campanya Oceanogràfica CRIMA (RTI2018-095770-B-I00).

*tra phalangium* es troben entre 100 i 170 metres de profunditat (figura 2B). En aquests hàbitats hi té lloc un fenomen de mescla d'aigües amb una elevada producció de fitoplàncton en superfície. Aquesta matèria orgànica produïda en superfície cau per gravetat al fons i és aprofitada per una gran quantitat d'organismes, essent una font d'aliment per a molts dels recursos pesquers. Aquests fons tenen un paper molt important en l'ecosistema bentònic i la Comissió Europea els ha considerat hàbitats sensibles i essencials.

Hem comprovat que l'explotació pesquera pot afectar el bon estat ambiental dels hàbitats i fons marins, amenaçant la seva resiliència i la seva integritat ecològica. Malgrat tot això, la situació actual mostra un desequilibri entre explotació i conservació decantat vers l'explotació. S'ha d'aconseguir invertir la tendència i perfilar estratègies de gestió per equilibrar aquesta situació. És de destacar que per directrius que marca la Comissió Europea, a l'any 2023 cada país ha de demostrar un avenç d'un 30% en nous espais marítims protegits. En aquest sentit, els fons de

maèrl i de crinoïdeus són candidats a tenir en compte per a aquesta planificació. L'equilibri entre mantenir o eliminar la gran riquesa dels béns i serveis que n'ofereix el medi marí, i especialment els seus fons, depèn de com es vulgui gestionar aquest ecosistema molt estimat superficialment però en el fons molt castigat.

## Referències

- Demestre M., de Juan S., Sartor P., Ligas A. 2008. Seasonal closures as a measure of trawling effort control in two Mediterranean trawling grounds: Effects on epibenthic communities. *Mar. Pol. Bull.* 56: 1765-1773.
- Demestre M., Sartor P., Garcia-de-Vinuesa A., *et al.*

2018. Ecological importance of survival of unwanted invertebrates discarded in different NW Mediterranean trawl fisheries. *Sci. Mar.* 82, Suppl. 1: 189-198.
- de Juan S., Demestre M. 2012. A Trawl Disturbance Indicator to quantify large scale fishing impact on benthic ecosystems. *Ecological Indicators* 18: 183-190.
- de Juan S., Demestre M., Thrush S. 2009. Defining ecological indicators of trawling disturbance when everywhere that can be fished is fished: A Mediterranean case study. *Mar. Pol.*, 33: 472-478.
- Garcia-de-Vinuesa A., Sola I., Quattrocchi F., Maynou F., Demestre M. 2018. Linking together trawl fleet dynamics and the spatial distribution of exploited species can help to avoid unwanted catches: the case of the NW Mediterranean fishing grounds. *Sci. Mar.* 82, Suppl. 1: 165-174.

DOI: <https://doi.org/10.20350/digitalCSIC/14067>



## 2.11. Els colors canviants de la vida marina antàrtica

Enrique Isla, Julian Gutt

*Ipsa scientia potestas est*, o, el coneixement en si mateix és poder, va publicar Sir Francis Bacon en el seu *Meditationes Sacrae* el 1597. Des de llavors, la humanitat ha adquirit un coneixement, i poder, considerables; no obstant, una de les conseqüències més evidents d'això és el deteriorament de l'ambient i la vida a la Terra. L'estat actual del nostre oceà va estimular a les Nacions Unides a llançar la seva proposta «Deceni de les Ciències Oceàniques per al Desenvolupament Sostenible (2021-2030)» amb l'objectiu de produir set resultats que descriuran l'oceà que volem» a finals d'aquesta dècada. Entre aquests, el segon resultat «Un oceà saludable i resiliència on s'entenen, protegeixen, restauren i gestionen els ecosistemes marins» es basa precisament en el que Sir Francis Bacon, el pare del mètode científic, va proposar; és a dir, quant millor és la informació que tenim, més capacitat tindrem per a controlar els esdeveniments. Si més no, per predir-los.

Dins d'aquest marc, la regió antàrtica és particularment important perquè és potser la regió menys coneguda del planeta; no obstant això, pateix una pressió antropogènica similar a la de les seves contraparts a latituds més baixes. Aquesta situació deixa, comparativament, menys temps per a millorar el nostre coneixement sobre ella, abans que la transformació ambiental antropogènica en marxa porti els seus colorits ecosistemes marins a punts d'inflexió. Actualment, el canvi climàtic és potser l'amenaça antropogènica més important pels ecosistemes antàrtics (Gutt *et al.* 2020).

L'Antàrtida ha evolucionat en un gairebé aïllament tèrmic des de fa aproximadament 30 milions d'anys, quan l'obertura del Pas de Tasmània

va permetre l'establiment del Corrent Circumpolar Antàrtic i les baixes temperatures que regulen la vida a l'oceà Austral. Durant aquest període, la vida antàrtica ha prosperat en condicions ambientals úniques, particularment constants prop del llit marí. Aquí, la foscor i una variació molt petita de temperatura i salinitat, han acompanyat a la fauna bentònica fins a un estat d'elevat endemisme, abundància i diversitat d'espècies i colors (figura 1), que depèn del blanc, verd i blau predominants a la superfície del mar.

### De blanc a verd: superfície de l'oceà

El gel marí modula la vida a l'oceà Austral. El gel marí antàrtic pot cobrir fins a 20 milions de quilòmetres quadrats durant l'hivern i constitueix un dels biomes més grans de la Terra. Aquesta estructura gelada i porosa està travessada per una xarxa de canals de salmorra plens de vida microscòpica, capturada durant la formació del gel marí durant els mesos freds de l'any. Quan arriba la primavera i comença el desgel, la microbiota del gel marí troba aigua de mar rica en nutrients, on floreix i converteix el blanc en verd, generant suficient aliment per mantenir tota la vida marina antàrtica.

### De verd a multicolor: fons marí

Les tempestes de vent antàrtic són típiques de l'estiu i la seva acció sobre la superfície del mar estimula la producció biològica i l'agregació de partícules, generant forts polsos de matèria orgànica fins el fons marí (Isla *et al.* 2009). Aquesta pluja d'estiu de material orgànic cobreix el llit marí amb una catifa verda plena d'energia, que alimen-

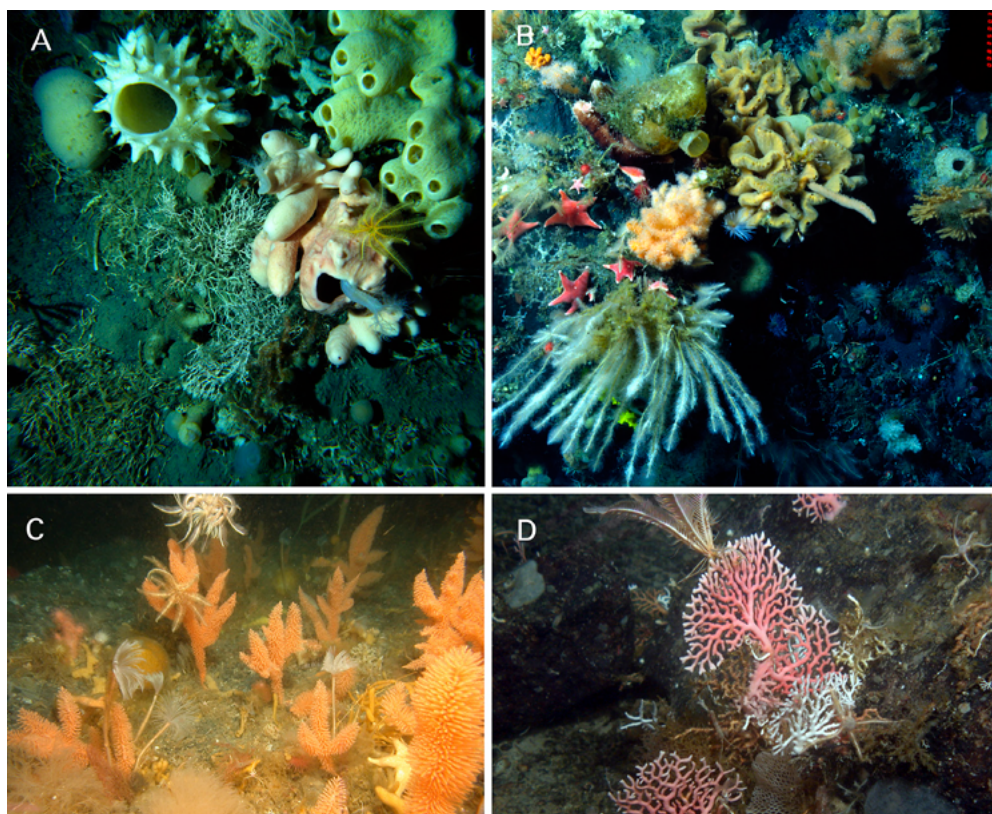


Figura 1. Les comunitats bentòniques de l'oceà Austral són riques en abundància, biomassa, formes i espècies. Entre aquestes hi ha esponges, briozous, holotúries (cogombres de mar) i comunitats d'ascídies (A). També es conformen per ascídies solitàries, estrelles de mar, plomes de mar i altres espècies de coralls tous (B). El taronja pot ser el color dominant en comunitats de coralls tous com aquestes gorgònies (C) i el rosa d'aquests elegants i delicats hidrocoralls que poden arribar a formar grans comunitats (D). L'àrea de la imatge per a les figures A i B és aproximadament d'1.5 m<sup>2</sup> i per a les figures C i D, el fons és d'aproximadament 0.4 m<sup>2</sup>.

tarà la vida bentònica multicolor fins i tot durant els mesos foscos de l'hivern i també cobrirà els pocs llocs amb sediment marró entre els animals bentònics (figura 2). Això no obstant, hi ha llinars, i si aquest excés d'energia estival disminueix, la vida bentònica pot morir de gana.

### Canviant la paleta de colors

L'escalfament a la península Antàrtica occidental desencadena diversos processos que modifiquen els patrons marins de color. El desglaç dels glaciers introdueix nutrients dissolts i partícules minerals a la columna d'aigua adjacent. Mentre que a primera vista el blau profund pot tornar-se verd degut als floriments d'algues alimentats amb nutrients derivats dels glaciers, eventualment, la càrrega de sediments augmenta la terbolesa i

reduïx les àrees verdes en benefici de mosaics blau turquesa i marró (Gutt *et al.* 2020). Els organismes pelàgics immersos en els núvols marrons col·lapsen per l'obstrucció del seu tracte digestiu, canviant el color mineral fosc de les platges per un taronja brillant i vermell, derivat de les arribades massives de krill mort que arriba a terra pel vent (Fuentes *et al.* 2016). El fons marí multicolor també canvia. La càrrega de sediment pot cobrir el llit marí amb un pesat mantell terrós que sufoca la fauna bentònica, la qual s'alimenta amb la matèria orgànica en suspensió. Es prediu que aquestes comunitats multicolor eventualment retornaran; no obstant, a un ritme desconegut (Gutt *et al.* 2020). D'altra banda, a l'est del mar de Weddell, l'augment de l'extensió de gel marí ha resultat en reduccions dràstiques de producció primària i biomassa de fauna bentònica. Parlant en colors, a

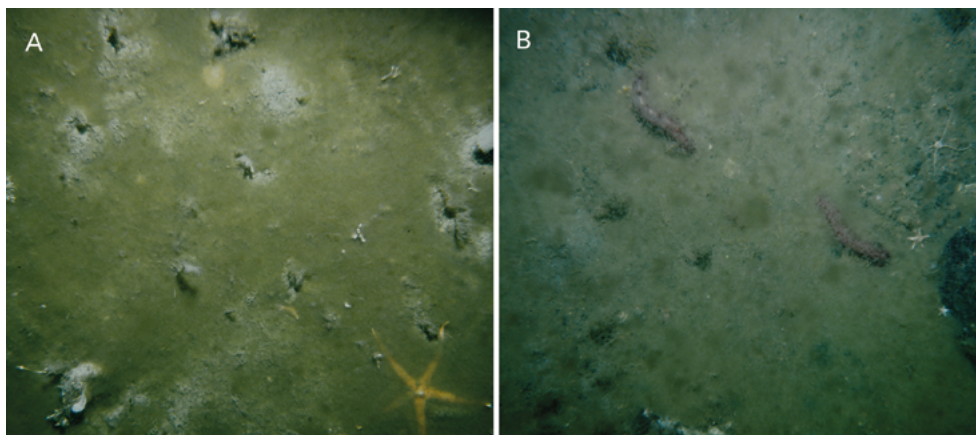


Figura 2. Estrella de mar (A) i holotúries (cogombres de mar) de punts vermells (B), gairebé coberts per una capa de material verd, dipositat després de la convergència entre un floriment de fitoplàncton i una tempesta de vent. L'àrea de la imatge per a les figures és d'aproximadament 1.5 m<sup>2</sup>.

la superfície del mar, el verd ha canviat pel blanc, i l'àrea multicolor ha decrescut en favor del marró en el fons del mar (Pineda-Metz *et al.* 2020). Allà, l'escalfament també contribueix a aquests canvis de color. L'ambient fred que va donar forma a les acolorides comunitats bentòniques, ara s'està escalfant, malgrat la seva ubicació a la plataforma continental a centenars de metres de fondària. Les intrusions d'aigua càlida des del talús continental més profund, exposen la vida a masses d'aigua que porten el càlid senyal antropogènic, amb conseqüències letals per organismes a qui els manca la capacitat evolutiva per a respondre a grans variacions tèrmiques (Isla and Gerdes 2019).

## De negre a blanc

Tots els patrons i processos descrits anteriorment en aquestes línies representen només alguns punts lluminosos en l'univers, vast i encara fosc, del desconegut sobre els ecosistemes marins antàrtics. Els esforços científics en marxa són prometedors. La cooperació internacional ha estat fonamental per a les activitats de recerca i de logística a l'Antàrtida i ha donat com a resultat avenços substancials cap a una millor comprensió del medi marí antàrtic i, tot contribuint a la biodiversitat mundial i als serveis ecosistèmics, també de l'oceà mundial. Malgrat tot, el temps corre en contra d'aquests esforços, l'escalfament global i la contaminació estan transformant ràpidament l'ambient abans que s'acabin d'en-

tendre completament molts processos biòtics i abiòtics. Algunes espècies es perdran, el paisatge marí canviarà, però vindran altres espècies i el paisatge marí serà diferent, hi haurà guanyadors i perdedors i els colors antàrtics seguiran canviant. Tanmateix, part de la nostra biblioteca natural s'està cremant i hem d'intentar salvar la major quantitat possible de llibres, i els seus colors, perquè la clau per comprendre el nostre oceà, està aquí. Més de quatre segles després de la reflexió de Sir Francis Bacon, ara el desafiament per a nosaltres és adquirir coneixement i utilitzar el seu poder per a convertir els «oceans que tenim» en els «oceans que volem».

## Referències

- Fuentes V., Alurralde G., Meyer B., *et al.* 2016. Glacial melting: an overlooked threat to Antarctic krill. *Sci. Rep.* 6: 27234.
- Gutt J., Isla E., Xavier J.C., *et al.* 2021. Antarctic ecosystems in transition - life between stresses and opportunities. *Biol. Rev.* 96: 798-821.
- Isla E., Gerdes D. 2019. Ongoing ocean warming threatens the rich and diverse microbenthic communities of the Antarctic continental shelf. *Progr. Oceanogr.* 178: 102180.
- Isla E., Gerdes D., Palanques A. *et al.* 2009. Downward particle fluxes, wind and a phytoplankton bloom over a polar continental shelf: a stormy impulse for the biological pump. *Mar. Geol.* 259: 59-72.
- Pineda-Metz S.A.E., Gerdes D., Richter C. 2020. Benthic fauna declined on a whitening Antarctic continental shelf. *Nature Comm.* 11: 2226.

DOI: <https://doi.org/10.20350/digitalCSIC/14068>

## 2.12. Restauració d'ecosistemes profunds del marge català

Jordi Grinyó, Maria Montseny, Patricia Baena, Stefano Ambroso, Andreu Santín, Marina Biel, Guillem Corbera, Janire Salazar, Josep-Maria Gili

La pesca és una de les activitats humanes amb un major impacte sobre els fons marins. Durant el segle passat la pesca es va expandir progressivament a aigües més profundes. En l'actualitat, gairebé totes les plataformes i talussos continentals del món han estat explotats. A les zones de pesca gestionades per la UE entre 200 i 1000 m de profunditat, s'estima que la pesca d'arrossegament de fons ha impactat entre el 2% i el 77% de la superfície (Eigaard *et al.* 2017). Conseqüentment, s'ha produït una degradació substancial d'ecosistemes marins vulnerables, que generalment alberguen organismes sèssils (organismes fixats al fons marí) estructurants. Aquests organismes es caracteritzen per tenir un creixement lent, ser molt longeus i presentar una estructura tridimensional complexa (morfologia arborescent, patrons de ramificació intrincats). Entre els diferents ecosistemes vulnerables trobem fons d'esponges, agregacions d'octocorals o esculls de corals d'aigües fredes que proporcionen hàbitat a una àmplia gamma d'espècies associades, moltes de les quals són explotades per flotes pesqueres. Cal destacar, els efectes adversos de la pesca d'arrossegament sobre aquests ecosistemes perquè són extremadament duradors. En aquest sentit, hi han ecosistemes vulnerables impactats per la pesca de ròssec on no s'han observat signes de recuperació inclús deu anys després d'haver finalitzat el ròssec (Clark *et al.* 2019).

La vulnerabilitat i baixa resiliència d'aquests ecosistemes profunds així com la necessitat de preservar els serveis de provisió que proporcionen, ja que actuen com a hàbitat, viver i lloc d'alimentació per a espècies de rellevància econòmica, ha promogut l'aplicació de diverses

mesures de gestió, com la restricció dels arts de contacte de fons o l'establiment de zones marines protegides en plataformes, talussos continentals o muntanyes submarines. Les mesures de conservació són crucials per a la preservació i recuperació ecològica del patrimoni natural i cultural. No obstant això, donada l'escala actual de degradació ambiental a la qual estan exposats els ecosistemes marins d'aigües profundes, la protecció per si sola pot resultar insuficient. Els ecosistemes del planeta necessiten actualment mesures actives de conservació i restauració que contribueixin a la recuperació ecosistèmica, tant en termes de biodiversitat com de serveis ecosistèmics.

### La restauració marina: una necessitat a l'alça a escala global

Des dels anys 90, coincidint amb el naixement de la Societat per a la Restauració Ecològica (SER), la pràctica de la restauració ecològica, com a part d'un conjunt més ampli de pràctiques de gestió ecosistèmiques dissenyades per a conservar els ecosistemes, està rebent una atenció mundial cada vegada major. A més, l'Assemblea General de les Nacions Unides ha proclamat el període comprès entre els anys 2021 i 2030 com la Dècada de la Restauració dels Ecosistemes, després d'una proposta d'acció de més de 70 països de tot el món (Waltham *et al.* 2020). Encara que durant els últims 20 anys la restauració dels ecosistemes marins ha augmentat substancialment a tot el món, la majoria de les accions de restauració fins avui s'han desenvolupat en ambients poc profunds,



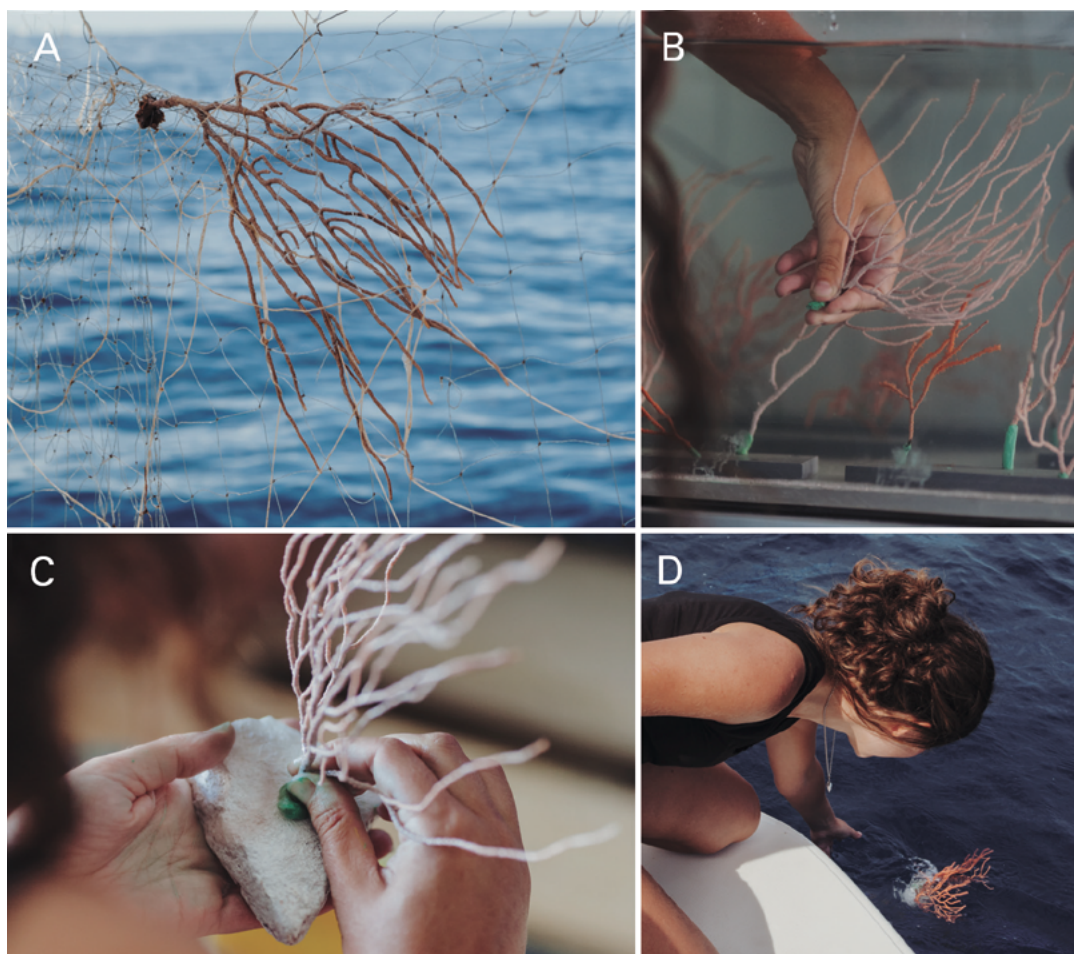


Figura 1. Passos seqüencials del «mètode de bàdminton». A, recuperació de la colònia d'*Eunicella cavolini* embullada en el tresmall; B, manteniment d'*E. cavolini* nubbins en aquaris; C, reacoblament d'*E. cavolini* nubbins a llambordes; D, l'hissat d'*E. cavolini* nubbins restaurats al mar. Fotos de Laia Sabaté.

centrant-se principalment en poblacions d'espècies estructurants (espècies que juguen un paper primordial en la formació d'un hàbitat) com, ostres, manglars, fanerògames marines, algues, gorgònies temperades i esculls de coral tropicals. A nivell mundial, només s'han realitzat set accions de restauració actives consistents en el trasplantament de nubbins (esqueixos) de diverses espècies de corals d'aigües fredes (per exemple, *Oculina varicosa*, *Desmophyllum pertusum*) i gorgònia (per exemple, *Paragorgia arborea*, *Viminella flagellum*, *Callogorgia verticillata*) en ambients intermedis (50-200 m de profunditat) i d'aigües profundes (>200 m de profunditat) (Montseny *et al.* 2020). A causa dels desafiaments tècnics i logístics i els alts

costos associats al treball en entorns d'aigües profundes, aquestes accions s'han desenvolupat generalment durant períodes breus (d'un a quatre anys) i cobrint àrees petites (2-20 m<sup>2</sup>).

### Els ecosistemes marins del Cap de Creus: laboratori per al desenvolupament de metodologies de restauració innovadores

Per a superar aquestes limitacions, al 2018, l'equip de «Ecologia i resiliència d'ecosistemes bentònics en un oceà canviant» de l'ICM va desenvolupar una nova tècnica de restauració rendible per a agregacions d'octocorals en entorns profunds, conegut com el «mètode de bàdminton».

ton» (figura 1). Aquesta tècnica de restauració consisteix en fixar organismes estructurants sèssils capturats accidentalment (per exemple, gorgònies, esponges, corals tous) a còdols i retornar-los a ambients profunds llançant-los suau-ment des d'un vaixell (Montseny *et al.* 2020). Des de 2018, aquest mètode ha permès restaurar 2.863 colònies de la gorgònia *Eunicella cavolini* en un entorn de plataforma continental (80-90 m de profunditat) amb una taxa de supervivència del 90% un any després del trasplantament. Actualment, aquesta metodologia també s'està provant per a recuperar poblacions d'altres organismes sèssils freqüentment impactats per flotes pesqueres artesanals en el Cap de Creus, com el coral tou *Alcyonium palmatum* i l'esponja de grans dimensions *Axinella polipoides*. L'èxit d'aquesta tècnica de restauració activa rendible posa en relleu la viabilitat de la restauració a gran escala de poblacions d'organismes estructurants impactats, amb resultats prometedors per a la conservació i recuperació d'ecosistemes bentònics d'aigües intermèdies o profundes. De fet, en un futur pròxim, està previst que aquest enfocament de restauració s'ampliï a diverses zones d'exclusió pesquera (zones on la pràctica pesquera està permanentment prohibida) en la plataforma i talús del marge català amb la finalitat de revertir el mal estat de conservació dels seus hàbitats bentònics, que s'han vist afectats

per les activitats pesqueres durant la major part del segle xx. Aquests esforços de restauració ajudaran a restablir serveis ecosistèmics, com l'increment de zones de cria i hàbitats de reproducció per a altres espècies associades (per exemple, peixos i decàpodes).

En general, després de ser restaurades de manera efectiva, aquestes àrees podrien actuar com a hàbitats d'origen promovent el spillover (migració d'organismes fora de la reserva) d'unes certes espècies als caladors adjacents, augmentant la biodiversitat de la plataforma continental catalana i potencialment ajudant a mantenir la viabilitat a llarg termini de les seves pesqueres.

## Referències

- Clark M.R., Bowden D.A., Rowden A.A., *et al.* 2019. Little evidence of benthic community resilience to bottom trawling on seamounts after 15 years. *Front. Mar. Sci.* 6: 1-16.
- Eigaard O.R., Bastardie F., Hintzen N.T., *et al.* 2017. The footprint of bottom trawling in European waters: distribution, intensity, and seabed integrity. *ICES J. Mar. Sci.* 74: 847-865.
- Montseny M., Linares C., Viladrich N., *et al.* 2020. A new large-scale and cost-effective restoration method for cold-water coral gardens. *Aquat. Conserv. Mar. Freshw. Ecosyst.* 30: 1-11.
- Waltham N.J., Elliott M., Lee S.Y., *et al.* 2020. UN decade on ecosystem restoration 2021-2030-What chance for success in restoring coastal ecosystems? *Front. Mar. Sci.* 7: 1-5.

DOL: <https://doi.org/10.20350/digitalCSIC/14069>

## 2.13. Pescadors i científics: sinergies per a l'ús, conservació i sostenibilitat del medi marí

Andreu Santín, Jordi Grinyó, Stefano Ambroso, Patricia Baena, Marina Biel, Guillem Corbera, Janire Salazar, Maria Montseny, Josep-Maria Gili

Durant els segles xx i xxi, la creixent demanda de recursos marins per part dels països mediterranis ha comportat un augment progressiu de la pressió pesquera. Com a conseqüència, tant els fons litorals com els de la plataforma continental mediterrània han sofert i sofreixen els impactes de la pesca d'arrossegament, i en menor mesura de la pesca artesanal amb palangre, tresmall de fons i altres arts de pesca menors (Grinyó *et al.* 2022, Demestre *et al.* 2022). En aquest sentit, i seguint les indicacions proposades per l'Estratègia Marina Europea, s'ha començat a delimitar un conjunt d'àrees especialment vulnerables on es pretén aplicar mesures de protecció per a la conservació dels seus fons (Llei 41/2010, de 29 de desembre, de protecció del medi marí; <https://www.boe.es/eli/es/l/2010/12/29/41>). En aquestes àrees es busca desenvolupar polítiques integrades per a promoure pràctiques de pesca sostenible que evitin la sobreexplotació dels recursos naturals i al mateix temps permetin mitigar els impactes que puguin produir-se sobre els hàbitats bentònics, que són aquells que es localitzen directament sobre el llit marí. En aquest sentit, tot i que en l'actualitat en la majoria de les àrees marines protegides continuen treballant-hi pescadors, només una minoria dels estudis científics i plans de gestió han integrat l'experiència i el coneixement dels pescadors sobre aquestes zones. Aquesta escassa implicació dels pescadors en l'elaboració de les diferents mesures de gestió sol generar un rebuig de les mateixes per part del sector pesquer, la qual cosa sovint comporta una

falta de motivació a l'hora d'implementar propostes per a conservar el medi marí i buscar una explotació més sostenible d'aquest.

### Primeres experiències: la pesca artesanal al Canal de Menorca

En aquest sentit, el grup de recerca en ecologia i resiliència dels ecosistemes bentònics de l'Institut de Ciències del Mar porta anys treballant per a aconseguir una major implicació i participació dels pescadors en projectes científics. A tall d'exemple, durant l'exploració del Canal de Menorca els pescadors artesanals de la zona van ajudar a identificar àrees d'elevada diversitat en la vora de la plataforma, inexplorades fins al moment, però conegudes des de feia dècades pels pescadors. En aquests fons es van trobar denses comunitats d'esponges i gorgònies de quilòmetres d'extensió, que podrien catalogar-se entre les millors conservades del mediterrani nord-occidental (Grinyó *et al.* 2018, Santín *et al.* 2018), descobrint-se en elles espècies noves per a la ciència. Al seu torn, en el Canal és habitual que en les xarxes dels pescadors artesanals s'embullin exemplars de diverses espècies de gorgònies (organismes colonials emparentats amb els corals) i sense interès comercial, que són retornades al mar de manera sistemàtica pels mateixos pescadors. Entre les gorgònies que capturen accidentalment, hi ha tant colònies arrencades del substrat com d'altres que surten fixades a còdols. Després d'una recerca conjunta amb els pescadors, es va poder constatar que



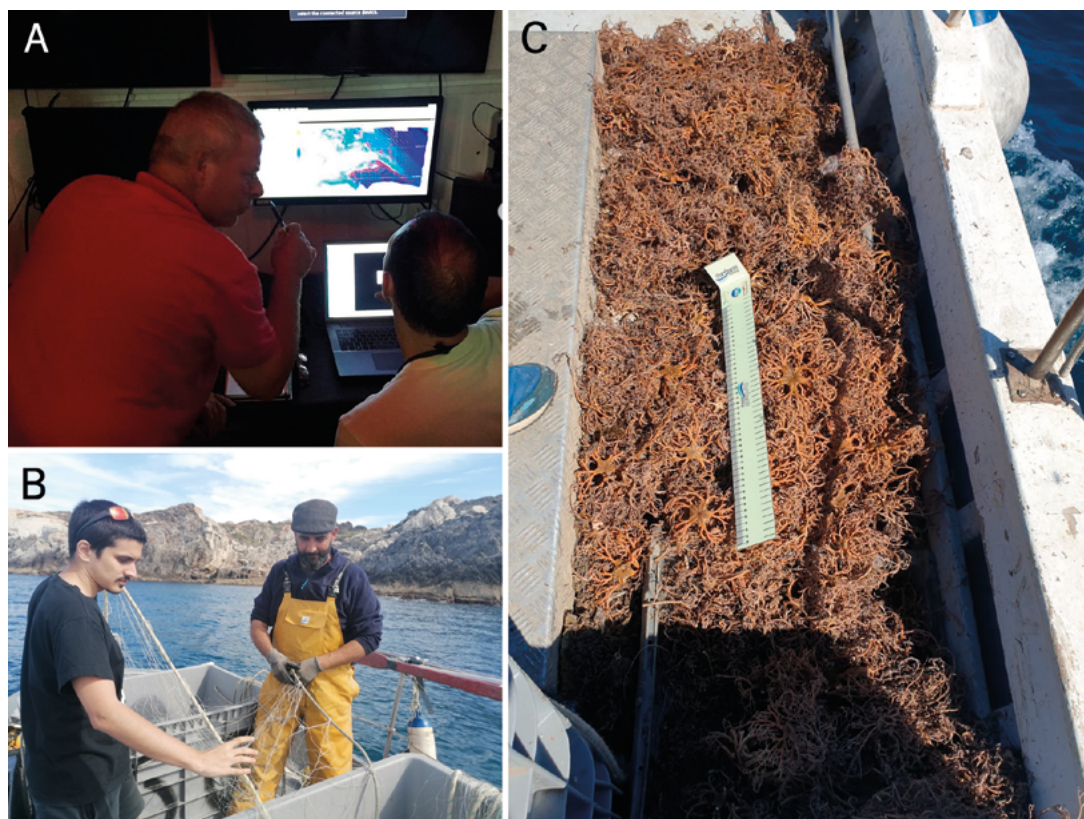


Figura 1. A, assessorament per part d'un pescador artesanal de Port de la Selva a l'equip científic del projecte MITICAP durant l'exploració dels caladors artesanals del Cap de Creus mitjançant ROV (Vehicle Operat per control Remot). B, col·laboració entre pescadors artesanals i científics en la preparació de xarxes de tresmall experimentals a bord d'una embarcació de pesca. C, centenars d'exemplars d'*Astrospartus mediterraneus* capturats accidentalment per tresmalls artesanals en una jornada de pesca.

la supervivència de les segones, amb còdols, és molt més elevada una vegada retornades al mar. Així doncs, basant-nos en el coneixement d'aquests pescadors menorquins, hem desenvolupat un mètode de restauració de gorgònies que porta ja anys aplicant-se de manera reeixida en la zona del Cap de Creus (Grinyó *et al.* 2022, Montseny *et al.* 2021).

### En l'actualitat: cap a un model de cogestió i conservació dels recursos pesquers

És precisament en l'àrea del Cap de Creus (el primer parc nacional maritimoterrestre de l'estat espanyol, recentment inclòs en la Xarxa Natura 2000), on se centren actualment els esforços del grup. En aquest sentit, durant el desenvolupa-

ment del projecte Life+ INDEMARES, es va poder comprovar que, en l'àrea marina del Cap de Creus, igual que ocorria en el Canal de Menorca, les zones millor conservades eren aquelles que resultaven inaccessibles per a la pesca d'arrossegament i que només eren freqüentades per la flota artesanal (Gili *et al.* 2011). No obstant això, encara que la pesca artesanal genera un impacte menor, aquest continua existint. Així doncs, s'ha iniciat una estreta col·laboració amb els pescadors artesanals de les confraries de Port de la Selva i Cadaqués, amb l'objectiu de comprendre millor les seves tècniques, potenciar aquest tipus de pesca enfront d'altres més destructives i mitigar els impactes generats per la pesca artesanal en la zona (figura 1A). Aquesta mitigació consisteix en la modificació de les àrees habituals de calat, la selecció de diferents arts



de pesca amb base en els diferents hàbitats que alberga cada calador, així com en mesures per a disminuir la pesca fantasma (captura d'organismes marins per arts de pesca perduts i/o extraviat; figura 1B). D'altra banda, aquests pescadors capturen de manera accidental espècies d'elevat interès científic, havent ajudat a detectar per primera vegada la presència de la gorgònia *Spinimuricea klavereni* en les costes catalanes (Yokes *et al.* 2018). Una altra important contribució per part dels pescadors va ser la detecció d'un augment en la població de *Astrospartus mediterraneus* (un ofiuroidiu emblemàtic del Mediterrani considerat rar o poc abundant), que havia passat inadvertit per al col·lectiu científic (figura 1C). El notable increment d'aquest equinoderm perjudicava el sector, implicant un augment considerable de les hores de neteja de xarxes. No obstant això, la comunicació entre pescadors i científics va permetre analitzar el problema des d'una perspectiva ecològica, la qual cosa va contribuir a augmentar la confiança dels pescadors i la seva voluntat de col·laborar amb el personal científic.

La comunitat científica està fent grans esforços per a acostar la ciència a la societat. Per a revertir el model de pesca extractiva no sostenible que impera en la societat actual, es necessita generar una gran complicitat entre tots els actors implicats. Per això, generar un model de cooperació estreta entre personal científic i pescadors és imprescindible per a aconseguir un canvi de paradigma en l'explotació dels recursos pesquers

que permeti secundar i potenciar pràctiques i sectors més sostenibles com la pesca artesanal.

## Referències

- Demestre M., de Juan S., Garcia-de-Vinuesa A. 2022. Integritat ecològica dels fons marins: conciliar conservació i explotació. A: Pelegrí J.L., Gili J.M., Martínez de Albéniz M.V. (eds.), L'oceà que volem: ciència oceànica inclusiva i transformadora. Institut de Ciències del Mar, CSIC. Barcelona. pp. 68-70.
- Gili J.M., Madurell T., Requena S. *et al.* 2011. Caracterización física y ecológica del área marina del Cap de Creus. Informe final área LIFE+ INDEMARES (LIFE07/NAT/E/000732). Institut de Ciències del Mar-CSIC (Barcelona). Coordinación: Fundación Biodiversidad, Madrid, 272 pp.
- Grinyó J., Gori A., Greenacre M., *et al.* 2018. Megabenthic assemblages in the continental shelf edge and upper slope of the Menorca Channel, Western Mediterranean Sea. *Prog. Oceanogr.* 162: 40-51.
- Grinyó J., Montseny M., Ambroso S., *et al.* 2022. Restauració d'ecosistemes profunds del marge català. A: Pelegrí J.L., Gili J.M., Martínez de Albéniz M.V. (eds.), L'oceà que volem: ciència oceànica inclusiva i transformadora. Institut de Ciències del Mar, CSIC. Barcelona. pp. 74-76.
- Montseny M., Linares C., Viladrich N., *et al.* 2021. Involving fishers in scaling up the restoration of cold-water coral gardens on the Mediterranean continental shelf. *Biol. Conserv.* 262: 109301.
- Santín A., Grinyó J., Ambroso S., *et al.* 2018. Sponge assemblages on the deep Mediterranean continental shelf and slope (Menorca Channel, Western Mediterranean Sea). *Deep Sea Res. Part I Oceanogr. Res. Pap.* 131: 75-86.
- Yokes M.B., Andreou V., Bakiu R., *et al.* 2018. New Mediterranean Biodiversity Records (November 2018). *Mediterr. Mar. Sci.* 19: 673-689.

DOI: <https://doi.org/10.20350/digitalCSIC/14070>

## 2.14. Observant des de la distància: noves tecnologies per a una millor gestió de l'oceà

Francisco Ramírez, Isabel Afán, Nixon Bahamon, Marta Coll, Joan Giménez, Joan Navarro, Jeroen Steenbeek

Els oceans cobreixen aproximadament el 71% de la superfície de la Terra, representen el 97% de l'espai habitable del planeta, i allotgen entre 500.000 i 10 milions d'espècies marines. Els oceans són també una incalculable font de beneficis per als humans, oferint-nos múltiples serveis ecosistèmics: constitueixen una de les principals fonts d'aliments i juguen un paper fonamental en el cicle del carboni i en la regulació del clima. Malgrat la seva importància en el manteniment de la vida i el benestar humà, els oceans es troben entre els biomes de la Terra més complexos, desconeguts i impactats per la pressió del clima i les activitats humanes.

Els oceans són uns dels principals embornals de l'excés de CO<sub>2</sub> i calor de l'atmosfera, la qual cosa té conseqüències sobre els patrons climàtics, la productivitat marina, les interaccions tròfiques i la seguretat alimentària. Simultàniament, l'activitat pesquera imposa una excessiva pressió sobre els ecosistemes marins, ja que aproximadament el 94% dels recursos pesquers a nivell global estan sent explotats a nivells insostenibles (Organització de les Nacions Unides per a l'Agricultura i l'Alimentació –FAO– 2020). Els impactes del clima i la pesca poden interactuar, de manera sinèrgica, ocasionant que les comunitats marines siguin més sensibles al canvi climàtic i a altres impactes humans directes (per exemple, a la contaminació i la degradació o destrucció dels hàbitats marins).

La nostra capacitat per a poder realitzar un monitoratge regular sobre l'estat dels ecosistemes marins i sobre les pressions o impactes

ambientals que actuen sobre ells, és clau a l'hora de desenvolupar estratègies efectives de gestió dirigides a promoure la conservació dels oceans, així com a l'ús sostenible dels seus recursos. No obstant això, aquestes pressions, igual que els organismes marins, es distribueixen de manera heterogènia en l'aparent continuïtat de l'hàbitat oceànic (Ramírez *et al.* 2017; figura 1), la qual cosa dificulta un seguiment efectiu tant dels impactes com dels serveis ecosistèmics que es veuen alterats.

**Com podem observar, mesurar i avaluar aquests impactes en un ecosistema tan complex, remot i extens com és l'oceà?**

Afortunadament, els recents avenços en diferents tecnologies d'observació remota han revolucionat la forma en la qual podem monitorar la Terra, estudiar les pressions humanes i observar als organismes en el seu medi natural. Aquests avenços permeten obtenir informació sobre característiques ambientals i biològiques clau a una alta resolució espacial i temporal mitjançant l'ús de sensors que es distribueixen per l'espai, a bord de plataformes satel·litàries o aèries, o la terra i el mar. Aquests sistemes d'observació són particularment útils en el cas dels oceans, ja que poden monitorar qualsevol racó del món, des de les zones més costaneres i accessibles fins a les àrees més remotes on l'observació tradicional és difícil. A més, permeten obtenir informació sobre els canvis en el medi produïts per les acti-

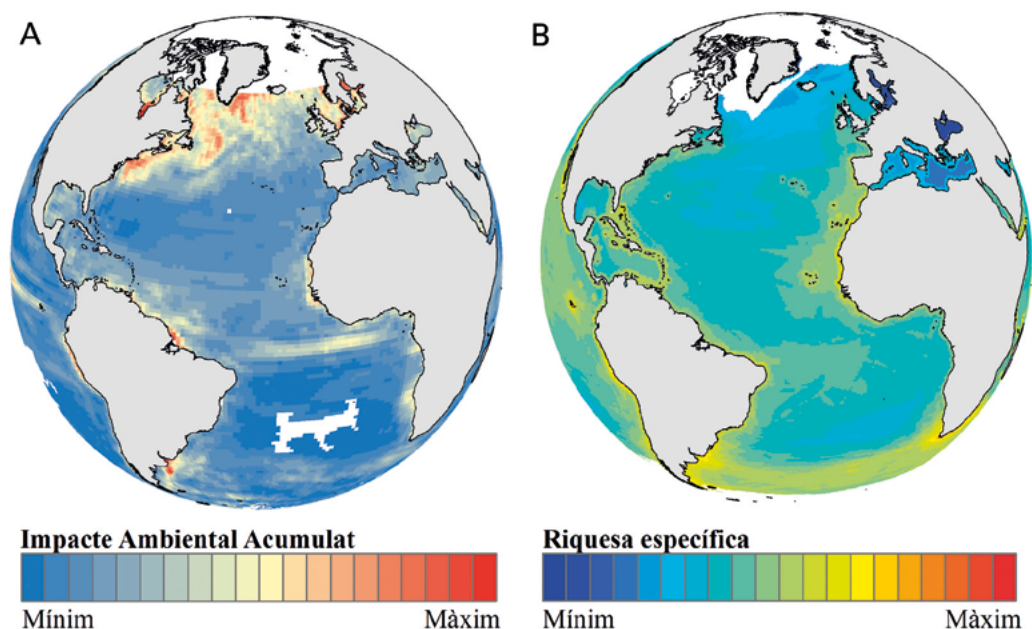


Figura 1. Els canvis ambientals provocats pel clima es distribueixen espacialment de manera heterogènia pels oceans, igual que els organismes marins. En aquesta figura identifiquem àrees marines que estan molt afectades per canvis igualment ponderats en la temperatura de la superfície del mar, les concentracions de clorofil·la *a* i els corrents oceànics (A); i punts calents de biodiversitat marina basada en la distribució equitativa d'espècies de peixos (1729), mamífers marins (124) i ocells marins (330) (B) [dades proporcionades per UICN ([www.iucnredlist.org](http://www.iucnredlist.org)) i BirdLife International ([www.birdlife.org](http://www.birdlife.org))]. Figures modificades de Ramírez *et al.* (2017).

vitats humanes i els desplaçaments dels organismes marins a través de dispositius de seguiment adaptats als diferents grups animals.

Les aplicacions ecològiques i ambientals que poden derivar de la utilització d'aquesta mena d'informació inclouen el monitoratge a llarg termini de variables ambientals, la identificació d'àrees marines afectades pel clima i els impactes antròpics i, quelcom molt important, l'avaluació de les respostes dels organismes marins enfront d'aquests canvis. Per exemple, l'ús de radars satel·litaris i imatges de teledetecció de llums nocturnes artificials, especialment quan es complementen amb tècniques de modelatge basades en Sistemes d'Identificació Automàtica (AIS, per les seves sigles en anglès) o Sistema de Monitoratge d'Embarcacions (VMS, per les seves sigles en anglès), pot proporcionar-nos informació detallada sobre la distribució de les pesqueres, (incloses les il·legals, no declarades i no reglamentades –IUU–, per les seves sigles en anglès), que d'una altra forma són molt difícils de localitzar. De manera similar, informació sobre el trànsit marítim i altres activitats o instal·lacions humanes que puguin tenir un impacte

potencial en la vida marina es pot obtenir de manera pràcticament immediata de qualsevol part del món.

Altres usos de les imatges de teledetecció satel·litària i de les observacions *in situ* obtingudes a través de xarxes mundials de boies de deriva o d'estudis oceanogràfics inclouen la seva integració en models físics i biogeoquímics. Aquests models constitueixen un enfocament prometedori a l'hora de monitorar els ecosistemes marins, tant en superfície com en profunditat a temps real. El seu ús ens ajuda a avaluar els impactes ambientals provocats pel clima, comprendre les interaccions oceà-atmosfera i millorar els pronòstics oceànics i climàtics quan s'interconnecten amb models que representen components més complexos de la vida marina.

També s'han produït grans avenços en la forma en què els científics rastregen i monitoren els organismes vius en la naturalesa, juntament amb l'entorn en el qual habiten, a través de dispositius de seguiment col·locats directament sobre els animals (el que en anglès es coneix amb el



**Figura 2.** Els recents i ràpids avenços en dispositius de seguiment remot col·locats directament sobre els animals han revolucionat la forma en què els científics rastregen i monitoren el comportament natural dels animals, juntament amb les característiques físiques del seu entorn. En aquesta figura es mostren alguns d'aquests dispositius de seguiment aplicats a una àmplia gamma d'espècies: des del petit escamarlà (*Nephrops norvegicus*) fins al gran catxalot (*Physeter macrocephalus*). Les imatges han estat proporcionades pels autors, per CIRCE (Conservació, Informació, Estudi de Cetacis; orca i catxalot) i per Mark Jessopp-UCC (University College Cork; foca grisa).

terme 'bio-logging', Ropert-Coudert i Wilson 2005). Aquests dispositius inclouen transmissors acústics, GPS miniaturitzats, així com càmeres i sensors multiparamètrics, i permeten als científics obtenir, de manera remota, mesures quantitatives complexes sobre la localització, el comportament natural dels animals, així com sobre les característiques físiques del seu entorn. Aquest tipus d'informació permet aprofundir, de manera inimaginable fins avui, en el nostre coneixement sobre la biologia, l'ecologia i el comportament de diferents espècies: des d'invertebrats marins fins a taurons, tortugues, ocells i grans mamífers marins (figura 2). També ofereix noves capacitats per a observar l'oceà, les condicions ambientals dinàmiques i les interaccions amb els humans i, cosa que és més important, les conseqüències d'aquestes interaccions en els individus i les poblacions (Roquet *et al.* 2017).

## Cap a una millor gestió i conservació dels sistemes marins

La combinació de les dades de seguiment remot d'animals amb observacions ambientals tant remotes com *in situ* permet identificar àrees marines claus (per exemple, punts calents de biodiversitat) que (i) han de ser prioritzades des del punt de vista de la seva conservació per estar particularment impactades pel clima i les pressions humanes, o (ii) poden actuar com a «refugis climàtics» per ser potencialment més resilients al canvi climàtic. Els animals marcats també poden ajudar a monitorar la salut dels oceans, ja que poden integrar processos complexos i interaccions tròfiques en un nombre reduït de senyals accessibles i relacionats amb canvis en el seu comportament, distribució, fenologia o estratègies d'alimentació (Giménez *et al.* 2022).



És important destacar que, des dels ocells marins més petits fins als taurons i balenes de major grandària, els animals marins monitorats més activament són espècies carismàtiques amb les quals les persones poden identificar-se (Giménez *et al.* 2022). Això té implicacions importants en els processos de gestió i conservació dels hàbitats. Establir mesures de protecció per a les espècies i els recursos marins no sols implica mediar en el conflicte entre l'ús de recursos i la protecció marina; també comporta l'intentar aprofundir en la capacitat de les persones per a connectar amb les espècies i el medi en el qual habiten (Simaika i Samways 2010). En conseqüència, aquestes espècies tenen el potencial d'actuar com a «ambaixadors», exercint un paper vital en l'educació ambiental per a ajudar a explicar els problemes ambientals al públic en general, i així involucrar als ciutadans i les autoritats en la conservació i protecció del medi marí. En protegir aquestes espècies, també podem protegir els seus hàbitats i, indirectament, altres espècies que viuen en les seves comunitats ecològiques.

Les noves tecnologies de teledetecció i seguiment remot ens estan proporcionant noves

maneres d'observar els oceans. El major desafiament que tenim davant nostre és com fer el millor ús possible d'aquesta informació a l'hora de superar alguns dels principals desafiaments de conservació que tenim per davant.

## Referències

- FAO 2020. The State of World Fisheries and Aquaculture. Sustainability in action. Rome, Italy.
- Giménez J., Ramírez F., Coll M., Navarro J. 2022. Carismàtics, amenaçats i desconeguts: depredadors marins a l'Antropocè. A: Pelegrí J.L., Gili J.M., Martínez de Albéniz M.V. (eds.), *L'oceà que volem: ciència oceànica inclusiva i transformadora*. Institut de Ciències del Mar, CSIC. Barcelona. pp. 65-67.
- Ramírez F., Afán I., Davis L.S., Chiaradia A. 2017. Climate impacts on global hot spots of marine biodiversity. *Sci. Adv.* 3: e1601198.
- Ropert-Coudert Y., Wilson R.P. 2005. Trends and perspectives in animal-attached remote sensing. *Front. Ecol. Environ.* 3: 437-444.
- Roquet F., Boehme L., Fedak M., *et al.* 2017. Ocean observations using tagged animals. *Oceanography* 30: 139-139.
- Simaika J.P., Samways M.J., 2010. Biophilia as a universal ethic for conserving biodiversity. *Conserv. Biol.* 24: 903-906.

DOI: <https://doi.org/10.20350/digitalCSIC/14071>

## 2.15. Cap a un transport marítim renovable per a un oceà resilient i saludable

Jordi Solé, Antonio García-Olivares

El transport marítim és un dels modes de transport més contaminants, no només pel que fa a les seves emissions de gasos d'efecte hivernacle sinó també per la gran pol·lució que genera comparada amb d'altres modes de transport. A més, el transport marítim presenta altres impactes com: col·lisions amb mamífers, contaminació per fuites de petroli o carburants, abocament de residus o aigua de sentina i contaminacions de les aigües dels ports per l'aigua de llast. S'estima que les emissions per transport marítim són un 2,2% de les emissions (per activitat humana) totals al 2012 i es preveu que incrementin entre un 50 a un 250% si no es prenen accions (Rahim *et al.* 2016). Per altra banda el transport marítim és clau en l'economia global ja que representa entre un 80 i un 90% del comerç mundial (Balcombe *et al.* 2019).

### Avaluant els impactes del transport marítim

Per tant, tenint en compte els impactes introduïts anteriorment, i en el fet que el transport marítim sigui essencial i al mateix temps un dels modes de transport de més emissions, cal que faci una transició a un model basat en energia renovable. Per això és necessari fer una avaluació de les implicacions d'aquest canvi i del cost de fer-lo. Per altra banda, una economia renovable necessita d'una transformació global del transport que, al seu torn, necessita canvis estructurals de la logística del sector. Per considerar aquesta transformació, cal tenir en compte indicadors geofísics (com les reserves disponibles de qualsevol material o font energètica), la limitació de minerals (bateries, cablejat, motors,

etc.) i el re-disseny de les xarxes de transport, a més d'una reducció dels modes de transport privat per carretera i del transport aeri i marítim. En aquest article, prenem com a referència dos treballs (García-Olivares *et al.* 2018, 2020) que es van desenvolupar en el marc del projecte ME-DEAS ([www.medeas.eu](http://www.medeas.eu)) (en el qual es va desenvolupar un model de simulació per explorar les diferents alternatives futures per a dissenyar una socioeconomia baixa en emissions i basada en energies renovables) i avaluem els costos de substitució de la flota existent a l'any 2016 si canviem tots els vaixells existents per d'altres amb tecnologia no fòssil.

### Algunes estimacions

La metodologia que utilitzem considera la intensitat energètica ([https://en.wikipedia.org/wiki/Energy\\_intensity](https://en.wikipedia.org/wiki/Energy_intensity)) per avaluar aquests costos. La intensitat energètica d'un sector econòmic és l'energia emprada per generar una unitat de PIB, per tant, el que ens dona és energia (Joules) per dòlar (o euro). Amb la intensitat energètica i el cost estimat dels nous vaixells obtenim un cost energètic (en Joules) de transformar tota la flota considerada. El cost (energètic) avaluat aquí es centra en el reemplaçament de cada mode de transport per alternatives renovables i no té en compte diversos factors que s'haurien de considerar en una anàlisi més detallada. És doncs un exercici de mínims que posa en evidència que les inversions plantejades actualment són totalment insuficients i vol ser un avís a navegants en el futur: si assumim la possibilitat de substitució i en calculem tot el cost, caldrà afegir a aquest cost el de la generació

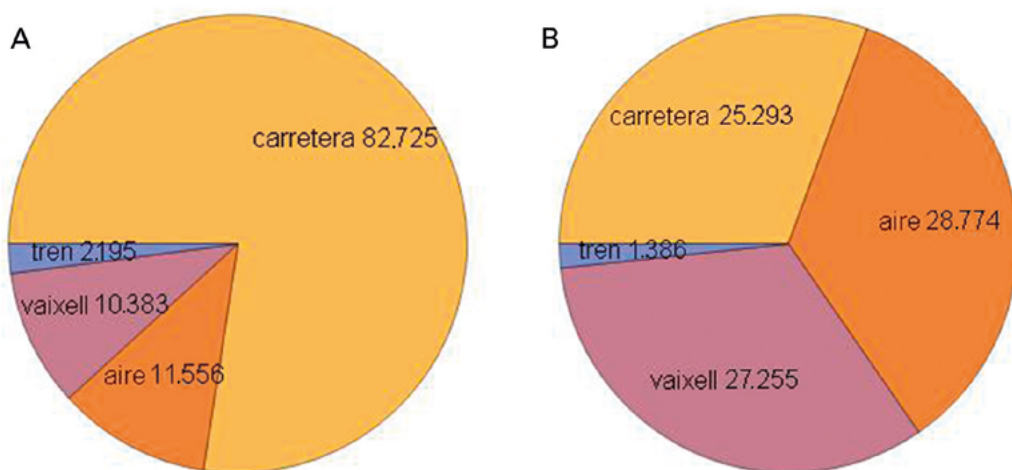


Figura 1. Proporció i energia (en PJ) requerida per cada mode de transport: A, situació actual; B, després de la transició renovable. Com es veu el transport renovable requerirà menys energia total i el transport marítim en particular creix en els seus requeriments energètics tot i reduir-lo a la meitat.

elèctrica, infraestructura energètica, manteniment, etc., tot això en un present/futur amb menys potència disponible per la disminució de la producció de combustible fòssil.

En el cas de la flota marítima total cal descomptar-hi els petroliers actuals (ja que en una economia sense la necessitat de recursos fòssils deixarien de tenir sentit) i fer els càlculs mantenint els altres vaixells mercants i de passatgers. Tenint en compte això, substituir la flota actual per una de renovable, produeix un increment en el consum d'energia del transport marítim del 163%. Aquest increment ve de la impossibilitat, amb les tecnologies actuals, d'electrificar-lo, és a dir, caldria mantenir aquest transport en sistemes de combustió però, en aquest cas, produint gas natural a partir de l'electricitat per alimentar els motors de vaixells, la qual cosa suposa forts augments de preus i la disminució del transport intercontinental, cosa que pot produir una reubicació de l'activitat econòmica. Per tant, a banda de l'ús de cèl·lules de combustible i de metà, cal reorganitzar i reduir el trànsit marítim ja que actualment el transport de mercaderies és un dels majors consumidors de combustibles fòssils i, tal com hem mencionat en la introducció, és molt contaminant tant pel que fa als pol·luents, tant a l'aire com a l'aigua. Atesa la manca actual d'infraestructures portuàries per emmagatzemar

metà o hidrogen, en les pròximes dècades, pot ser necessari un ús més gran dels biocombustibles per mitigar la petjada de carboni d'acord amb les recomanacions de l'IPCC. No obstant això, en una economia 100% renovable, la construcció d'aquestes infraestructures i l'ús de metà o hidrogen seria una opció més econòmica i estalviarien una quantitat important d'energia. Per contra, si ens fixem en l'opció amb menys pèrdua energètica cal descartar per utilitzar de forma massiva, amb les tecnologies actuals, els biocombustibles. Així doncs, com a hipòtesi, assumim que el metà seria el principal combustible per la flota marina en el futur (cal afegir que reduir la velocitat del transport marítim de mercaderies suposaria un estalvi important d'energia). Mantenint doncs els mateixos serveis que a l'any 2016, la transició del transport marítim requeriria el 2,9% de l'energia embeguda total per fer tota la transició a un transport renovable. En la figura 1 tenim representada la proporció i quantitat d'energia (en Peta Joules, PJ) necessària del transport actual (figura 1A) i la que requeriria després de la transició renovable (figura 1B).

### En poques paraules...

Si ens centrem només en el cas de la UE, el cost energètic de la transició del transport marí-

tim seria 3,5% del total de l'energia embeguda pel canvi renovable en tots els modes de transport. El total per a aquest any (2016) d'energia consumida pel transport va ser de 106.859 PJ, en un sector aproximadament equivalent però renovable seria de 82.708 PJ, un 23% menys, aproximadament (gràcies a l'estalvi en el transport per carretera). Però l'alt consum energètic de vaixells i avions en una economia renovable pressionaria cap a una reducció de la intensitat d'aquestes classes de transport, d'aproximadament un 50%. Aquest 23% de reducció del consum d'energia per tots els modes de transport, cal emmarcar-lo dins d'una reducció i transformació dels modes de transport, per tant, tot i que pugui semblar petit implica una reducció de la meitat de la flota actual. Aquesta transformació del transport cal que vagi acompanyada no només d'una transició de tots els modes sinó també de canvis socioeconòmics profunds. Cal anar a una economia que superi la necessitat del

creixement indefinit, tenint en compte un futur immediat amb seriosos problemes d'accés a recursos materials i amb un medi ambient amb amenaces creixents pel que fa, entre d'altres, a la pol·lució, la conservació dels ecosistemes i el canvi climàtic.

## Referències

- Balcombe P., Brierley J., Lewis C., *et al.* 2019. How to decarbonise international shipping: Options for fuels, technologies and policies. *Energy Convers. Manage.* 182: 72-88.
- García-Olivares A., Solé J., Osychenko O. 2018. Transportation in a 100% renewable energy system. *Energy Convers. Manage.* 158: 266-285.
- García-Olivares A., Solé J., Samsó R., Ballabrera-Poy J. 2020. Sustainable European Transport System in a 100% Renewable Economy. *Sustainability* 12: 5091.
- Rahim M.M., Islam T., Kuruppu S. 2016. Regulating global shipping corporations' accountability for reducing greenhouse gas emissions in the seas, *Mar. Policy* 69: 159-170.

DOI: <https://doi.org/10.20350/digitalCSIC/14072>



## 2.16. Adaptant les platges per al futur

Jorge Guillén, Ruth Durán, Gonzalo Simarro

El litoral Mediterrani espanyol té una longitud total aproximada de 3.000 km (incloent-hi les illes) i es caracteritza per una gran diversitat geomorfològica, entre la qual destaquen més de 750 km de platges de sorra. La configuració i problemàtica actual del sistema costaner s'explica fonamentalment per la intervenció humana en el medi natural que es va intensificar des de mitjan segle xx, amb la regulació de les conques hidrogràfiques, l'explosió demogràfica i el turisme massiu en la zona costanera. Les conseqüències d'aquesta transformació sobre el medi físic litoral van ser la disminució de l'aportació de sediment per part dels rius al medi marí, canvis en la redistribució del sediment i l'ocupació urbanística d'una part important de la platja emergida. Aquests canvis induïts per les activitats humanes han ocasionat un augment considerable dels riscos (erosió, inundació) en el litoral durant les últimes dècades i una pèrdua continuada de la superfície emergida de les platges que, al seu torn, ha provocat un increment considerable de les obres de protecció costanera. Superposats a aquests processos, cada vegada tenen més importància per a l'ecosistema litoral les variacions lligades al canvi climàtic (temperatura de l'aigua, nivell del mar, temporals, riudes sobtades, etc.) que augmentaran els riscos en la zona litoral i produiran (de fet, ja estan produint) una erosió generalitzada de les platges en un futur pròxim. A escala mundial s'ha estimat la desaparició de més del 50% de les platges actuals per a l'any 2100 a conseqüència de la pujada del nivell del mar (Voudoudoukas *et al.* 2020).

### Canvis de la línia de riba i monitoratge

En definitiva, hi ha evidències que en un termini de temps relativament curt (unes dècades),

el litoral tal com el coneixem ara canviarà, per la qual cosa existeix la necessitat de dissenyar «un nou litoral» que pugui adaptar-se davant els canvis previstos seguint unes pautes assumibles per a la societat. Sense descartar cap de les opcions possibles en les estratègies d'adaptació, sembla raonable potenciar aquelles que inclouen solucions basades en la naturalesa, perquè prioritzen la sostenibilitat de l'ecosistema marí i presumiblement tindran un cost menor per a les futures generacions. Aquesta estratègia, amb una visió a llarg termini, ha de ser multidisciplinària i transversal, considerant tots els aspectes ambientals que puguin ser incorporats conjuntament amb els socials i urbanístics. Per a això, es precisa l'obtenció de dades contínues i de qualitat de paràmetres d'interès (per exemple, l'evolució morfològica de les platges, la freqüència i intensitat de temporals, etc.) i, més important, del tractament d'aquestes dades per a donar una visió actualitzada a cada moment de l'estat de la costa i la seva planificació amb criteris mediamambientals.

El Grup de Processos Sedimentaris Oceànics i Litorals de l'Institut de Ciències del Mar-CSIC de Barcelona va iniciar en els anys vuitanta els seus estudis sobre la dinàmica sedimentària del litoral català i sobre l'estimació i distribució de les aportacions de sediment que rep el medi marí. Progressivament s'han anat incorporant noves metodologies observacionals com el vídeo monitoratge de la zona costanera (figura 1), la utilització de trípodos en el fons marí, ancoratges instrumentats per a la presa de dades (velocitat del corrent, concentració de sediment en suspensió) o la incorporació de la ciència ciutadana (projecte CoastSnap) a aquests estudis. L'experiència del Grup en la presa de dades, però, sobretot, en la seva interpretació, definició



Figura 1. Platges de Barcelona (esquerra) i Castelldefels (dreta) una setmana abans (a dalt), durant (centre) i una setmana després (a baix) del temporal Gloria de gener de 2020. Aquest temporal ha estat el més extrem mai registrat en la costa catalana. Imatges preses des de les estacions de vídeo monitoratge de l'ICM-CSIC ([coo.icm.csic.es](http://coo.icm.csic.es)).

i la catalogació de paràmetres d'interès (Durán *et al.* 2016), permet oferir a la societat un coneixement científic consolidat per a l'avaluació d'impactes i predicció del comportament futur dels ecosistemes costaners.

L'objectiu general de l'estratègia d'adaptació litoral és valorar si és factible mantenir (o fins i

tot millorar) la funcionalitat de les platges com a protecció de la costa enfront de temporals, hàbitat i usos socials a llarg termini i plantejar quines serien les principals línies d'actuació per a aconseguir-ho. Aquestes línies d'actuació han de considerar un futur més sostenible en relació a l'ús de les platges, que inclou, per exemple,

disminuir les necessitats de sorra per a la regeneració artificial i reduir els impactes negatius dels temporals; millorar la qualitat de l'aigua i el sediment; minimitzar els costos de manteniment; etc. Tot això en un escenari on les necessitats de la pràctica totalitat de les platges entraran en mútua competència i on serà necessària una coordinació general (incloent-hi un pla integral de gestió dels sediments) per a optimitzar els recursos disponibles. En definitiva, aquesta adaptació de les platges, que haurà d'afrontar-se durant les pròximes dècades, precisa d'una inversió econòmica considerable, que pot comportar la necessitat de renunciar a determinades platges, i haurà de realitzar-se tractant de no hipotecar més a les futures generacions per a evitar que en el futur l'accés lúdic a la platja sigui un «article de luxe».

## Identificar estratègies d'adaptació

Per a construir una alternativa més sostenible, a curt termini se suggereixen dues línies d'actuació complementàries entre si: a) millorar i afegir estructures de protecció versàtils, escalables i que puguin ampliar-se amb facilitat en funció de les necessitats a les platges on són imprescindibles (camps de dunes, regeneracions artificials, dics de protecció, ...); i b) potenciar les actuacions tipus «platja intel·ligent» que consisteixen en l'optimització de la gestió basada en el coneixement detallat dels recursos disponibles i plantejar mesures que permetin reduir els danys dels temporals, optimitzar l'ús de les sorres i anticipar les actuacions als futurs problemes. En aquest sentit, l'ús d'eines d'observació com el vídeo monitoratge ha demostrat ser de gran utilitat en la gestió de platges (Simarro *et al.* 2020), i s'ha aplicat amb èxit durant les dues últimes dècades a la ciutat de Barcelona (Ojeda i Guillén 2008).

A més llarg termini, què passarà si ocorren temporals extrems com l'ocorregut al gener 2020 (temporal «Gloria») cada dos o tres anys com indiquen les previsions per a mitjans del segle XXI? Dificilment es podrà mantenir la mateixa configuració de les platges que en l'actualitat: la cota d'inundació pujarà i els impactes

destructius de l'onatge afectaran zones fins ara protegides. A una escala temporal de dècades s'ha d'iniciar una política urbanística i de gestió del territori per a ampliar la zona maritimoterrestre i incorporar a la platja una zona interior amb una extensió suficient que serveixi d'acomodació a l'erosió i la inundació durant esdeveniments d'alta energia (dunes artificials que faciliten l'adaptació i protecció, àrees capaces d'absorbir inundacions, etc.). En aquest sentit, com més «natural» sigui una platja amb més facilitat podrà adaptar-se a les noves condicions. Quan guanyar espai per a la platja no sigui una alternativa possible (com ocorre en moltes platges urbanes), es podrà plantejar el projectar noves estructures de protecció i grans regeneracions artificials de sorra.

En resum, la humanitat ha estat capaç de gaudir del contacte amb el mar de moltes maneres diferents i s'ha adaptat molt ràpidament als canvis que s'han anat produint al llarg de la història. La nostra adaptació als diferents usos és molt més fàcil que la pròpia adaptació geomorfològica de la costa. Per això, mantenir els aspectes lúdics de la platja no ha de ser el nostre objectiu essencial en el disseny de les nostres platges del futur, sinó que sembla més adequat prioritzar l'anar cap a una costa segura, ambientalment saludable i sostenible.

Agraïments: Aquest treball s'ha realitzat en el marc del projecte de recerca MOCCA (RTI2018-093941-B-C32) finançat pel Ministeri de Ciència i Innovació.

## Referències

- Durán R., Guillén J., Ruiz A., Jiménez J.A., Sagristà E. 2016. Morphological changes, beach inundation and overwash caused by an extreme storm on a low-lying embayed beach bounded by a dune system (NW Mediterranean). *Geomorphology* 274: 129-142.
- Ojeda E., Guillén J. 2008. Shoreline dynamics and beach rotation of artificial embayed beaches. *Mar. Geol.* 253: 51-62.
- Simarro G., Calvete D., Souto P., Guillén J. 2020. Camera calibration for coastal monitoring using available snapshot images. *Remote Sens.* 12: 1840.
- Vousdoukas M.I., Ranasinghe R., Mentaschi L., Plomaritis T.A., Athanasiou P., Luijendijk A., Feyen L. 2020. Sandy coastlines under threat of erosion. *Nature Clim. Chang.* 10: 260-263.

DOI: <https://doi.org/10.20350/digitalCSIC/14073>







# 3. Oceà productiu

Mercedes Blázquez, Laura Arin, Blanca Figuerola

Els oceans constitueixen una important font d'aliment per a la humanitat. La producció oceànica depèn dels productors primaris, principalment fitoplàncton, que són organismes fotosintètics que converteixen la matèria inorgànica en matèria orgànica i oxigen utilitzant l'energia solar. Aquests organismes constitueixen la base de les xarxes tròfiques oceàniques i són la font directa o indirecta de tots els recursos marins explotables. El bon ús d'aquests recursos per part de l'home no sols es basa en la seva explotació sostenible, sinó també en mantenir l'equilibri natural de tots els components de l'ecosistema. Per a això, és fonamental un coneixement integrat de la dinàmica dels oceans i dels organismes que els habiten (figura 1).



Figura 1. Alguns components de les xarxes tròfiques oceàniques fonamentals per a l'obtenció de recursos marins explotables. Pràctiques insostenibles, com la pesca d'arrossegament, resultants de una mala gestió pesquera, porten a un desequilibri d'aquestes xarxes tròfiques.

El creixement del fitoplàncton depèn dels nutrients inorgànics que arriben a la zona il·luminada de la columna d'aigua, per la qual cosa és bàsic conèixer els processos físics que els regulen i caracteritzar les aportacions continentals d'aquests nutrients. Al seu torn, les poblacions de fitoplàncton estan regulades pels seus consumidors directes, com els organismes filtradors, que les mantenen en un cert equilibri. No obstant això, en zones costaneres, on l'aportació antropogènica de nutrients és elevada, aquest equilibri es pot trencar donant lloc a proliferacions fitoplànctòniques que provoquin una pèrdua de biodiversitat i un empitjorament de la qualitat de l'aigua que al mateix temps afecta al sector turístic. Encara que no sempre la capacitat de proliferació del fitoplàncton és negativa; a mar obert el fitoplàncton no consumit ni reciclat sedimenta en el fons immobilitzant el CO<sub>2</sub> atmosfèric captat durant la fotosíntesi i per tant mitgant l'efecte hivernacle responsable de l'escalfament global.

En les últimes dècades, una mala gestió de l'activitat pesquera ha portat a la sobreexplotació d'espècies d'interès comercial, la qual cosa provoca una important disminució d'aquestes, i arriba en alguns casos a situacions insostenibles. Per abreujar aquest problema és necessari un major coneixement de la biologia d'espècies marines, a través, per exemple, de la incorporació de noves eines com les tècniques òmiques, o la implementació de l'ús de vehicles autònoms per a l'estudi d'espècies que habiten zones de difícil accés. A més, es necessita una bona co-gestió de la pesca que involucri a la comunitat científica, pescadors, administració i a altres organitzacions perquè el conjunt d'aquestes actuacions permeti supervisar i gestionar els recursos mentre protegim la biodiversitat. Però l'ús de recursos marins vius no només va dirigit al seu consum. Molts organismes constitueixen una important font de productes naturals amb aplicacions en diferents camps, com és l'ús d'algues en la indústria farmacèutica o energètica, o l'ús d'animals com a models experimentals en biomedicina. La necessitat d'assegurar el benestar d'aquests models animals és una obligació ètica i moral que els investigadors tenim amb el nostre planeta i amb la societat.

Segons l'Organització de les Nacions Unides, «els oceans són el cor vulnerable del nostre planeta» pel que un bon coneixement i una gestió responsable dels mateixos són clau per al desenvolupament d'una economia oceànica sostenible.

Agraïments: Estem agraïdes a Glynn Gorick per la seva gentilesa compartint la seva preciosa recreació de les xarxes tròfiques marines.

## 3.1. El sistema oceà-atmosfera com a col·lector i distribuïdor de calor

Dorleta Orúe-Echevarría, Ignasi Vallès-Casanova, Josep L. Pelegrí

El clima de la Terra depèn principalment de la temperatura del Sol i de la seva distància a aquest astre. Aquests factors determinen la insolació (energia per unitat d'àrea) que arriba a la superfície de la Terra. No obstant això, la temperatura mitjana real de la Terra i la seva distribució geogràfica estan relacionades amb el sistema oceà-atmosfera, depenent de dos tipus de processos: els que controlen l'equilibri radiatiu local i els responsables de la distribució de calor entre les diferents regions.

D'una banda, l'equilibri radiatiu global ve determinat pels gasos d'efecte hivernacle i l'albedo planetari. D'altra banda, la distribució de calor depèn de la intensitat i direcció tant dels corrents oceànics com dels vents atmosfèrics, així com de l'intercanvi de calor entre l'atmosfera i l'oceà. A més, l'elevada capacitat d'emmagatzematge de calor dels oceans també influeix molt en les temperatures locals. En aquest assaig, ens centrarem en la forma en la qual aquests elements clau fixen la temperatura mitjana anual sobre la Terra, però també inspeccionarem com la temperatura oscil·la contínuament en l'espai i el temps, lluny d'un estat estacionari.

### Albedo i gasos d'efecte hivernacle

El Sol està tan calent (uns 5600 °C) que irradia a longituds d'ona relativament curtes (amb el seu màxim en 0,5  $\mu\text{m}$ ), que poden travessar l'atmosfera i arribar a la superfície de la Terra. No obstant això, la Terra rep només una fracció molt petita de la radiació solar incident –el factor de visió Terra-Sol, o fracció del cel abastada per la Terra, és molt petit (al voltant de  $2,2 \times 10^{-5}$ )– de manera que la temperatura de la Terra és molt

menor, i la seva radiació té longituds d'ona molt més llargues (al voltant de 10  $\mu\text{m}$ ).

Com a conseqüència, els gasos d'efecte d'hivernacle radiatius poden bloquejar l'emissió de la Terra, causant l'escalfament de l'atmosfera. L'atmosfera llavors divideix la seva radiació d'ona llarga en dues meitats, una dirigida cap a l'espai i una altra cap a la Terra, escalfant encara més la seva superfície (figura 1). El resultat és que la Terra augmenta la seva temperatura fins a aconseguir un valor per al qual la radiació entrant d'ona curta i la meitat de la radiació de l'atmosfera són iguals.

Tanmateix, això és només part de la història, ja que no tota la radiació solar és absorbida per la superfície de la Terra. Part d'ella es reflecteix de tornada a l'espai per l'atmosfera o per la superfície de la Terra (figura 1). Això es diu albedo planetari, amb un valor global de prop del 30% però variant des d'aproximadament un 25% en el tròpic, caracteritzat per selves fosques i aigües profundes en mar oberta, fins a un 65% en latituds altes, amb abundant gel reflector i neu.

En absència de gasos d'efecte d'hivernacle i suposant un albedo igual a zero, la temperatura mitjana de tota la Terra seria d'uns 5,6 °C, molt menor que la seva temperatura mitjana actual d'uns 15,0 °C. Aquest augment de temperatura és causat principalment pels gasos d'efecte d'hivernacle, que superen en gran mesura a aquest efecte refrigerant de l'albedo.

Els canvis en aquests equilibris radiatius determinaran l'evolució del clima en les pròximes dècades. A la fi del segle XXI, les prediccions indiquen que l'augment dels gasos d'efecte d'hivernacle provocarà un major bloqueig de la radiació d'ona llarga en l'atmosfera. Aquest augment

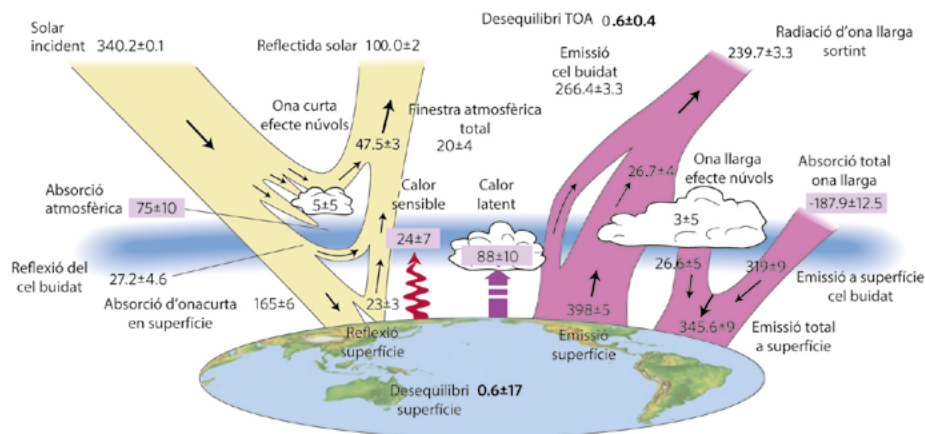


Figura 1. Principals processos que controlen el balanç energètic global mig anual a la Terra, per al període 2000-2010 (reproduït de Stephens *et al.* 2012). TOA representa la part superior de l'atmosfera i els valors representen fluxos d'energia per unitat d'àrea, expressats en watts  $m^{-2}$ . La superfície de la Terra experimenta un desequilibri de  $0,6 \pm 0,17$  watts  $m^{-2}$  que està impulsant l'escalfament del nostre planeta; aquest increment en temperatura és regulat en gran mesura pels oceans, que absorbeixen prop del 90% d'aquest excés d'energia.

i, en menor mesura, la disminució de l'albedo polar, augmentaran la temperatura mitjana de la Terra. Depenent de l'escenari d'emissió de gasos d'efecte d'hivernacle, aquesta temperatura mitjana probablement arribarà a ser d'entre  $16,8^{\circ}C$  i  $18,3^{\circ}C$  (Roca i Pelegrí 2020).

## Corrents oceànics i vents atmosfèrics

Les regions tropicals, on la radiació solar arriba gairebé perpendicularment a la superfície de la Terra, reben la major quantitat mitjana anual de calor per unitat d'àrea, que ha de distribuir-se a altres regions de la Terra. En absència d'oceans i atmosfera, aquesta calor només podria transferir-se a través de la conducció al llarg de la litosfera. Això seria extremadament ineficient, amb un transport latitudinal de tan sols de l'ordre de  $10^4$  watts. Si considerem la presència d'oceans i atmosfera, però sense corrents i vents, la transferència de calor latitudinal només augmentaria a uns  $10^6$ - $10^7$  watts. Per a tenir el transport latitudinal observat, de l'ordre de 6 PW ( $6 \times 10^{15}$  watts), necessitem la presència de vents i corrents.

Els oceans i els vents comparteixen aproximadament a parts iguals el transport de calor latitudinal a latituds baixes, però els vents dominen en latituds intermèdies i altes. No obstant això, a causa de l'alta capacitat calorífica de l'aigua, els

oceans poden emmagatzemar unes 1000 vegades més calor que l'atmosfera. D'aquí que els oceans siguin el principal regulador de l'augment de la temperatura global. De fet, els oceans han incorporat al voltant del 90% de l'anomalia tèrmica de la Terra associada a efectes antropogènics, malgrat que la seva temperatura mitjana només ha augmentat en aproximadament  $0,15^{\circ}C$ , que és deu vegades menys que l'augment de temperatura mitjana de  $1,5^{\circ}C$  a nivell de la superfície del mar.

## Variabilitat temporal

La Terra, no obstant això, està lluny d'un estat estacionari. Per contra, és una entitat pulsativa, que experimenta tot tipus d'oscil·lacions espaciotemporals, des d'escala global fins a locals. Algunes d'aquestes pulsacions estan guiades per moviments astronòmics, com succeeix amb els cicles diürns i estacionals. No obstant això, altres variacions són molt més irregulars, ja que responen a la dinàmica interna no lineal d'un sistema molt complex. En alguns casos, com en el cicle glacial-interglacial, el forçament astronòmic es combina amb mecanismes interns de retroalimentació per a produir cicles temporals asimètrics.

Una vegada més, l'oceà juga un paper mitigador molt important a diferents escales temporals, ja que incorpora calor durant el dia o



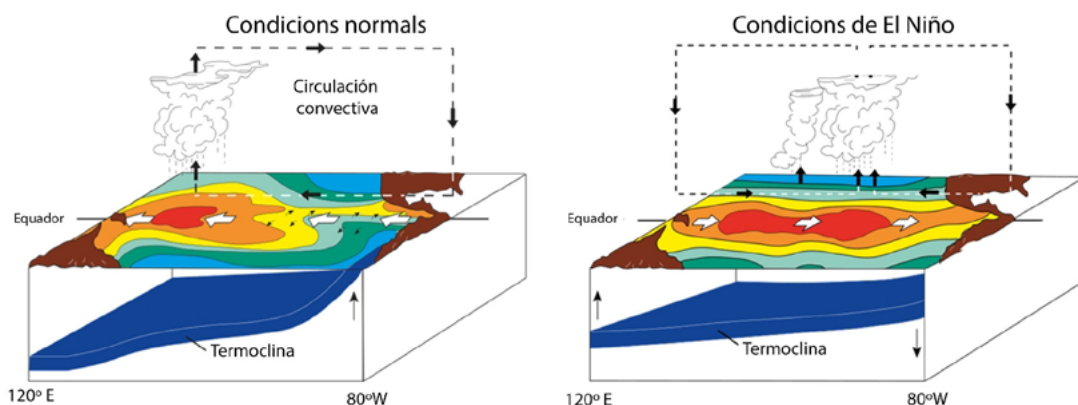


Figura 2. Temperatura superficial del mar (els colors vermellors/blavors representen aigües relativament càlides/fredes) i corrents (fletxes blanques) durant condicions normals i de *El Niño*; també es mostra la forma de la termoclina, que separa les aigües càlides de la superfície de les capes intermèdies i profundes fredes. La contrapart atmosfèrica (coneguda com a Oscil·lació del Sud) afecta als vents pròxims a la superfície i en altura (fletxes negres), així com als patrons de precipitació (adaptat de NOAA 2021).

durant l'estiu i s'allibera de nou a l'atmosfera a la nit o durant l'hivern. No obstant això, el sistema és altament no lineal, amb múltiples mecanismes de retroalimentació. L'intercanvi de calor entre atmosfera i oceà depèn de l'estructura de la columna d'aigua, que està lligada al règim de vents, que al seu torn depèn de la distribució de calor en les capes superficials, i de retorn a l'intercanvi de calor en la interfície aire-mar. La figura 2 il·lustra els principals elements del fenomen *El Niño*-Oscil·lació del Sud, que és un dels exemples més notables d'aquest mecanisme de retroalimentació oceà-atmosfera (Rasmusson i Carpenter 1982).

La complexitat no lineal del sistema de la Terra fa molt difícil realitzar prediccions climatològiques precises. En realitat, quant menors en grandària i temps són les pertorbacions, menor és la nostra habilitat per a fer pronòstics fiables a mitjà i llarg termini. Per això, per exemple, només podem predir els patrons meteorològics durant períodes inferiors a 10 dies. Aquesta finestra de temps augmenta a diversos mesos quan es tracta de fenòmens de variabilitat interanual, com *El Niño* o l'Oscil·lació de l'Atlàntic Nord. Malgrat el seu caràcter irregular, aquestes oscil·lacions evolucionen sobre temps prou llargs com per a permetre identificar quan i com es desenvolupa un esdeveniment (Vallès-Casanova *et al.* 2020).

La pertorbació antropogènica no és ni astronòmica ni interna. Afecta tant a l'albedo com als gasos d'efecte d'hivernacle, causant canvis significatius en el balanç global de calor, i també pertorba els patrons de circulació atmosfèrica i oceànica tant regionals com globals. L'oceà, gràcies a la seva extraordinària capacitat d'absorció de calor, sens dubte està frenant i alentint aquests canvis, donant a la humanitat l'oportunitat de decidir quin planeta volem deixar a les futures generacions.

## Referències

- NOAA. 2021. <https://celebrating200years.noaa.gov/transformations/climate/#program>
- Rasmusson E.M., Carpenter T.H. 1982. Variations in tropical sea surface temperature and surface wind fields associated with the Southern Oscillation/El Niño. *Mon. Wea. Rev.* 110: 354-384.
- Roca J.M., Pelegrí J.L. 2020. Analysis of the planetary thermal distribution with a simple three-zone maximum-flux model. *Int. J. Heat Mass Transf.* 160: 120185.
- Stephens G. L., Li J., Wild M., *et al.* 2012. An update on Earth's energy balance in light of the latest global observations. *Nat. Geosci.* 5: 691-696.
- Vallès-Casanova I., Lee S-K., Foltz G. R., Pelegrí J. L. 2020. On the spatiotemporal diversity of Atlantic Niño and associated rainfall variability over West Africa and South America. *Geophys. Res. Lett.* 47: e2020GL087108

DOI: <https://doi.org/10.20350/digitalCSIC/14075>

## 3.2. Base física de la producció primària als oceans

Josep L. Pelegrí, Dorleta Orúe-Echevarría, Anna Olivé Abelló,  
Ignasi Vallès-Casanova

La producció primària es refereix a la síntesi de matèria orgànica a partir de l'aigua i el carboni atmosfèric o aquós, que es produeix principalment a través de la conversió d'energia solar en energia química. La taxa de transformació d'energia es denomina productivitat primària, expressada amb unitats de carboni per àrea i temps (la productivitat primària bruta es refereix a la quantitat total d'energia, però part d'ella s'utilitza per al manteniment dels mateixos organismes, inclosa la respiració, la qual cosa porta a la producció primària neta com la variable comunament utilitzada). La producció primària depèn de la disponibilitat de llum, nutrients (inorgànics) i aigua. En els oceans hi ha molta aigua, però la llum i els nutrients solen estar limitats per diversos factors, en particular perquè també depenen del propi nivell de producció primària.

La radiació solar d'ona curta no pot penetrar fàcilment en l'oceà, per la qual cosa la producció primària està restringida a les capes superficials, que es denomina la zona fòtica. A més, la penetració de la radiació solar depèn de la concentració de fitoplàncton en aigua. Per a una concentració moderada de clorofil·la d'1 mg m<sup>-3</sup>, només al voltant de l'1% de la radiació solar total assoleix una profunditat de 40 m (0,1% a 60 m) (Talley *et al.* 2011). Així mateix, la quantitat de llum diària canvia amb la latitud i l'estació. A les regions tropicals, la durada de la llum del dia no canvia substancialment d'una estació a una altra, però en latituds altes la llum es redueix molt i fins i tot desapareix per complet a l'hivern, per la qual cosa la producció primària pot cessar.

Un nivell sostingut de producció primària en les capes superficials il·luminades pel sol requereix un subministrament constant de nutrients de les aigües subsuperficials. En latituds altes i durant l'hivern, la producció primària ve limitada per la baixa insolació, la qual cosa porta a un augment dels nivells de nutrients en les aigües superficials. Això estableix les condicions adequades per al desenvolupament de la floració primaveral, quan s'aconsegueixen nivells d'insolació adequats. En aigües tropicals i subtropicals, i en latituds altes després de la primavera, la producció primària sostinguda requereix un subministrament continu de nutrients, ja sigui mitjançant mescla vertical o mitjançant corrents subsuperficials carregats de nutrients que s'acosten a la superfície de l'oceà (Pelegrí *et al.* 2019).

### Distribució espaciotemporal de producció primària

La mescla vertical induïda pel vent és el principal factor que regula la distribució vertical mitjana de la producció primària. El vent agita les aigües superficials de l'oceà, la qual cosa porta a la creació d'una capa de barreja en la part superior de la columna d'aigua, típicament de diverses desenes de metres de gruix, on s'homogeneïtzen moltes propietats de l'aigua (temperatura i nutrients entre altres). La mescla vertical també té altres dos efectes: incorpora els nutrients de les aigües més fons cap a les capes fòtiques i és un agitador eficaç que eleva les parcel·les d'aigua subsuperficial a les zones més il·luminades pel sol. La temperatura és més alta i els nutrients són més baixos en la capa de

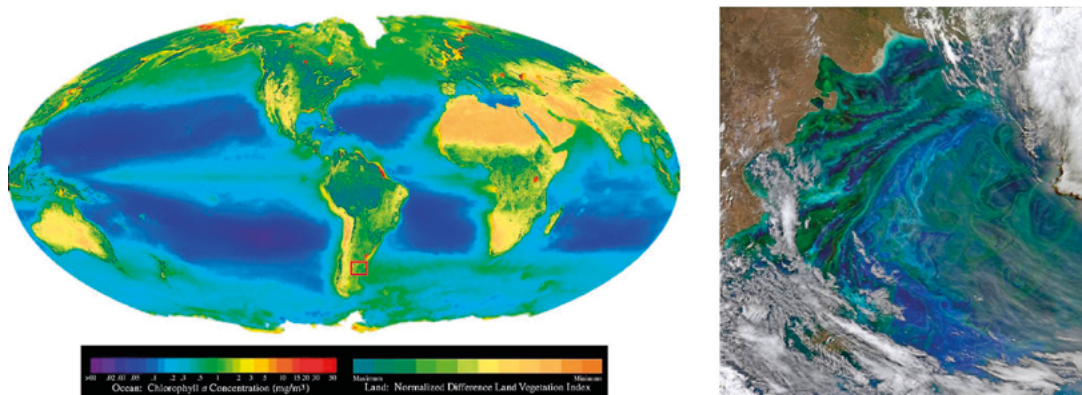


Figura 1. A, imatge clàssica de la distribució mitjana de clorofil·la en la superfície del mar derivada de SeaWiFS (gener de 1998 a desembre de 2019) (NASA 2012), amb el quadrat vermell que mostra la ubicació de la Confluència de Brasil-Malvinas (BMC). B, instantània de fals color d'una floració en la BMC el 2 de desembre de 2014 (NASA 2014).

barreja superficial, amb una forta disminució de la temperatura i un augment dels nutrients en la base de la capa de barreja, que és el que se solen anomenar termoclina (estacional) i nutriclina. La productivitat primària augmenta en la nutriclina, simplement perquè aquesta ubicació vertical proporciona la combinació òptima de llum i nutrients per a la fotosíntesi, establint la posició del màxim de clorofil·la profunda (o subsuperficial).

A més de les variacions associades amb l'estacionalitat de la insolació en latituds altes, la producció primària canvia en l'espai i el temps d'acord amb la rapidesa amb què els nutrients arriben a la capa de barreja superficial (figura 1). Generalment, podem dir que com més ràpid se subministren nutrients a la capa superficial, major serà la productivitat primària (encara que hi ha algunes excepcions, com en regions subantàrtiques on hi ha una manca de ferro). A les regions temperades i subtropicals, això passa durant la tardor, ja que els vents incorporen aigües riques en nutrients a una capa de barreja superficial que s'aprofundeix progressivament.

En algunes regions, el subministrament eficient de nutrients a la capa fòtica té lloc durant tot l'any, ja que els vents provoquen la divergència de les aigües superficials, que després s'omplen a través de l'aflorament o surgència (advecció ascendent) de les aigües subsuperficials riques en nutrients. Això ocorre especialment en el límit oriental dels girs subtropicals (per

exemple, a la regió canària d'aflorament), a les regions equatorials i en l'oceà Austral. També passa en els corrents de frontera occidentals, com el corrent del Golf, i la seva extensió cap als pols en els girs subpolars. A l'Atlàntic Nord, això dona lloc a un dels fenòmens més espectaculars de la naturalesa: la floració primaveral de l'Atlàntic Nord. Cal destacar que les aigües profundes es formen en aquestes regions subpolars altament productives: les aigües que s'enfonsen transporten grans càrregues de matèria orgànica a l'oceà abissal profund, on romandran suficient temps per tal que tinguin lloc una important remineralització i així augmenti la concentració de nutrients inorgànics.

La producció primària no sols canvia a escales estacionals, sinó que també experimenta fluctuacions interanuals i de llarg termini. Un exemple digne d'esment són els períodes glacial-interglacial. Durant els últims tres milions d'anys, la Terra ha canviat entre períodes de menor i major energia, amb un efecte substancial en la producció primària global. Durant els períodes interglacials, s'intensifiquen la formació d'aigües profundes i la circulació global profunda, la qual cosa condueix a una major remineralització profunda i un major subministrament de nutrients a la superfície de l'oceà, ocasionant una major producció primària mundial. Durant els períodes glacials, la circulació global s'afebleix i hi ha menys nutrients disponibles, ocasionant una disminució en la producció global (Pelegri *et al.* 2013).

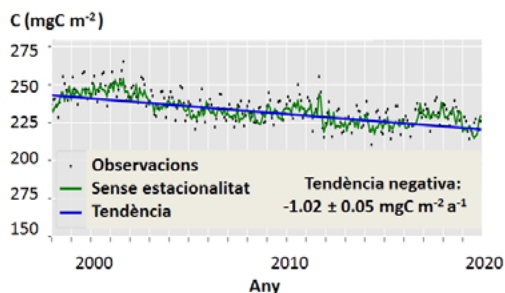


Figura 2. Valors mensuals mitjans de la productivitat primària neta global, amb un ajust lineal que mostra una tendència negativa (Copernicus 2021).

## Efectes antropogènics i l'oceà del futur

El principal efecte directe antròpic sobre la producció primària és un augment de l'eutrofització, mitjançant la qual s'agreguen nutrients a l'oceà costaner com a resultat de les aigües residuals industrials o agrícoles, la qual cosa pot conduir a la degradació i desoxigenació dels ecosistemes costaners i a la producció de floracions d'algues nocives (Berdalet *et al.* 2022).

El canvi climàtic també té un efecte molt important en la producció primària, que actua en moltes maneres diferents. Una forma és mitjançant un major escalfament de les capes superficials, la qual cosa condueix a una major estratificació vertical, inhibint la mescla vertical i el subministrament de nutrients a les capes superficials. A més, sembla que els vents mitjans en l'oceà obert s'estan debilitant a causa de gradients latitudinals tèrmics més febles, disminuint l'enfonsament de les aigües superficials en latituds mitjanes i la surgència d'aigües subsuperficials a les regions equatorials i les altes latituds. Altres factors són la disminució de la descàrrega d'aigua dolça, particularment a les regions subtropicals, i l'afebliment de la circulació global profunda, que redueix el subministrament de nutrients a les latituds altes.

En contrast, els vents costaners semblen estar augmentant com a resultat del major gradient tèrmic entre les masses terrestres i oceàniques, la qual cosa porta a una surgència més intensa en el marge oriental de les regions subtropicals.

Altres factors que afavoreixen la producció primària són la pèrdua estacional de gel marí en latituds elevades, l'augment del transport de pols atmosfèrica i l'increment continu de les concentracions de diòxid de carboni en l'atmosfera.

Les tendències globals en la producció primària són indicatives d'una reducció sostinguda durant les últimes dues dècades (figura 2), encara que les tendències regionals mostren diferències substancials. L'evolució de la producció primària en el futur oceà és difícil de predir, no sols per la competència entre els factors que controlen el subministrament de nutrients a la superfície de l'oceà sinó també a causa de la dificultat de pronosticar els canvis en els patrons d'estratificació i circulació. Les polítiques equitatives i el desenvolupament sostenible són les úniques vies que poden garantir un oceà futur saludable i productiu.

## Referències

- Berdalet E., Arin L., Vila M., Viure L. 2022. Prolifercions d'organismes fotosintètics: cara i creu dels pilars dels ecosistemes marins. A: Pelegrí J.L., Gili J.M., Martínez de Albéniz M.V. (eds.), *L'oceà que volem: ciència oceànica inclusiva i transformadora*. Institut de Ciències del Mar, CSIC. Barcelona. pp. 56-58.
- Copernicus. 2021. Global primary production time series and trends (1998-2019). <https://marine.copernicus.eu/access-data/ocean-monitoring-indicators/global-ocean-primary-production-trend>
- Pelegrí J.L., De La Fuente P., Olivella R., García-Olivares A. 2013. Global constraints on net primary production and inorganic carbon supply during glacial and interglacial cycles. *Paleoceanography* 28: 713-725.
- Pelegrí J.L., Vallès-Casanova I., Orúe-Echeverría O. 2019. The Gulf Nutrient Stream. In: Nagai T., Saito H., Suzuki K., Takahashi M. (eds.), *Kuroshio Current: Physical, Biogeochemical and Ecosystem Dynamics*, AGU-Wiley Geophys. Monogr. Ser. 243: 23-50.
- Talley L.D., Pickard G.L., Emery W.J., Swift J.H. 2011. *Descriptive Physical Oceanography*, Elsevier, 564 pp.
- NASA. 2012. SeaWiFS Global Biosphere. <https://www.nasa.gov/topics/earth/features/plankton-study.html>
- NASA. 2014. Colorful and plankton full Patagonian waters. <https://earthobservatory.nasa.gov/images/84870/colorful-and-plankton-full-patagonian-waters>

DOI: <https://doi.org/10.20350/digitalCSIC/14076>



### 3.3. Controls de la dinàmica del fitoplàncton al mar Català

Marta Estrada, Miquel Alcaraz, Laura Arin

El mar Mediterrani es pot considerar globalment oligotròfic, tot i que presenta una sèrie de mecanismes de fertilització a diverses escales espacials i temporals. En aquest assaig, revisem alguns d'aquests mecanismes, que són responsables de situacions d'elevada biomassa i producció de fitoplàncton al mar Català.

#### Factors de fertilització al mar Català

A la Mediterrània nord-occidental, els corrents marins flueixen del NE al SO al llarg de la costa catalana i tornen cap al NE prop de les illes Balears. Aquest gir ciclònic deixa una zona central de divergència, separada de les aigües costaneres per fronts de plataforma-talús.

A l'hivern, el refredament de les capes superficials facilita la barreja de la columna d'aigua i l'aportació de nutrients procedents d'aigües més profundes vers la zona eufòtica. A la conca Ligu-

ro-provençal, al límit nord del mar Català, l'elevació de les isopícnes a la zona de divergència, en combinació amb la pèrdua de calor i l'evaporació causada per vents forts i secs del nord, pot provocar convecció profunda i barreja vertical de l'aigua fins al fons, amb introducció de nutrients a les capes superiors i formació d'aigües profundes que s'estenen per la conca. La convecció profunda és un important motor de la dinàmica i producció del fitoplàncton, no només a nivell local, sinó també en zones allunyades de la conca. Per exemple, el 25 de març del 2005, la clorofil·la *a* superficial va assolir  $7 \text{ mg m}^{-3}$ , un dels valors més alts mesurats a la regió, i el 22 de març del 2009, amb  $2,3 \text{ mg m}^{-3}$  de clorofil·la *a* superficial (figura 1), la producció primària integrada (entre 0 i 80 m de fondària) va arribar a  $1800 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  (Estrada *et al.* 2014).

Entre finals d'hivern i principis de primavera, l'augment de la irradiació solar i l'inici de

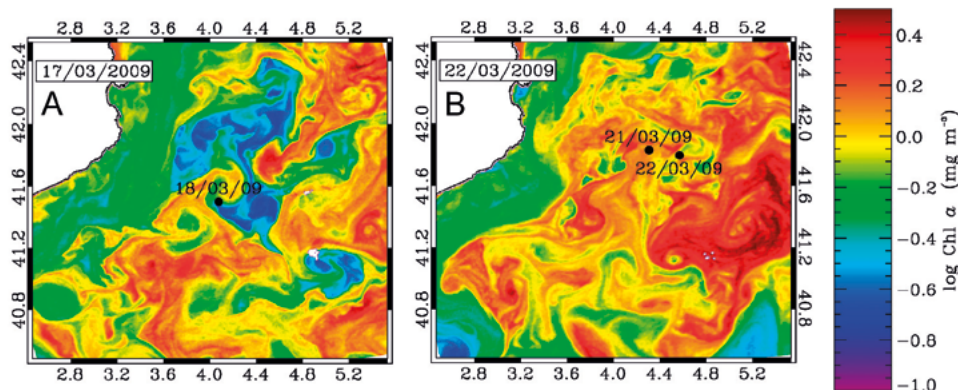


Figura 1. Imatges de teledetecció de la distribució de clorofil·la *a* al nord-oest de la Mediterrània, el 17 (A) i el 22 de març de 2009 (B). Vegeu l'augment de la concentració de clorofil·la del 17 al 22 de març. La zona de baixa clorofil·la *a* (blava) del 17 de març és el resultat d'un esdeveniment de convecció profunda. Els punts negres indiquen les posicions de l'estació durant la campanya Famoso 1. Reproduït d'Estrada *et al.* (2014), amb permís.

l'estratificació tèrmica indueixen el creixement d'una intensa floració de fitoplàncton a les aigües superficials. Més endavant, l'estratificació s'intensifica i es desenvolupa un fort gradient vertical de densitat (la picnoclina) entre la capa superior de barreja i les aigües més profundes. El creixement del fitoplàncton esgota els nutrients (com nitrat, fosfat i silicat) a la part superior, il·luminada, de la columna d'aigua. En aquestes condicions, l'equilibri entre els nutrients que difonen cap amunt des de sota de la picnoclina i la disponibilitat de llum des de dalt condueix a l'aparició d'un màxim profund de fitoplàncton i clorofil·la, acompanyat d'acumulacions de zooplàncton (Estrada *et al.* 1993, Alcaraz *et al.* 2007). A la regió de divergència central, la picnoclina és menys profunda i la major disponibilitat de llum fa que augmenti el creixement del fitoplàncton en el màxim profund. Al seu torn, els fronts de plataforma-talús que voregen el gir, que inclouen el front Liguro-provençal, el Català i el Balear, presenten remolins, meandres i filaments que juntament amb la circulació ageostròfica (Estrada *et al.* 1999) poden generar esdeveniments de fertilització. Sovint, es produeix també un pic de fitoplàncton a la tardor, quan el refredament de l'aigua superficial trenca la picnoclina.

Altres contribucions importants a l'enriquiment de nutrients en el mar Català provenen de les aportacions d'aigua continentals i de la deposició atmosfèrica. A la Mediterrània nord-occidental, els rius més importants són el Roine i l'Ebre; malgrat això, els abocaments de rius més petits i els desbordaments d'aigües residuals, en particular després de les tempestes, també poden ser prominents a nivell local.

## La successió del fitoplàncton

Les fluctuacions de la biomassa del fitoplàncton al llarg del cicle estacional s'associen a canvis marcats en la composició de la comunitat. La successió de grups dominants des del pic d'hivern-primavera fins a l'estratificació estival ha estat caracteritzada per Ramón Margalef en funció de la intensitat de la turbulència de l'aigua i la disponibilitat de nutrients (vegeu Alcaraz i Estrada 2022). Els grups de creixement ràpid com les diatomees dominen quan la turbulèn-

cia i la concentració de nutrients són elevades, mentre que en aigües estratificades i pobres en nutrients, les dinoflagel·lades, que són mòbils i poden migrar amunt i avall a la columna d'aigua, són més abundants. Altres grups, com els coccolitòfors, tendeixen a prosperar en situacions intermèdies. En les darreres dècades, noves metodologies per a la caracterització del fitoplàncton basades en pigments marcadors o en tècniques de genètica molecular han proporcionat informació sobre la distribució de tàxons com els cianobacteris o moltes flagel·lades, que a causa de la seva petita mida o de la manca de trets morfològics distintius no s'havien quantificat adequadament en els estudis anteriors.

## Què podem aprendre de les sèries temporals a llarg termini?

Com passa a terra, hi ha fortes fluctuacions interanuals en els patrons de successió de fitoplàncton al llarg d'un cicle estacional. A més, el canvi global antropogènic pot interactuar amb la variabilitat natural de maneres que encara no coneixem. Per tant, determinar els motors dels canvis i identificar les tendències a llarg termini requereixen recopilar sèries temporals de variables ecosistèmiques ambientals i biològiques a una resolució adequada.

Com a contribució a aquests objectius, l'Institut de Ciències del Mar (ICM-CSIC) manté diverses sèries temporals a les aigües del mar Català. Al litoral de Barcelona, l'Observatori de l'Oceà Costaner (<https://coo.icm.csic.es/ca>) mesura diversos paràmetres en temps real i, des del març del 2002, realitza campanyes mensuals per a avaluar variables biològiques i ambientals. Aquesta sèrie a llarg termini ha aportat importants idees sobre el funcionament de l'ecosistema planctònic costaner del mar Català. En aquest sentit, Arin *et al.* (2013) van trobar que la descàrrega d'aigües continentals va ser la principal font de nutrients per als màxims d'hivern-primaverals del 2003 i el 2004, mentre que els episodis de fertilització que van alimentar les floracions de fitoplàncton del 2005 i el 2006 van ser degudes a la intrusió d'aigües d'alta mar associades als forts esdeveniments de barreja vertical que van tenir lloc durant els hi-

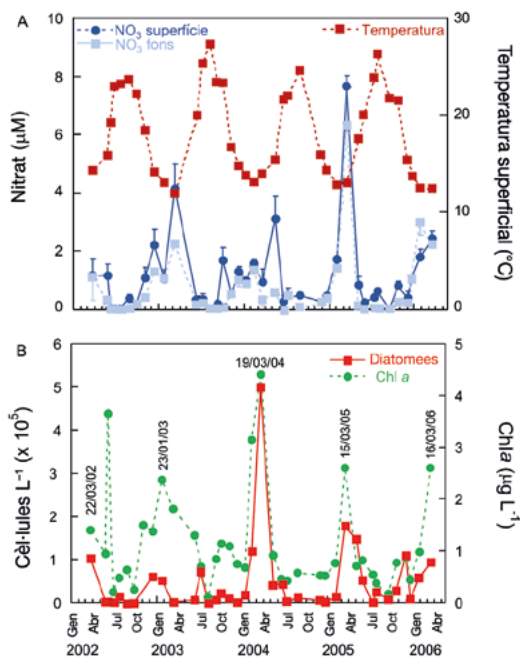


Figura 2. A, concentració de nitrat a la superfície i al fons (mitjana + desviació absoluta de la mediana) a 8 estacions de mostreig de l'Observatori de l'Oceà Costaner de Barcelona (març del 2002 al març del 2006) i cicle anual de la temperatura superficial; B, clorofil·la *a* superficial (Chl *a*) i abundància de diatomees durant el mateix període, en una estació representativa.

verns inusualment freds i secs d'aquests dos anys (figura 2). A la sèrie de l'Observatori de la badia de Blanes (<http://bbmo.icm.csic.es/>), l'estudi de 14 anys (2000-2014) de mostres va permetre caracteritzar el cicle estacional dels principals grups de fitoplàncton i va demostrar que, a part de seguir el patró estacional general, les diatomees i els prasinòfits (un grup de flagel·lades) proliferaven en resposta a la fertilització causada per l'escorrentia d'aigües de pluja (Nunes *et al.* 2018). Aquesta sèrie també va revelar una tendència decreixent en la concentració de clorofil·la, que podia atribuir-se a una reducció de la disponibilitat de nutrients causada per millores en el tractament d'aigües residuals a la zona.

## Observacions finals

El Mediterrani ha estat considerat com un model reduït i més accessible dels oceans del món. De manera similar, el mar Català concentra molts dels processos ecològics i socioeconòmics que es produeixen a tota la Mediterrània. La informació de campanyes oceanogràfiques i sèries temporals al mar Català i altres zones marines del món ajuda a revelar com influeixen en l'ecosistema pelàgic les interaccions entre la variabilitat natural i l'antropogènica, i posa de manifest la importància del seguiment a llarg termini per millorar les projeccions per al futur i les decisions de gestió.

## Referències

- Alcaraz M., Calbet A., Estrada M., *et al.* 2007. Physical control of zooplankton communities in the Catalan Sea. *Prog. Oceanogr.* 74: 294-312.
- Alcaraz M., Estrada M. 2022. Turbulència i dinàmica del plàncton en un oceà més càlid. A: Pelegrí J.L., Gili J.M., Martínez de Albéniz M.V. (eds.), *L'oceà que volem: ciència oceànica inclusiva i transformadora*. Institut de Ciències del Mar, CSIC. Barcelona. pp. 139-141.
- Arlin L., Guillén J., Segura-Noguera M., Estrada M. 2013. Open sea hydrographic forcing of nutrient and phytoplankton dynamics in a Mediterranean coastal ecosystem. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 133: 116-128.
- Estrada M., Marrasé C., Latasa M., *et al.* 1993. Variability of deep chlorophyll maximum characteristics in the Northwestern Mediterranean. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 92: 289-300.
- Estrada M., Varela R.A., Salat J., *et al.* 1999. Spatio-temporal variability of the winter phytoplankton distribution across the Catalan and North Balearic fronts (NW Mediterranean). *J. Plankton Res.* 21: 1-20.
- Estrada M., Latasa M., Emelianov M., *et al.* 2014. Seasonal and mesoscale variability of primary production in the deep winter-mixing region of the NW Mediterranean. *Deep-Sea Res. Pt I.* 94: 45-61.
- Nunes S., Latasa M., Gasol J.M., Estrada M. 2018. Seasonal and interannual variability of phytoplankton community structure in a Mediterranean coastal site. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 592: 57-75.

DOI: <https://doi.org/10.20350/digitalCSIC/14077>

## 3.4. El poder dels productors primaris unicel·lulars

Pedro Cermeño, Carmen García-Comas, Caterina R. Giner, Ramiro Logares, Cèlia Marrasé, Ramon Massana, Carlos Pedrós-Alió, Maria Montserrat Sala, Rafel Simó, Javier Tamames, Sergio Vallina

El fitoplàncton marí, que inclou tant als cianobacteris com a les microalgues, domina la producció primària en dos terços de la superfície de la Terra, sustentant pràcticament tota la vida marina i exercint un control fonamental sobre el clima global mitjançant el segrest de carboni en les profunditats de l'oceà. Aquests productors primaris unicel·lulars són responsables d'aproximadament el 50% de la producció primària neta mundial, la qual cosa equival a produir 50 gigatonnes de carboni orgànic (C) l'any (al voltant de 140 milions de tones al dia). El fitoplàncton produeix una quantitat enorme de C orgànic malgrat representar només el 1-2% de la biomassa fotosintètica de la Terra, la qual cosa posa de manifest les seves extraordinàriament altes taxes de renovació. Gairebé tota la biomassa del fitoplàncton que es troba ara mateix en els oceans del món es consumirà i es produirà novament en aproximadament una setmana. A diferència dels ecosistemes terrestres, on la biomassa vegetal domina el paisatge (imagini una exuberant selva tropical), les comunitats marines estan dominades per microorganismes heteròtrofs, com ara bacteris, protozous, ciliats i petits crustacis, la biomassa global dels quals excedeix fins a cinc vegades la biomassa dels productors primaris marins (Bar-On *et al.* 2018). Aquest patró invers de distribució de biomassa és una de les característiques més destacades dels ecosistemes de plàncton oceànic, els quals depenen de l'activitat de microorganismes heteròtrofs per a reciclar la biomassa fotosintètica i repo-

sar els nutrients que necessita el fitoplàncton per a créixer. Aquest estret acoblament entre els productors primaris i els recicladors forma la coneguda com a cadena tròfica microbiana (Azam i Malfatti 2007), que manté els ecosistemes de plàncton oceànic prop de l'estat estacionari. No obstant això, en alguns casos, els corrents oceànics, l'escolament continental o les tempestes de pols, entre altres esdeveniments, porten nous nutrients a la superfície, impulsen la productivitat primària i allunyen els ecosistemes de plàncton de l'estat d'equilibri. Pel fet que la producció primària marina incorpora aproximadament 6,6 mols de diòxid de carboni ( $\text{CO}_2$ ) per cada mol de nitrogen, l'entrada de nous nutrients a la capa il·luminada de l'oceà redueix la concentració de  $\text{CO}_2$  dissolt en les aigües superficials. La «nova» producció primària resultant, per a diferenciar-la de la producció primària 'reciclada', agafa per sorpresa als heteròtrofs que no poden consumir instantàniament l'excés de producció primària. Com a resultat, una gran fracció d'aquesta «nova» producció primària acaba sent exportada a les profunditats de l'oceà. Aquest fenomen, denominat bomba biològica, genera un dèficit de  $\text{CO}_2$  en la superfície de l'oceà, que es compensa amb l'absorció de  $\text{CO}_2$  de l'atmosfera. D'aquesta manera, la bomba biològica de l'oceà ajuda a mitigar l'efecte d'hivernacle i a refredar el clima de la Terra.

Comprendre el funcionament ecològic i biogeoquímic dels ecosistemes de plàncton és clau per a aprofitar el poder dels productors primaris



unicel·lulars en el desenvolupament de solucions que ajudin a abordar alguns dels desafiaments actuals que enfronta la nostra societat, com l'escalfament global o l'escassetat d'aliments. Pel fet que moltes d'aquestes solucions requereixen accelerar els processos naturals, abans d'explicar com els productors primaris unicel·lulars podrien contribuir a aquest esforç global, comencem per il·lustrar com van influenciar la vida en la Terra en el passat geològic. En última instància, l'objectiu és condensar en dècades/segles els canvis que la naturalesa va trigar centenars de milers d'anys a aconseguir.

## El poderós plàncton

Es creu que dos mecanismes han augmentat el potencial biològic de l'oceà per a impulsar la producció primària, alimentant les xarxes tròfiques marines i reduint la concentració de CO<sub>2</sub> en l'atmosfera. El primer implica un augment en la quantitat de nutrients inorgànics en les aigües dels oceans. Pel fet que la producció primària en moltes regions de l'oceà està limitada per la disponibilitat de nutrients essencials, com a nitrogen, fòsfor o ferro, un augment en el subministrament de nutrients a l'oceà hauria impulsat la producció primària oceànica global, així com la fracció de la producció primària que hauria estat transferida cap a nivells tròfics superiors i les profunditats de l'oceà. El segon mecanisme té a veure amb canvis en l'este-quiomètria de la biomassa de fitoplàncton i del material detrític respecte al descrit per Alfred C. Redfield, qui va trobar que les proporcions de carboni (C): nitrogen (N): fòsfor (P) prenen valors relativament constants de 106:16:1 en tots els oceans del món, tant en la biomassa de fitoplàncton com en els nutrients dissolts en les aigües profundes. Un augment en aquestes proporcions elementals implicaria un augment en la quantitat de C exportat per unitat de N o P que entra en la superfície il·luminada de l'oceà. Hi ha evidència que aquests dos mecanismes han estat funcionant en el passat geològic (Falkowski 2012), i) augmentant la producció primària exportada, ii) promovent la formació de vastos dipòsits de petroli i gas, i iii) ajudant a refredar el clima de la Terra.

## El futur del cultiu de microalgues

El nostre profund coneixement dels ecosistemes marins ens brinda, com a científics marins, la capacitat de desenvolupar solucions intel·ligents amb les quals abordar alguns dels actuals reptes socials i ambientals. Durant segles, l'agricultura convencional ha tractat d'impedir el col·lapse dels cultius, sovint arruïnats per plagues i malalties. Dècades de recerca agrícola han permès el desenvolupament de mesures de protecció de cultius que han donat com a resultat rendiments de producció prèviament impensables. Per exemple, la productivitat del blat de moro (és a dir, la producció de blat de moro per unitat de terra utilitzada) s'ha quintuplicat en els últims vuitanta anys, gràcies, en certa manera, als avenços en el maneig de les plagues (figura 1). Els productors primaris unicel·lulars són de tres a quatre vegades més eficients que les plantes terrestres a l'hora de convertir l'energia solar

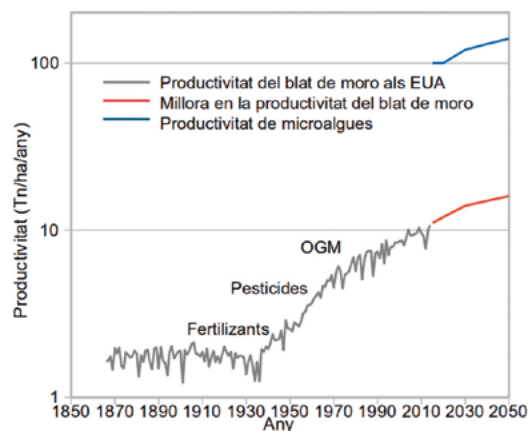


Figura 1. Productivitat mitjana del blat de moro als Estats Units de 1866 a 2014, segons les dades del Departament d'Agricultura dels Estats Units (USDA) i la FAO de les Nacions Unides. La productivitat (rendiment) mitjà del blat de moro als Estats Units es va mantenir relativament estable durant la dècada de 1800 fins a la dècada de 1930. En el període des de 1940, la productivitat s'ha multiplicat per més de cinc gràcies a la millora en els sistemes de reg, els fertilitzants, la millora en el maneig de plagues i el desenvolupament d'organismes genèticament modificats (OGM). La productivitat dels sistemes de producció de microalgues és un ordre de magnitud més alta que la productivitat actual del blat de moro i s'espera que augmentin substancialment a mesura que la tecnologia de cultiu de microalgues, actualment subdesenvolupada, millori la productivitat dels ceps i la resistència a les plagues.

en biomassa i poden aconseguir productivitats per unitat de superfície fins a un ordre de magnitud més altes (figura 1). No obstant això, el seu ús com a font sostenible de matèria primera per a la producció d'aliments, pinsos o biocombustibles roman sense explotar. El cultiu de microalgues utilitzant aigües residuals o aigua de mar té un potencial increïble per a convertir-se en una important font de biomassa en el futur, així com un eficient embornal del CO<sub>2</sub> resultant dels processos industrials (Araújo *et al.* 2021). No obstant això, el desplegament a gran escala del cultiu de microalgues pateix dels mateixos problemes als quals l'agricultura convencional s'ha enfrontat durant segles. Com es va discutir en el paràgraf inicial, els microorganismes heteròtrofs poden apoderar-se de les comunitats de plàncton en qüestió de dies, la qual cosa porta al col·lapse dels sistemes de producció de biomassa de microalgues. A més, els cianobacteris i microalgues tenen enormes necessitats nutricionals (fertilitzants), la qual cosa dificulta l'expansió global del cultiu d'algues per a la producció en massa de productes bàsics de baix preu, com a aliments, pinsos i biocombustibles. Protegir els cultius de microalgues dels herbívors, plagues i malalties, i trobar maneres de reproveir els nutrients i el CO<sub>2</sub> per a millorar, respectivament, la producció primària i la captura biològica de C és fonamental perquè el cultiu de microalgues sigui veritablement sostenible i rendible en les pròximes dècades.

L'adveniment de noves tecnologies, com la genòmica, ha permès als científics marins obtenir una comprensió més profunda de com els productors primaris unicel·lulars prosperen, moren i es descomponen en els ecosistemes naturals de plàncton (Pedrós-Alió 2006). Aquest conei-

xement ens proporciona informació extremadament valuosa per a explorar maneres d'accelerar els processos naturals i ajudar a i) proporcionar una font sostenible de biomassa per a la producció d'aliments i biocombustibles i ii) reduir el CO<sub>2</sub> atmosfèric emès per la crema de combustibles fòssils, capturant-lo en forma de compostos orgànics refractaris, tal com l'ha estat fent la naturalesa des de l'origen de la fotosíntesi oxigènica fa uns 2.500 milions d'anys. De la mateixa manera que l'agricultura va representar un canvi transcendent en la història de la humanitat i del nostre planeta, l'expansió del cultiu de microalgues exercirà un paper crucial en l'evolució de la nostra societat cap a un planeta futur més habitable.

Agraïments. Les idees plasmades en aquest assaig formen part dels objectius del projecte PRODIGIO 'Desenvolupament de sistemes d'alerta primerenca per a la millora de la producció de microalgues i la digestió anaeròbica'. El projecte PRODIGIO ha rebut finançament del programa de recerca i innovació Horitzó 2020 de la Unió Europea en virtut de l'acord de subvenció #101007006.

## Referències

- Araújo R., Vazquez Calderon F., Sánchez López J., *et al.* 2021. Current Status of the Algae Production Industry in Europe: An Emerging Sector of the Blue Bioeconomy. *Front. Mar. Sci.* 7: 626389.
- Azam F. Malfatti F. 2007. Microbial structuring of marine ecosystems. *Nature Rev. Microbiol.* 5: 782-791.
- Bar-On Y.M., Phillips R., Milo R. 2018. The biomass distribution on Earth. *Proc. Nat. Acad. Sci. USA* 115: 6506-6511.
- Falkowski P.G. 2012. Ocean sciences: The power of plankton. *Nature* 483: S17-S20.
- Pedrós-Alió C. 2006. Genomics and marine microbial ecology. *Int. Microbiol.* 9: 191-197.

DOI: <https://doi.org/10.20350/digitalCSIC/14078>

## 3.5. Eines òmiques per a la gestió dels recursos vius i la protecció de la biodiversitat dels oceans

Francesc Piferrer

Per eines òmiques s'entén un conjunt de tecnologies adreçades a l'anàlisi i caracterització col·lectiva de grups de molècules, tals com l'ADN, l'ARN, les proteïnes i les seves modificacions, presents als éssers vius (figura 1).

Una bona gestió dels ecosistemes oceànics i l'ús sostenible dels recursos marins es pot beneficiar de les eines òmiques. Per tant, no és estrany que entitats com l'Administració Nacional dels Oceans i de l'Atmosfera, una agència del govern dels Estats Units, hi hagin dipositat grans esperances. Es preveu que la seva aplicació serveixi per a millorar els sistemes de monitorització, supervisió i gestió dels recursos vius i la conservació de la biodiversitat en un oceà canviant, tot encaminat a donar suport a l'Economia Blava (Goodwin *et al.* 2020).

Seguidament es donen unes breus pinzellades de com les eines òmiques s'estan utilitzant cada cop més en la gestió dels recursos vius, la identificació i protecció de la biodiversitat dels oceans i com es poden utilitzar per a identificar les conseqüències del canvi climàtic sobre la vida marina.

### Aplicacions a la pesca i l'aqüicultura

La genòmica té gran potencial per a la identificació de noves espècies i varietats, el que és molt rellevant tant per la pesca com per l'aqüicultura, on hi ha molta variabilitat genètica encara no ben caracteritzada (Mohanty *et al.* 2019). En aquest sentit, el desenvolupament d'arrays de polimorfismes d'un únic nucleòtid (SNPs, segons les sigles en anglès) per a la ma-

joria d'espècies d'interès en aquicultura ja és una realitat, el que possibilita anar un pas més enllà de la selecció genètica clàssica amb el que es coneix com la selecció genòmica, és a dir, una selecció basada en informació proporcionada després de l'examen d'un conjunt de SNPs informatius distribuïts al llarg de tot el genoma (Houston *et al.* 2020). Aplicacions similars en pesca permetran conèixer amb gran precisió l'estructura genètica de les poblacions, el que, juntament amb altres tècniques en desenvolupament com l'anàlisi de l'ADN ambiental (eDNA), permetrà una millor coneixença dels recursos d'un ecosistema.

L'epigenètica integra informació genòmica i ambiental i pot explicar bona part de la variància fenotípica que no s'explica per la variància genètica. Avenços en epigenòmica aplicada a l'aqüicultura han permès identificar la base de la resistència a malalties que no es poden explicar genèticament i al desenvolupament d'eines predictives de sexe. Es preveu que properament hi haurà marcadors epigenètics que puguin pronosticar el rendiment dels cultius sota determinades condicions ambientals. En pesca, l'examen de canvis en la metilació de l'ADN en determinats loci del genoma ha permès desenvolupar el primer rellotge epigenètic en peixos (Anastasiadi i Piferrer 2020). L'aplicació d'aquests rellotges a espècies d'alt interès comercial, com el bacallà i el lluç, permetrà determinar l'edat dels peixos sense necessitat de l'anàlisi dels otòlits, com s'ha fet fins ara.

La nutrigenòmica és una variant de la transcriptòmica que té per objectiu esbrinar com la

composició dels aliments afecta l'expressió gènica i com això influeix de retruc al metabolisme i al creixement i a la salut dels animals. Per altra banda, la proteòmica i metabolòmica tenen molt d'interès en estudis encaminats a esbrinar la composició del múscul, la part més important i edible dels peixos. Altres avenços fruit de l'aplicació d'eines òmiques inclouen la identificació de patògens, resistència a malalties i tolerància a l'estrès.

## Aplicacions en biologia de la conservació

Les eines òmiques són ideals per a obtenir una bona imatge de l'estat fisiològic dels

organismes en funció dels canvis ambientals. Així, la identificació de la contaminació aquàtica, ja sigui deguda a productes o contaminants naturals, com les toxines produïdes per certs tipus d'algues, o deguda a contaminants antròpics, constitueix una de les àrees on més esforços s'hi estan esmerçant. La biomonitorització, o monitorització emprant organismes vius com a sentinelles, és una forma habitual de determinar l'estat de contaminació dels ecosistemes aquàtics. La incorporació de eines òmiques a programes de vigilància ambiental no ha fet més que començar, però té un gran futur per la seva capacitat de poder incloure diferents tipus d'informació cap a un objectiu comú (Van Aggelen *et al.* 2010).

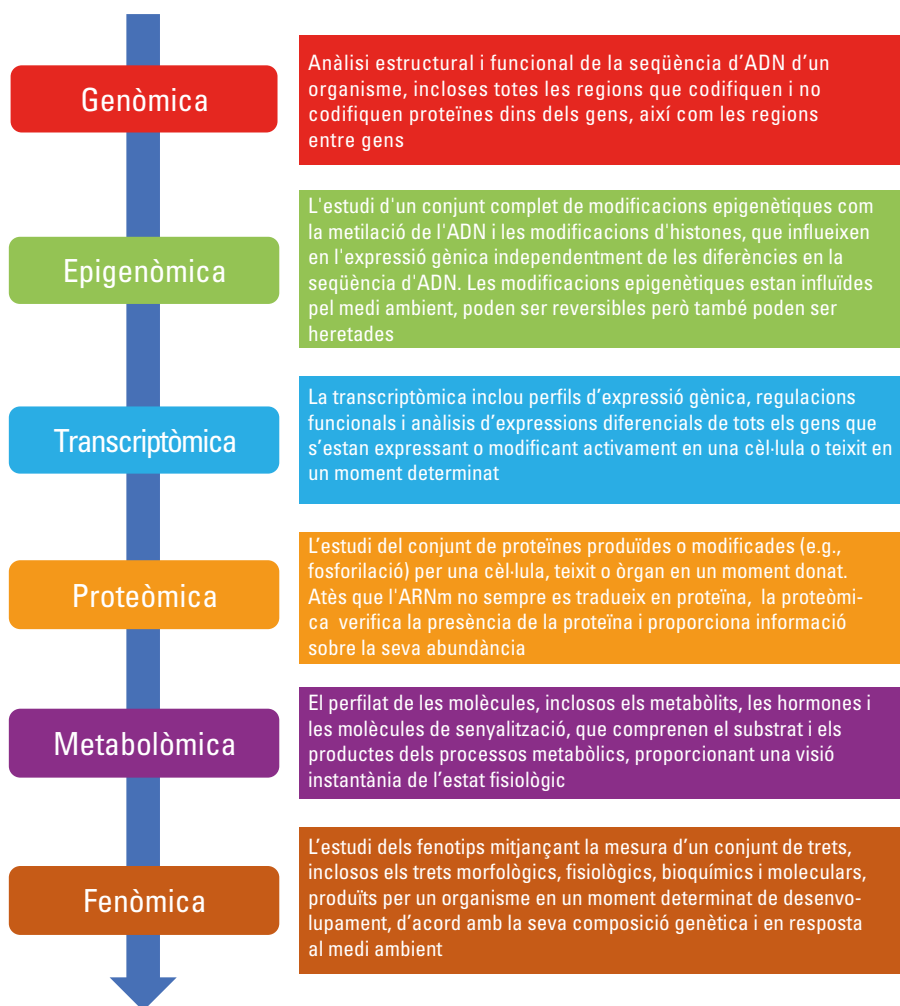


Figura 1. Les diferents tècniques òmiques, la seva relació entre si i una breu descripció de cada una d'elles.



Tanmateix, el poder integrador de les eines òmiques en donar una visió holística de l'estat de les comunitats, és un poderós argument per a la seva utilització en la monitorització dels efectes del canvi climàtic sobre els ecosistemes marins.

## Conclusions i perspectives

El progressiu abaratiment del cost de seqüenciació incrementarà el nombre de genomes al nostre abast, que redundarà en un millor coneixement dels recursos i la biodiversitat marina. Un repte important és desenvolupar noves eines per processar les massives quantitats de dades generades des de projectes de seqüenciació de genomes i la seva integració amb dades fenotípiques. Lligar-ho amb estudis d'associació a tot el genoma (GWAS) permetrà identificar els canvis fenòmics (figura 1) més informatius amb els subjacents genòmics o d'altre mena.

Avenços en el desenvolupament de tècniques òmiques milloraran la qualitat i el cost de les dades biològiques obtingudes en comparació amb les tècniques d'observació tradicionals. Un cop s'hagin aplicat diferents eines òmiques per resoldre un problema, com per exemple, com respon una espècie o comunitat a l'escalfament global, es podran desenvolupar marcadors compatibles amb l'anàlisi d'un gran nombre de mostres en molt poc temps i a un preu molt assequible. Aquests marcadors seran sens dubte molt útils en programes de vigilància ambiental.

Per la seva pròpia naturalesa, l'aplicació d'eines òmiques a l'estudi dels recursos vius i la biodiversitat dels oceans precisa de la recollida d'un considerable nombre de mostres que pugui ser representatiu de l'espècie, comunitat, fenomen o zona geogràfica d'interès. Per tant, un dels reptes més importants és la gestió de la variació tècnica i biològica. En aquesta engrescadora i necessària tasca s'hi ha d'afegir la necessitat de formació de personal especialitzat en l'ús d'aquestes eines, amb una visió pluridisciplinària dels problemes. En conclusió, hi ha un gran futur en l'aplicació d'eines òmiques a les ciències del mar, i ho seria si s'hi destinessin els recursos necessaris per a la seva implementació.

## Referències

- Anastasiadi D., Piferrer F. 2020. A clockwork fish: Age prediction using DNA methylation-based biomarkers in the European seabass. *Mol. Ecol. Resour.* 20: 387-397.
- Goodwin K., Certner R., Arzayus F., *et al.* 2020. NOAA 'Omics White Paper: Informing the NOAA 'Omics Strategy and Implementation Plan.
- Houston R.D., Bean T.P., Macqueen D.J., *et al.* 2020. Harnessing genomics to fast-track genetic improvement in aquaculture. *Nat. Rev. Genet.* 21: 389-409.
- Mohanty B.P., Mohanty S., Mitra T., *et al.* 2019. Omics technologies in fisheries and aquaculture. In: Mohanty B.P. (ed.), *Advances in Fish Research*, vol. VII. Narendra Publishing House, Delhi, pp. 1-30.
- Van Aggelen G., Ankley G.T., Baldwin W.S., *et al.* 2010. Integrating omic technologies into aquatic ecological risk assessment and environmental monitoring: Hurdles, achievements, and future outlook. *Env. Health Persp.* 118: 1-5.

DOI: <https://doi.org/10.20350/digitalCSIC/14079>

## 3.6. Benestar animal a les ciències marines

Mercedes Blázquez, Guiomar Rotllant, Roger Villanueva

El benestar animal és un concepte que determina la manera òptima com els animals afronten les condicions en què viuen. L'animal es troba en bon estat quan està sa, ben alimentat, capaç d'expressar el seu comportament innat i sense patir dolor, por, ni molèsties. Tanmateix, demostrar si un animal experimenta dolor no és una tasca fàcil. Cal avaluar diversos punts finals segons els diferents grups d'animals i l'etapa de desenvolupament. En aquest assaig, ens centrarem en els peixos marins en representació de vertebrats, els cefalòpodes com a models invertebrats, tots dos sotmesos a normes i regulacions estrictes en termes de benestar als països de la UE, i els crustacis, ja que aviat seran sotmesos a aquestes normatives. La raó per la qual assenyallem aquests grups d'animals es deu al fet que a l'ICM-CSIC són models de recerca d'espècies explotades comercialment.

### Consideracions ètiques a la investigació animal: legislació

Els peixos representen el grup més divers de vertebrats i el seu ús com a models en biomedicina, ecologia o producció animal ha augmentat considerablement durant els darrers anys. A més, la seva posició evolutiva a l'inici de la radiació dels vertebrats, la seva capacitat d'adaptació a diferents condicions ambientals i les seves semblances a nivell molecular amb altres vertebrats, inclosos els humans, els converteixen en models excel·lents en disciplines molt diverses. En molts països, l'ús de peixos com animals d'experimentació està estrictament regulat i inclou recomanacions per a peixos de cultiu. Els estats europeus es regeixen per la Directiva 2010/63/UE, modificada pel reglament 2019/1010/UE. A més a més, alguns d'ells també tenen lleis específiques

que poden ser encara més restrictives, com a Espanya el RD 53/2013. Els cefalòpodes han estat sotmesos a les mateixes normes de benestar dels peixos des del 2013 als països de la UE. Aquests mol·luscs es consideren entre els invertebrats més avançats, amb cervells multilobulars relativament grans i sistemes nerviosos desenvolupats que donen suport a rics repertoris de comportament i un món sensorial sofisticat. Els cefalòpodes presenten conductes cognitives i espontànies indicatives d'experiència de dolor afectiu i s'hauria d'aplicar l'ús de cures i benestar adequats, així com analgèsics, anestèsics i punt final humanitari (Fiorito *et al.* 2015, Crook 2021).

L'avaluació del dolor és crucial per millorar el benestar dels animals. Sneddon *et al.* (2014) van definir dos conceptes clau per avaluar el potencial de dolor en tàxons d'invertebrats i vertebrats: 1) respostes a estímuls nocius que podrien afectar la neurobiologia, la fisiologia i el comportament dels animals i 2) canvis en el seu estat de motivació. L'estudi considera 17 criteris com a indicadors de dolor basats en animals. Els crustacis encara no s'inclouen en la protecció segons la legislació de la UE en el moment de sacrificar, basat en el fet que no presenten patiment ni dolor. Tot i això, l'EFSA (Autoritat Europea de Seguretat Alimentària) va afirmar que «els crustacis decàpodes grans tenen un comportament complex i semblen tenir un cert grau de consciència. Tenen un sistema de dolor i una capacitat d'aprenentatge considerable i tots els decàpodes haurien de rebre protecció» (EFSA 2005). Els mètodes de sacrifici per als crustacis decàpodes són obligatoris a Suïssa, Nova Zelanda, alguns estats australians i es recomanen a Noruega. Tenint en compte l'experimentació recent, compleixen els 14 criteris per als quals s'han provat (revisats a Passatino *et al.* 2021).



**Figura 1.** Zona d'Aquaris i cambres Experimentals (ZAE) a l'ICM-CSIC. A, vista general de la sala principal de la ZAE on té lloc la investigació animal. Algunes de les espècies de cultiu i d'interès pesquer allotjades i criades són peixos: daurada, *Sparus aurata* (B) i llobarro, *Dicentrarchus labrax* (C), espècies clau per a l'aqüicultura mediterrània, i peix zebra, *Danio rerio* (D), utilitzat com a espècie model de vertebrats per a un nombre important de disciplines de recerca; cefalòpodes: sípia, *Sepia officinalis* (E), pop, *Octopus vulgaris* (F), ous de sípia (G); i crustacis: escamarlà, *Nephrops norvegicus* (H), cranc ermità, *Dardanus arrosor* (I), i pessic, *Calappa granulata* (J).

Per tant, no hi ha cap argument convincent per desestimar la idea del dolor en aquest tàxon.

### Tècniques de tractament humanitari en investigació animal: principi de les 3Rs

Totes les normatives i directrius sobre el benestar es basen en el principi de les 3Rs que

té com a objectiu reduir, refinar i, en última instància, reemplaçar l'ús d'animals amb finalitats científiques. Aquest principi posa les bases per a l'assoliment de tècniques humanitàries en la investigació. La *reducció* cobreix qualsevol procediment que doni lloc a un nombre menor d'animals utilitzats en un determinat procediment i que siguin necessaris per obtenir resultats

reproduïbles i fiables. El *refinement* consisteix en la modificació de qualsevol condició d'habitatge, cultiu o cura durant la vida d'un animal per tal de minimitzar possibles dolor, angoixa, patiment o canvis fisiològics, millorant el seu benestar. El *reemplazament* inclou l'ús de mètodes que no impliquen l'ús d'animals vius. Es pot aconseguir mitjançant altres tècniques alternatives, inclosos sistemes *in vitro* (teixits i cèl·lules), sistemes químics (macromolècules sintètiques), sistemes *in silico* (models basats en ordinador) i la prometedora bioimpressió 3D.

## El compromís de l'ICM amb el benestar animal

El benestar està estretament relacionat amb les condicions d'allotjament i manteniment dels animals. En aquest sentit, l'ICM-CSIC s'ha adherit a l'acord de transparència en investigació animal, en col·laboració amb l'European Association of Research Animals. Tots els projectes desenvolupats a les instal·lacions d'Aquaris i Cambres Experimentals (ZAE, figura 1) que inclouen experiments amb vertebrats (peixos i granotes) i cefalòpodes, segueixen la Directiva de la UE que inclou la publicació de resums de projectes no tècnics i els resultats d'avaluacions retrospectives. Els projectes han de complir la legislació nacional que estableix totes les normes bàsiques per a la protecció dels animals utilitzats en experimentació i altres finalitats científiques, inclosa la docència. És obligatori que el personal que treballa a la ZAE tingui la formació i les qualificacions adequades per dur a terme les diferents funcions, des de la realització de procediments fins al disseny de projectes, amb animals d'experimentació. A més, tots els experiments necessiten l'aprovació del Comitè d'Ètica en Experimentació Animal de l'ICM i del Comitè d'Ètica del CSIC, que pot formular recomanacions sobre principis ètics i deontològics relacionats amb la investigació. Finalment, els experiments són revisats i aprovats per les autoritats locals que emeten un número d'autorització per a l'estudi. El compromís de l'ICM amb el benestar dels animals és crucial per a un ús responsable dels models animals marins. Segons els reptes actuals de la investigació, l'ús d'animals no es pot ometre totalment, tot i que l'aplicació del principi de les

3Rs assegurarà un tractament humanitari. De fet, s'han utilitzat models animals per donar suport als avenços científics en molts camps de la investigació marina, particularment en temes de pesca i aqüicultura com la reproducció, la nutrició, les malalties, la genètica i la sostenibilitat dels recursos marins vius. Les directrius ARRIVE («Animal Research: Reporting In Vivo Experiments») es van desenvolupar el 2020 amb l'objectiu d'assegurar la transparència, la fiabilitat i la reproductibilitat en la investigació animal. Consisteixen en una llista de 21 ítems, deu d'ells recentment identificats com a essencials, recomanats per ser inclosos en qualsevol estudi que reporti experimentació amb animals. No obstant això, tot i que aquestes directrius han estat aprovades per més de mil revistes científiques, la seva implementació, en particular la informació relacionada amb les condicions ambientals òptimes d'habitatge, encara s'ha de millorar.

La inclusió de pautes per a mètodes ètics per proporcionar protecció als animals durant l'experimentació serà important no només per garantir un nivell de benestar adequat, sinó també per mantenir el suport públic a la investigació basada en animals marins. És un ferm compromís a l'ICM-CSIC de sensibilitzar sobre el benestar dels animals marins i de proporcionar totes les eines per protegir aquests models d'investigació experimental.

## Referències

- Crook R.J. 2021. Behavioral and neurophysiological evidence suggests affective pain experience in octopus. *iScience* 24: 102229.
- EFSA. 2005. Opinion of the Scientific Panel on Animal Health and Welfare (AHAW) on a request from the Commission related to the aspects of the biology and welfare of animals used for experimental and other scientific purposes. *EFSA Journal* 3: 292.
- Fiorito G., Affuso A., Basil J., *et al.* 2015. Guidelines for the care and welfare of cephalopods in research - a consensus based on an initiative by CephRes, FELASA and the Boyd Group. *Lab. Anim.* 49: 1-90.
- Passantino A., Elwood R. W., Coluccio, P. 2021. Why Protect Decapod Crustaceans Used as Models in Biomedical Research and in Ecotoxicology? Ethical and Legislative Considerations. *Animals* 11: 73.
- Sneddon L.U., Elwood R.W., Adamo S.A., Leach M C. 2014. Defining and assessing animal pain. *Anim. Behav.* 97: 201-212.

DOI: <https://doi.org/10.20350/digitalCSIC/14080>







Figura 2. Agregacions de musclos (*Mytilus edulis*) a la plana mareal de la mar de Wadden.

les praderies de fanerògames. També redueixen el dèficit d'oxigen causat per la respiració nocturna del fitoplàncton i per la sedimentació sobre el fons de les proliferacions de fitoplàncton. Quan la població de bivalves és molt densa, la transformació del fitoplàncton i la matèria orgànica particulada en biodipòsits pot provocar condicions d'hipòxia o d'anòxia sobre fons en zones amb poca circulació d'aigua. Aquests biodipòsits solen tenir altes concentracions de nitrogen orgànic que, un cop arribat al sediment, són utilitzades pels bacteris desnitrificants, de manera que s'afavoreix la mineralització i regeneració dels nutrients inorgànics. L'elevada capacitat d'extracció de partícules orgàniques del medi que tenen les poblacions de bivalves, tant naturals com cultivades, es considera una solució basada en la naturalesa (SbN) per mitigar l'excés de matèria orgànica d'ecosistemes eutrofitzats i millorar la qualitat de les aigües en zones costaneres (Galimany *et al.* 2017).

D'altra banda, les agregacions de musclos i els esculls d'ostres constitueixen estructures tridimensionals complexes que influeixen en la morfodinàmica del fons, en els hàbitats circumdants i en les espècies associades (figura 2). Aquestes bioestructures ajuden a prevenir l'erosió costanera i són punts calents de biodiversitat, albergant densitats elevades d'invertebrats i proporcionant refugi a peixos juvenils.

## Serveis de proveïment

Els bivalves també contribueixen a la producció de matèria i energia dels ecosistemes. Al llarg de la història, els mol·luscs han estat presents en la vida quotidiana de totes les civilitzacions. Els primers grups humans assentats a la costa recol·lectaven mol·luscs per alimentar-se, i en els jaciments prehistòrics és habitual trobar petxines utilitzades com a eines, estris o ornaments. Aquests mol·luscs proporcionen una àmplia gamma de productes naturals basats tant en la seva carn com en la seva closca. El seu consum és beneficiós per a la salut doncs és una carn baixa en greixos i rica en proteïnes, lípids i minerals (sodi, potassi, fòsfor, calci, iode, zinc i magnesi). És un dels aliments que aporta més ferro a la nostra dieta (4,5 grams per cada 100 de carn de musclo) i una excel·lent font de lípids d'alta qualitat en concentrar àcids grassos omega-3. Es creu que la ingesta d'àcids grassos a través del consum de bivalves va ser crítica en el desenvolupament del cervell i l'evolució humana (Crawford 2002). Cal destacar que els bivalves se situen en un nivell baix de la cadena alimentària humana, i el seu cultiu no necessita l'ús de pinsos ni medicaments perquè aprofita la productivitat natural del medi on es desenvolupen.

A més d'aliment, els bivalves ens ofereixen altres beneficis directes com materials de

construcció (àrids) i ornaments (perles, joies). Algunes espècies, com els musclos, s'ancoren a substrats durs segregant uns filaments anomenats biso. Aquests filaments estan recoberts per una cutícula proteica que els atorga notables propietats mecàniques i una gran resistència i adherència. El seu estudi ha estimulat el desenvolupament de materials biomèdics adhesius per a la reconstrucció de teixits humans.

## Serveis culturals

El tercer tipus de serveis que proporcionen els bivalves són els valors no materials que obtenim a través del seu ús i delit com ara l'entreteniment i el plaer estètic. La recol·lecció de petxines és un hàbit molt estès entre les persones que passegen per les platges i els col·leccionistes. Aquestes pràctiques, però, ocasionen perjudicis mediambientals fins al punt que en alguns països s'ha prohibit la seva recol·lecció. De manera anàloga als jardins terrestres, els «jardins de bivalves» són una activitat recent en la qual musclos i ostres es cultiven de manera comunitària per a consum personal. A la costa est d'EUA, aquestes pràctiques s'han desenvolupat a partir de programes de restauració d'estuaris degradats.

La societat està perdent els beneficis que obté dels bivalves a mesura que les seves poblacions

desapareixen de les nostres costes. El declivi dels bancs de bivalves a la Mediterrània és causat per la combinació de factors com malalties, sobreexplotació, contaminació, pèrdua de l'hàbitat, etc. (Baeta *et al.* 2014). Per mitigar aquest declivi s'estan duent a terme diverses iniciatives. La *Native Oyster Network* juntament amb la *Native Oyster Restoration Alliance* (NORA) són dues xarxes interconnectades per afavorir la restauració dels bancs d'ostres a Europa. Cal estendre aquest tipus de projectes mitjançant la rehabilitació de l'hàbitat, la sembra de juvenils procedents de cultiu i programes eficients de maneig d'estocs per recuperar les poblacions de bivalves i poder així seguir gaudint dels seus serveis.

## Referències

- Baeta M., Ramón M., Galimany E. 2014. Decline of the *Callista chione* (Bivalvia: Veneridae) beds in the Maresme coast (northwestern Mediterranean Sea). *Ocean Coast. Manag.* 93: 15-25.
- Crawford M.A. 2002. Cerebral evolution. *J. Nutr. Health* 16: 29-34.
- Galimany E., Wikfors G.H., Dixon M.S., *et al.* 2017. Cultivation of the ribbed mussel (*Geukensia demissa*) for nutrient bioextraction in an urban estuary. *Envir. Sci. and Tech.* 51: 13311-13318.
- Smaal A.C., Ferreira, J.G., Grant J., *et al.* (eds.). 2019. Goods and services of marine bivalves. Springer Open. 598 pp.

DOI: <https://doi.org/10.20350/digitalCSIC/14081>

## 3.8. Seguiment i recuperació d'espècies afectades per la pesca en ecosistemes marins d'aigües profundes: un esforç conjunt entre biologia i tecnologia

Jacopo Aguzzi, Joan Navarro, Maria Vigo, Ivan Masmitja, Nixon Bahamon, José Antonio García, Guiomar Rotllant, Laura Recasens, Jordi Grinyó, Marc Carreras, Joaquín del Río, Spartacus Gomariz, Joan B. Company

Els oceans proporcionen importants serveis ecosistèmics, i és el subministrament de proteïnes un dels principals beneficis per a la humanitat. L'activitat pesquera mil·lenària del Mediterrani constitueix avui en dia gairebé la meitat de totes les pesqueres de la UE i la utilització de mètodes de pesca d'alt impacte ha convertit aquesta activitat humana en un dels principals impulsors de la degradació dels ecosistemes, especialment en entorns bentònics (Puig *et al.* 2012). L'art de pesca d'arrossegament provoca l'eliminació de sediments i posa en perill els recursos vius demersals i els seus ecosistemes, i les espècies d'epi-fauna fràgils són substituïdes per carronyaires o depredadors mòbils i les espècies de llarga vida són substituïdes per espècies de vida curta. A la mar Mediterrània, moltes poblacions demersals comercials estan essent sobreexplotades, el que redueix per a les espècies icòniques, els beneficis econòmics de la pesca i els serveis ecosistèmics associats amb els aspectes culturals.

Davant d'aquesta situació, s'estan creant xarxes ecològiques d'Àrees Marines Protegides (AMP), on no es permet cap tipus d'activitat pesquera (és a dir, reserves de no extracció) i on s'assegura la connectivitat de l'hàbitat amb escales adequades de proximitat geogràfica (Vigo *et al.* 2021). Per bé que l'objectiu principal de les AMP és la conservació de la natura, aquestes

també permeten la recuperació dels recursos pesquers, inclosa la fràgil fauna sèssil, i la restauració de l'hàbitat.

### Tecnologies de monitorització ecològica no invasiva

El desenvolupament de tecnologies de seguiment mitjançant videocàmeres no invasives, com és el cas dels observatoris submarins cablejats i modulars autònoms (desplegables des del vaixell) i les erugues mòbils (Aguzzi *et al.* 2020), és cada cop més necessari per tal d'avaluar el progrés dels hàbitats i la recuperació de les poblacions de peixos a les AMP i els seus voltants. Aquestes tecnologies permeten anar acomplint els objectius de la Directiva Marc d'Estratègia Marina, encaminats a aconseguir un Bon Estat Ambiental. És d'esperar que una tecnologia de monitoratge ecològic adequada, que operi de forma remota i autònoma (és a dir, independent de l'assistència humana i dels vaixells), rastregi els canvis en 11 descriptors, com a no desviats d'un estadi no pertorbat, que inclouen: biodiversitat, espècies exòtiques, poblacions de peixos, xarxes tròfiques, eutrofització, integritat dels fons marins, condicions hidrogràfiques, contaminants de l'aigua de mar, contaminants dels aliments del mar, brosa i energia.



## Plataformes autònomes com a complement dels mostrejos oceanogràfics

En els darrers anys, els enfoc robòtics marins han permès cada cop més un seguiment rentable i d'avantguarda dels ecosistemes bentònics i pelàgics, de forma remota, en escales diàries, estacionals i plurianuals. La tecnologia d'observatoris submarins vídeo-cablejats que adquireixen dades oceanogràfiques i biogeoquímiques multidisciplinàries sense restriccions de potència i ample de banda, ha estat un element clau per monitorar els ecosistemes marins (del Río *et al.* 2020). La recopilació de dades replicades espacialment, permet l'extracció d'indicadors ecològics, quantificant tant l'eficiència de la restauració com l'abundància i biomassa d'espècies locals (comptant i dimensionant els individus), i també la biodiversitat (compilant llistes d'espècies i la seva uniformitat relativa). Tanmateix, l'àrea d'estudi es troba circumscrita al lloc de desplegament, i els costos d'operació i manteniment de la tecnologia submarina són considerables, el que limita el seu ús. A més a més, el monitoratge de les pesqueres s'està utilitzant per tal de recopilar informació sobre la biologia de les espècies explotades, però dins del seu ús s'ha d'incloure l'ecosistema complet per a què sigui del tot efectiu (Aguzzi *et al.* 2020). Per tal de superar aquestes limitacions, s'han utilitzat plataformes independents com a complement de les campanyes oceanogràfiques estàndard a bord de vaixells d'investigació.

### El paper dels vehicles submarins autònoms per a la recopilació de dades ecològiques

Recentment, aquestes implementacions s'han utilitzat en col·laboració amb Vehicles Submarins Autònoms (AUVs) (figura 1). Mentre que l'ús de llarga durada de AUVs per a estudis remots d'aigües profundes és rar, un increment en la seva autonomia de navegació i en les capacitats de recopilació i transmissió de dades, pot augmentar el seu atractiu per a àmplies exploracions marines (Masmitja *et al.* 2020). Els científics i els tecnòlegs estan compromesos en



Figura 1. El Girona 500 AUVs utilitzat per rastrejar escamarlans (*Nephrops norvegicus*) a 400 m de fondària en el nord-oest de la mar Mediterrània.

el desenvolupament d'una plataforma modular espacialment adaptable i no invasiva que consta d'estacions bentòniques independents i connectades sense fils i AUVs per monitorar i cartografiar els ecosistemes marins durant períodes de temps prolongats i sota supervisió en temps real.

Els AUVs podrien jugar un paper central pel seguiment ecològic i dels estocs en una xarxa recentment establerta d'AMP del Mediterrani espanyol (figura 2). Quan es troben associats amb observatoris moduls autònoms i independents, els AUVs permeten l'extrapolació d'indicadors biològics i ambientals de cada zona de reserva, i això és escalable en el conjunt de la xarxa, per tal de tenir una visió geogràfica global del sistema ecològic objecte de protecció. Les xarxes de monitoratge d'observatoris moduls i AUVs

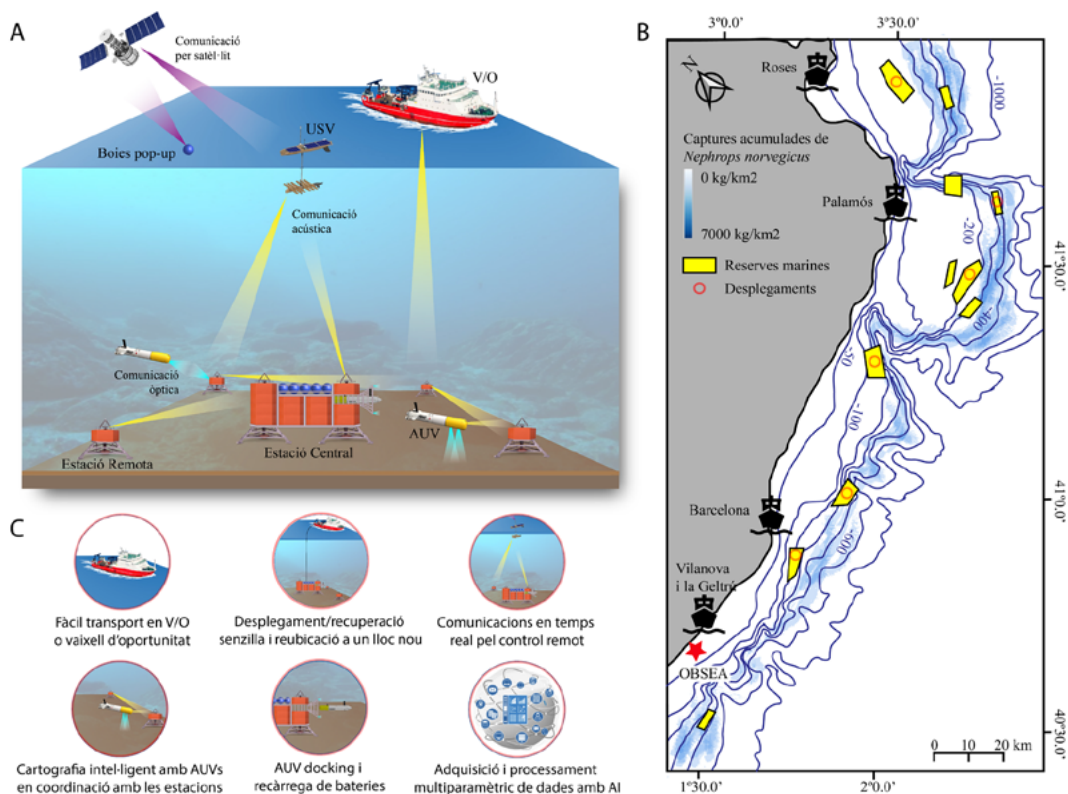


Figura 2. Xarxa modular espacialment adaptativa d'estacions bentòniques independents i connectades entre si sense fils i amb AUV (A), per observar, monitorar i cartografiar de forma intel·ligent els ecosistemes marins, durant períodes llargs amb adquisició i transmissió de dades en temps real (B), amb les seves característiques clau (C).

tenen el potencial de convertir-se en una solució generalitzada per a l'avaluació de l'impacte humà en contextos ecològics molt diferents i rellevants per a l'agenda del Creixement Blau (és a dir, per assessorar a les parts interessades i als responsables polítics en l'assoliment d'unes mares netes, saludables i productives en el context del creixement de les activitats marítimes tant a les costes com a les aigües profundes).

## Referències

Aguzzi J., Chatzievangelou D., Marini S., *et al.* 2019. New high-tech interactive and flexible networks for the future monitoring of deep-sea ecosystems. *Environ. Sci. Technol.* 53: 6616-6631.

Aguzzi J., Chatzievangelou D., Company J.B., *et al.* 2020. Fish-stock assessment using video imagery from worldwide cabled observatory networks. *ICES J. Mar. Sci.* 77: 2396-2410.

del Río J., Nogueras M., Aguzzi J., *et al.* 2020. A decadal balance for a cabled observatory deployment. *IEEE Access* 8: 33163-33177.

Masmitja I., Navarro J., Gomariz S., *et al.* 2020. Mobile robotic platforms for the acoustic tracking of deep water demersal fishery resources. *Sci. Rob.* 5: eabc3701.

Puig P., Canals M., Company J.B., *et al.* 2012. Ploughing the deep seafloor. *Nature* 489: 286.

Vigo M., Navarro J., Masmitja I., *et al.* 2021. Spatial ecology of Norway lobster (*Nephrops norvegicus*) in Mediterranean deep-water environments: implications for designing no-take marine reserves. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 674: 173-188.

DOI: <https://doi.org/10.20350/digitalCSIC/14082>

## 3.9. Ciència i recursos marins vius: cap un futur diferent

Francesc Sardà, Isabel Palomera

La sostenibilitat de les poblacions que s'exploten com a recursos marins ha estat abastament estudiada des de principis del segle passat. L'efecte de les dues guerres mundials va fer avançar de manera especial la denominada *dinàmica de les poblacions* aplicada a la pesca en el context que, mitjançant les parades forçoses d'algunes flotes durant els conflictes bèl·lics, es va poder constatar com algunes poblacions de peixos es recuperaven de l'explotació que havien sofert anteriorment. Això va fer que, sobre els principis donats per Hjort (1914) i altres, es desenvolupessin els models sobre els quals avui dia es basen les propostes de regulacions científiques de les pesqueres mundials.

Aquests models s'han anat aplicant a molts mars i oceans del món. Concretament al mar Català per membres de l'antic Instituto de Investigaciones Pesqueras (CSIC) i, més tard, però de forma continuada, per membres del Departament de Recursos Marins Renovables de l'Institut de Ciències del Mar de Barcelona (ICM-CSIC). Des dels anys 70 del passat segle, els coneixements sobre les pesqueres de la Mediterrània han anat avançant amb estudis sobre les biologies de les principals espècies explotades (creixement, reproducció i cicles larvaris, alimentació, ecologia, etc.).

### El paper de la Ciència

Trobar *punts de referència* com a indicadors per poder gestionar les pesqueres ha estat una fita important que permet determinar el *màxim rendiment sostenible* i explotable anualment de les poblacions de peixos, crustacis i cefalòpodes. L'aparició durant els anys 80 de la tecnologia

digital ha permès tenir a l'abast eines acurades per avaluar aquestes pesqueres i poder disposar i treballar gran quantitat d'informació biològica i oceanogràfica i, fins i tot darrerament, veure-les sota una perspectiva eco-sistèmica amb l'aplicació de models globals i de producció (Coll i Palomera 1990). La tasca i rigor de la Ciència a casa nostra ha quedat palesa en el fet d'haver previst i avisat de la sobre-explotació prèvia a la davallada actual (Lleonart 1996).

Actualment, amb una pesquera minvada i una gestió fallida en gran part de les poblacions explotades, cal preguntar-se com es pot encaixar un futur sostenible per aquests recursos. El primer és preguntar-nos què s'ha fet, o no s'ha fet fins ara, per haver arribat a aquesta situació insostenible i, en segon lloc, què és el que s'ha de rectificar (Sardà 2017).

Podem dir que la Ciència és, per definició i per mètode, la manera més objectiva i intel·ligible d'anticipar la incertesa. Tot i les investigacions i advertiments científics durant els darrers 50 anys, les decisions finals en els *forums* de pesca de gestió nacionals i internacionals a la Mediterrània, mai les han tingudes en compte almenys d'una manera prioritària i efectiva (Cury i Miserey 2008) o en comptades ocasions. Per exemple, la prohibició de pescar amb arrossegament a més de mil metres de fondària a la Mediterrània.

Les propostes de reduccions directes de flota i esforços, i altres mesures de control proposades pels científics, representaven una nosa per el desenvolupament socio-econòmic a curt termini del sector pesquer. A Catalunya el resultat està a la vista, un sector minvat als mínims històrics, unes captures minses i una captura per unitat

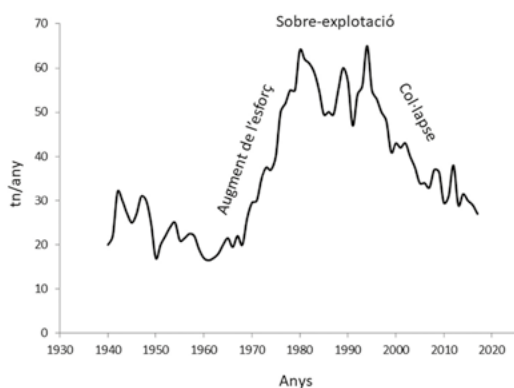


Figura 1. Evolució històrica dels desembarcaments totals (t/any) a Catalunya. Font: Servei de Pesca de la Generalitat de Catalunya.

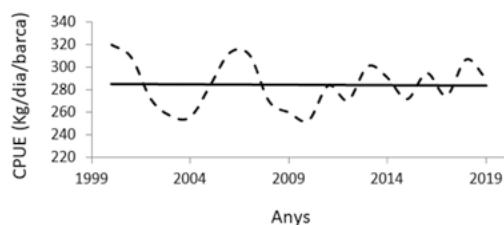


Figura 2. Evolució de les captures per unitat d'esforç (CPUE) a Catalunya des de l'any 2000 i línia de tendència (horitzontal). Font: Servei de Pesca de la Generalitat de Catalunya.

d'esforç (CPUE) que, fins i tot amb la reducció forçosa de la flota des de l'any 2000, encara no es recupera (figures 1 i 2).

S'ha arribat a aquesta situació per valorar més el rendiment econòmic d'un sector ja fortament subvencionat i pel funcionament d'una política electoralista, que no pas per fer cas als científics per tal d'assolir un rendiment sostenible de la pesquera.

La política de pedaços portada a terme fins ara no ha estat efectiva. Si les ampliacions de malla, la reducció d'horaris, les limitacions de fondàries, les vedes, les àrees protegides, etc., no han aconseguit frenar el col·lapse actual és degut a que les mesures preses han estat massa tímidas davant d'unes flotes sobre-dimensionades en nombre i poder de pesca individual, i amb un desenvolupament tecnològic descontrolat i ignorat. Per altra banda, l'administració s'ha mantingut supeditada al sector extractiu per no

incomodar-lo, sense aplicar estrictament les recomanacions científiques.

## Què caldria fer

La Ciència, amb total llibertat i independència i en representació de la societat, és qui ha de liderar les directrius de la recuperació, fora de les interferències del sector o l'Administració. El sector pesquer ha de ser escoltat per tal que l'Administració pugui gestionar l'explotació tècnica, econòmica i social del recurs, però no pot actuar com a grup de pressió davant les decisions tècnico-científiques. S'han d'atorgar llicències i establir directrius sota criteris absolutament i estrictament científics per arribar a tenir un servei públic-privat de qualitat, estable i durador. La Ciència és qui ha de determinar com, quan i de quina manera s'explota el recurs per tal d'assolir la *producció màxima sostenible*. L'Administració ho ha de gestionar amb el sector de manera que ajusti l'activitat pesquera als indicadors bio-ecològics, vetllant per no sobrepassar les captures màximes sostenibles, redimensionant la flota, gestionant les vedes, ampliant àrees protegides, compensant el desenvolupament tecnològic, assumint les tasques de vigilància i apaivagant la desinversió econòmica.

A «La Tragèdia dels Comuns» (Harding 1968) explica que en un escenari de sobreexplotació de recursos compartits, els usuaris, actuant de forma individual i independent però racionalment en funció del seu propi interès, acaben comportant-se contràriament a l'interès comú, arribant a esgotar el mateix recurs que comparteixen. Com a «Comuns», s'entén qualsevol recurs compartit i poc o gens reglamentat, com ara l'atmosfera, els rius i oceans, les poblacions de peixos, boscos, selves, etc. Un bon exemple d'aquesta tragèdia és com s'ha arribat a la crisi global actual provocada pel desenvolupament industrial sense límits a base de cremar combustibles fòssils, esgotar els recursos minerals i destruir la biodiversitat. Fins i tot la pandèmia actual del COVID-19 ens ha ensenyat amb escreix el valor predictiu i de resolució de la Ciència.

El comandament de la recuperació dels recursos marins per part d'una Ciència prioritàriament vinculant i independent, és la gran fita



que s'ha d'assolir en la propera dècada per un desenvolupament realment sostenible dels recursos marins vius.

## Referències

- Coll M., Palomera I. 1990. Hacia el estudio y la gestión pesquera basada en los ecosistemas. *Ecología Política. Crisis global de la pesca*. 32: 87-89. Editorial Icaria.
- Cury Ph., Miserey Y. 2008. *Une mer sans poissons*. Calman-Lévy. 283 pp.

- Harding G. 1968. The Tragedy of Commons. *Science* 162: 1243-1248.
- Hjort J. 1914. Fluctuations in the great fisheries of northern Europe viewed in the light of biological research. *Rapp. P. v. Reun. Cons. int. Explor. Mar.* 20: 228 pp.
- Lleonart J. 1996. La pesca en Cataluña y su gestión. *Butll. Inst. Hist. Nat.*, 64: 135-158.
- Sardà F. 2017. La sostenibilidad de la pesca en Cataluña. *Perspectivas desde la ciencia*. 166 pp., Ed. Laertes. Barcelona.

DOI: <https://doi.org/10.20350/digitalCSIC/14083>

## 3.10. La primera cogestió pesquera a Catalunya: el cas de la pesca del sonso

Pilar Sánchez, Montserrat Demestre, Ana I. Colmenero

La pesca del sonso la realitzen tradicionalment 25 embarcacions artesanals repartides per 6 ports pesquers de la costa nord de Catalunya (Barcelona, Arenys de Mar, Blanes, Sant Feliu de Guíxols, Palamós i l'Estartit). La «sonsera» és una xarxa d'encerclament que s'utilitza per capturar *Gymnammodytes cicereus* i *G. semisquamatus* (Sabatés *et al.* 1990), conegut com sonso. Els individus de les dues espècies de *Gymnammodytes* són peixos farratgers de vida curta que poques vegades arriben als 15 cm de longitud i viuen en fons sorrencs poc profunds (entre 5 i 10 m de profunditat) generalment excavant a la sorra.

Sonsera pot referir-se tant a l'art com al vaixell (figura 1). La captura d'aquestes espècies no és possible amb cap altre mètode a causa de la mida de malla necessari per capturar l'espècie objectiu i una profunditat inferior a 50 m. Els vaixells de pesca operen cinc dies a la setmana, anant a pescar d'hora al matí quan els sonsos surten dels seus forats. Els pescadors busquen bancs de sonso utilitzant el so de l'eco, i després d'un a tres bols tornen a port per vendre la captura. Les dues espècies de sonso poden aparèixer barrejades en la captura que es destina íntegrament al consum humà directe, ja que l'espècie és molt apreciada a la regió.

### El problema

El 2006, la Unió Europea va adoptar el primer marc normatiu integral sobre mesures tècniques i de gestió per als països europeus mediterranis. Un dels pilars d'aquest reglament era una disposició per a l'adopció obligatòria pels Estats membres de plans de gestió per a algunes pesqueres realitzades dins de les seves

aigües territorials com a molt tard al desembre de 2007. En esmentar específicament les xarxes de cercol, aquesta disposició va afectar directament a la sonsera. A més, el mateix reglament va incloure mesures tècniques relacionades amb la mida de malla, la distància mínima a la costa i les profunditats permeses per a les xarxes remolcades, que també tenen impacte en les pesqueres. La mida de malla per als arts remolcats es va establir el juliol de 2008 i es va prohibir el seu ús dins de les tres milles nàutiques de la costa, encara que ambdues mesures tècniques es van beneficiar d'una excepció transitòria fins a finals de maig de 2010. A més, les dues mesures podrien fins i tot beneficiar-se d'una derogació permanent si està degudament justificada amb proves científiques i en el context d'un pla de gestió. Un requisit addicional indispensable perquè els vaixells obtinguin l'exempció posterior (distància mínima a la costa) és tenir un historial d'aquestes pesqueres de més de cinc anys sense possibilitat d'un augment futur de l'esforç pesquer. Aquesta última mesura va tenir un impacte crucial en la mida de la flota de pesca del sonso a la regió catalana, ja que va resultar en una llista efectiva de 25 vaixells autoritzats a pescar aquestes espècies.

El pla de gestió necessari per a la pesquera que aborda les excepcions esmentades es va enviar inicialment a la Comissió Europea el 2010, i les versions revisades del pla el 2011. Al gener de 2012, el pla va ser rebutjat a causa de la falta d'un estudi científic que recolzés les mesures proposades i les excepcions. Per tant, la pesquera va ser considerada il·legal i obligada a tancar, i va produir una gran crisi en el sector. Davant d'aquesta situació, els pescadors es van acostar a les organitzacions



Figura 1. Art de Sonsera (Foto Alba Rojas).

no governamentals (ONG), científics i les diferents administracions per demanar suport. L'abril de 2012 es va constituir per primera vegada un Comitè de Cogestió (Administració, pescadors de sonsera, científics i ONG) com a figura jurídica responsable de l'execució del Pla de Gestió a Catalunya. L'única pesquera autoritzada de sonso es va dedicar a oferir la informació necessària per desenvolupar el Pla de Maneig (Lleonart *et al.* 2014, Sánchez *et al.* 2013). Els científics de l'ICM-CSIC van ser els encarregats de realitzar l'estudi d'investigació sol·licitat per la Comissió de la UE. Després de l'aprovació de les autoritats competents, el pla de gestió va permetre l'obertura de la pesquera comercial a la temporada de pesca de 2014.

En l'actualitat, el Comitè de Cogestió del sonso té diversos objectius a llarg termini: implementar el pla, controlar la seva implementació, monitorar els indicadors, ajustar l'activitat pesquera d'acord amb les regles de control de captura i decidir les sancions en cas d'incompliment.

## La cogestió

Per què és tan important la cogestió? L'ordenació pesquera a través de la cogestió transfereix la responsabilitat a totes les parts interessades involucrades en la pesca del sonso. Sota aquest enfocament innovador, les mesures de gestió, incloses les mesures de seguiment i control, són dissenyades conjuntament per les parts

interessades. La plena participació del sector pesquer en el procés de presa de decisions és particularment rellevant ja que assegura la seva participació proactiva i compromís genuí amb la sostenibilitat (Nielsen *et al.* 2004).

Aquest compromís és fonamental per proporcionar un incentiu real per al compliment rigorós de les normes de gestió. L'enfocament també reconeix els valors socials i culturals del sector pesquer i, per tant, la seva llarga tradició, particularment rellevant en les regions costaneres (Castilla i Defeo 2001).

El Comitè de Cogestió del sonso va rebre el Premi WWF al Mèrit de Conservació en 2013.

## Referències

- Castilla J.C., Defeo O. 2001. Latin America benthic shellfisheries: emphasis on co-management and experimental practices. *Rev. Fish. Biol. Fish* 11: 1-30.
- Lleonart J., Demestre M., Martín P., *et al.* 2014. The co-management of the sand eel fishery of Catalonia (NW Mediterranean): the story of a process. *Sci. Mar.* 78S1: 87-93.
- Nielsen J.R., Degnbol P., Viswanathan K.K., *et al.* 2004. Fisheries Co-Management-An Institutional Innovation? Lessons from South East Asia and Southern Africa. *Mar. Policy* 28: 151-160.
- Sabatés A., Demestre M., Sánchez P. 1990. Revision of the family Ammodytidae (Perciformes) in the Mediterranean with the first record of *Gymnammodytes semisquamatus*. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.* 70: 493-504.
- Sánchez P., Colmenero A.I., Demestre M., *et al.* 2013. Management plan for the boat seine «sonsera». *Rapp. Comm. int. Mer Médit.* 40: 759.

DOI: <https://doi.org/10.20350/digitalCSIC/14084>







## 4. Oceà predictable

Marta Coll, Carolina Gabarró, David Casas

Canvi global, crisi climàtica, creixement sostenible, declivi econòmic, creixement blau, acord ecològic, col·lapse... són paraules habituals presents a tots els fòrums socials i científics. Són conceptes que configuren el marc actual on s'han activat totes les alertes, són autèntics avisos per a la nostra supervivència. Aquestes paraules evidencien que ens enfrontem a grans reptes que tenen implicacions en diferents aspectes econòmics, socials i ecològics de les nostres activitats.

Els sistemes terrestres tenen rols complementaris que contribueixen a l'equilibri que necessitem per mantenir un planeta sa. En aquest context, l'oceà és un actor important. Per exemple, el 40% de la població mundial viu a les zones costaneres, l'oceà regula el clima i produeix part de l'oxigen que respirem, i els hàbitats marins, així com el fons marí són grans embornals de carboni.

Tots els processos geològics, físics, bioquímics i ecològics estan íntimament relacionats i petits canvis en una variable poden produir importants canvis en el sistema oceànic global. La gran incertesa sobre el funcionament de l'oceà requereix continuar fent un important esforç científic: la generació de coneixement és clau per avançar en la nostra capacitat de predir la dinàmica oceànica futura.

En aquest context, és essencial millorar l'exploració i comprensió dels elements que controlen els canvis a l'oceà i les seves relacions amb l'atmosfera i la criosfera, especialment en relació amb el canvi climàtic. Això requereix coneixements dels oceans que van des de la costa fins a les planes abissals, incloses les condicions oceàniques passades, actuals i futures, i des dels organismes més petits fins als més grans.

Un oceà predictable permetrà a la societat adaptar-se i respondre a les seves condicions canviants. Una comprensió completa de les interconnexions en els processos oceànics millorarà les prediccions necessàries per a una societat resistent que afronti els reptes del futur.

## 4.1. De mar en amunt: oceans, aire, núvols i clima

Rafel Simó, Martí Galí, Manuel Dall'Osto

«On és, l'aigua promesa de Kane? Allà damunt l'oceà, en el xàfec de gairell, en l'Arc de Sant Martí, en les boires naixents, en la pluja de sang, en la forma espectral del núvol. És allà, el broll de la vida» (Sinclair 2019).

Els navegants de la Polinèsia fa mil·lennis que miren amunt per trobar el camí en el desert d'aigua de l'oceà. Llegeixen els estels, el vol dels ocells, les formes i els colors dels núvols, perquè saben que el mar i el cel són indestruïbles, que un no s'explica sense l'altre.

També els oceanògrafs tenim motius sobrats per mirar amunt. De l'atmosfera arriba la majoria de l'energia que mobilitza el mar i la vida, sigui en forma de llum i calor del sol, com d'energia mecànica transmesa pel vent. L'aire també suplementa alguns elements essencials per a la vida, com el ferro o el nitrogen; i, malauradament, també porta contaminants de tota mena. Alhora, l'atmosfera és receptora de l'alè i el batec del mar. Ja s'ha demostrat a bastament que no podem entendre ni la composició ni la dinàmica de l'atmosfera si no entenem la influència que hi tenen els oceans: prenen, transporten i retornen calor i gasos d'efecte hivernacle, proveeixen la majoria del vapor d'aigua, i emeten substàncies que regulen la reactivitat i les propietats òptiques (Brévière *et al.* 2015). Atès que tots aquests processos són fonaments del clima, podem dir que els oceans són un element essencial en la regulació del clima.

### L'alè del mar viu

L'impacte dels oceans en l'atmosfera i el clima està molt reforçat per la presència de vida.

Allò que altrament hauria funcionat a base de simples processos d'exhalació i dissolució, d'evaporació i precipitació, d'esquitx i deposició, de fotoquímica i d'intercanvi d'energia entre fluids diferents, la vida ho converteix en una xarxa complexíssima de metabòlits, nutrients, residus d'excreció, reciclatges, detritus. L'alè d'un mar mort seria fonamentalment vapor, sal, diòxid de carboni i oxigen, i el de l'oceà viu hi afegeix gasos de sofre, nitrogen, iode, brom, compostos orgànics –la majoria encara desconeguts–, virus, bacteris i restes cel·lulars (Simó 2011). Algunes d'aquestes substàncies exhalades pel mar intervenen en la química de l'atmosfera, per fer-la més o menys oxidant, més o menys àcida, o per participar en la destrucció de l'ozó. D'altres retornen del mar als continents elements importants que altrament els continents anirien perdent per efecte del rentat de la pluja. Altres substàncies formen partícules atmosfèriques, aerosols, que intervenen en l'òptica de l'atmosfera i, per tant, en el balanç d'energia del planeta (figura 1). Desxifrar l'alè del mar i què el regula és un dels reptes més formidables de les ciències del mar i del clima per als propers anys.

### Aerosols i clima

Els aerosols han despertat sempre l'interès científic, però aquest interès s'ha multiplicat en els últims anys. En bona part, perquè respirar bé, de forma eficient i sana, és una de les funcions que més necessitem. Els aerosols, la pols de l'aire, no els veiem com veiem les aigües brutes i les escombraries, però sabem que ens porten contaminants, al·lèrgens i vectors de malalties. Per això s'implementen mesures per a

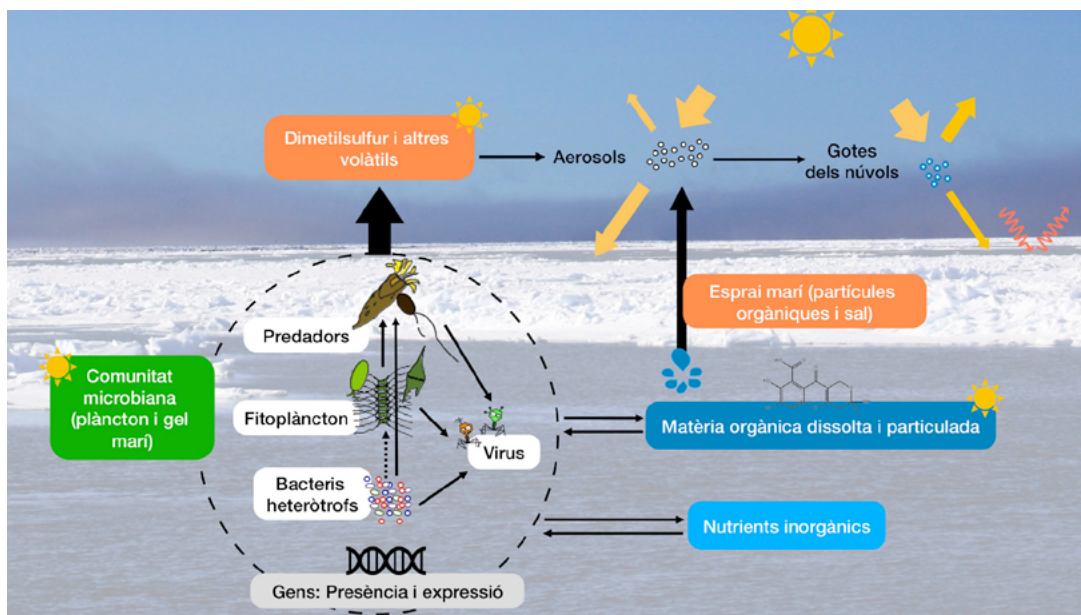


Figura 1. L'alè del mar: a més d'intercanviar calor,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$  i vapor d'aigua, el mar emet a l'aire substàncies que intervenen en la química de l'atmosfera, en la formació de partícules (aerosols) i com a llavors per a la formació dels núvols. Moltes d'aquestes substàncies són produïdes pel plàncton i, segons en quins ecosistemes, també per la vida que habita el gel, per les excrecions dels animals, i pels abocaments dels rius.

la millora de la qualitat de l'aire als ambients on vivim i treballem. Per això cada vegada sabem més coses de com es formen i transformen els aerosols. La crisi climàtica també ha ajudat a fer créixer l'interès per les partícules atmosfèriques. Pensem que l'IPCC reconeix els aerosols com la principal font d'incertesa en les projeccions de l'escalfament global. I és que són un agent climàtic molt potent; de fet, són un agent refredant del clima. D'una banda, enfosqueixen l'aire, encara que sigui de forma imperceptible, perquè absorbeixen i dispersen una part de la radiació solar; aquest efecte, anomenat *efecte directe*, sembla que està disminuint amb la disminució dels aerosols foscos d'origen humà a mesura que fem combustions més eficients i netes. D'altra banda, els aerosols tenen també un *efecte climàtic indirecte*, encara més important: són indispensables en la formació dels núvols (Brooks i Thornton 2018). Des de finals del segle XIX sabem que, perquè el vapor d'aigua condensi per formar núvols, no només calen condicions de saturació sinó també partícules que actuïn de «llavors» al voltant de les quals es formin les gotes, els anomenats *nuclis de condensació*. No se'ns

escapa que els núvols cobreixen dues tercers parts de la superfície de la Terra, reflecteixen i filtren la radiació solar i, tot i que també atrapen l'escalfor que irradia la superfície del planeta, en conjunt són el principal factor de refredament del clima, especialment sobre els oceans; conèixer-ne el cicle de formació i desaparició és una de les peces més anhelades i escàpules del trencaclosques dels models climàtics. Com que un núvol format sobre més nuclis de condensació és més refredant i dura més temps, ja tenim un altre bon motiu per investigar els aerosols als oceans, com són, d'on surten, què els regula, com esdevenen bons nuclis de condensació, com responen als canvis en el clima.

El ràpid desenvolupament dels instruments de mesura de l'abundància, distribució de mides i composició química dels aerosols està permetent descriure'ls en aires tan nets com els oceànics. Sabem que hi predominen dos components: els cristalls de sal aixecats pel vent amb els esquixos, les escumes i el petar de les bombolles, i el sofre provinent de l'activitat del plàncton. La sal forma part del que anomenem *aerosols primaris*, els que ja s'incorporen a l'aire

com a partícula. Juntament amb la sal hi trobem sucres, proteïnes i cèl·lules senceres. El sofre és el component principal dels *aerosols secundaris*, els que neixen de la conversió de gasos en partícules, i creixen per reacció i condensació de més gasos. L'acompanyen compostos de carboni, nitrogen i iode. En els estudis més recents busquem seguir el procés de naixement dels aerosols primaris i secundaris marins, i determinar-ne els ingredients (Brean *et al.* 2021). Simultàniament a la recerca dels aerosols, posem en joc els coneixements adquirits d'estudi de la genètica, la fisiologia i l'ecologia del plàncton per tal d'entendre els processos biològics que hi ha a la base de la formació dels aerosols marins. Amb tota aquesta informació, voldríem ser capaços d'elaborar models numèrics de predicció dels aerosols i els núvols. Mentre aquests models estan tot just en construcció, les aproximacions estadístiques amb dades de satèl·lits orbitals ens ofereixen dreceres per anar convertint els resultats de les nostres observacions locals en patrons regionals i globals (Galí *et al.* 2019). Al capdavant, es tracta d'arribar a desxifrar si els

oceans vius, amb les seves exhalacions naturals modelades per milions d'anys, tenen capacitat d'esmoreir l'escalfament global.

## Referències

- Brean J., Dall'Osto M., Shi Z., Beddows D.C.S., Simó R., Harrison R.M. 2021. Open ocean and coastal new particle formation from sulfuric acid and amines in the Northern Antarctic. *Nat. Geosci.* 14: 383-388.
- Brévière E.H.G., Bakker D.C.E., Bange H.W. *et al.* 2015. Surface ocean-lower atmosphere study: Scientific synthesis and contribution to Earth system science. *Anthropocene* 12.
- Brooks S.D., Thornton D.C.O. 2018. Marine Aerosols and Clouds. *Annu. Rev. Mar. Sci.* 10: 289-313.
- Galí M., Devred E., Babin M., Levasseur M. 2019. Decadal increase in Arctic dimethylsulfide emission. *PNAS* 116: 19311-19317.
- Simó R. 2011. The role of marine microbiota in short-term climate regulation. A: C. Duarte (ed.), *The Role of Marine Biota in the Functioning of the Biosphere*. Fundación BBVA, Rubes Ed., Bilbao, pp. 107-130. ISBN 978-84-92937-04-2.
- Sinclair M. (ed.). 2019. *The path of the ocean. Traditional poetry of Polynesia*. University of Hawaii Press, Honolulu, pp. 13-14. ISBN 9780824883881.

DOI: <https://doi.org/10.20350/digitalCSIC/14087>



## 4.2. Desxifrant la recurrència dels processos sedimentaris marins

Belén Alonso, David Casas, Gemma Ercilla, Ferran Estrada

Els processos sedimentaris formen part de la història dels nostres oceans al llarg del temps geològic. Aquests processos són els mateixos des de fa diversos milions d'anys i han donat lloc a una àmplia gamma de fenòmens geològics recurrents i la seva freqüència depèn del context geològic de la regió. La recurrència d'aquests processos depèn de si aquests processos es generen en condicions geològiques estables o durant esdeveniments geològics convulsius. Aquests últims fan referència a esdeveniments extraordinàriament energètics que afecten una regió, com poden ser les erupcions volcàniques explosives, grans masses llicades, inundacions catastròfiques, grans terratrèmols, i

tsunamis gegants. A continuació, es presenta la forma en la qual els geòlegs aborden la ciclicitat i la recurrència dels processos sedimentaris formulant algunes preguntes.

### Quin és l'interès?

L'interès que han despertat en els últims temps els estudis sobre la recurrència dels processos sedimentaris marins que inclouen des de fluxos en massa, corrents turbidítics i corrents de fons, és per a millorar la comprensió de l'evolució geològica dels marges continentals i conques dels oceans. Aquest tema és rellevant també

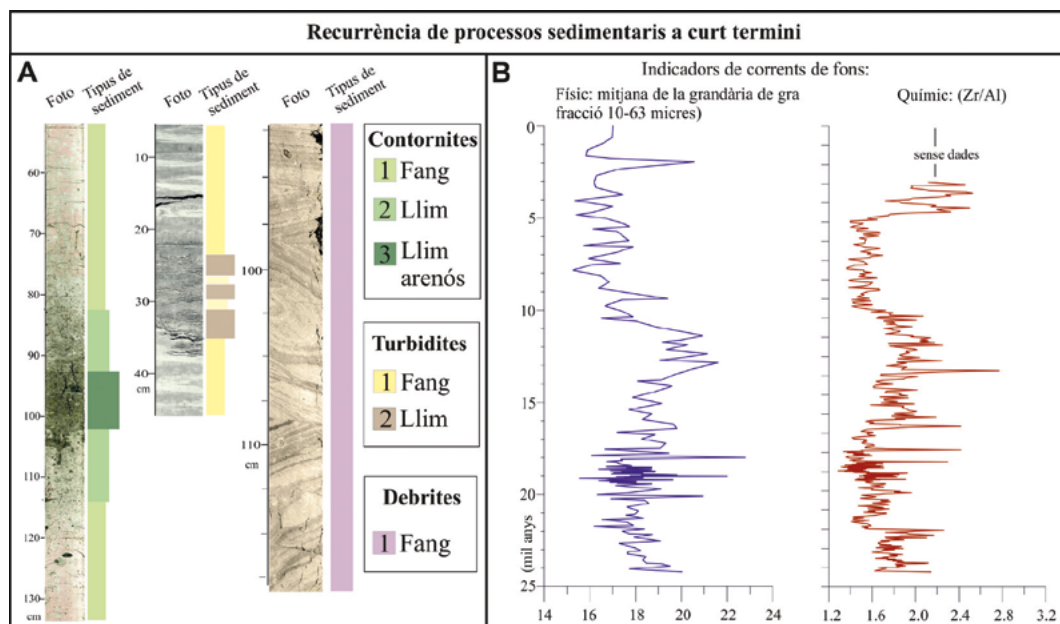


Figura 1. A, testimonis de sediment mostrant tres tipus de sediments marins (contornites, turbidites i debrites; modificat d'Alonso *et al.* 2016). B, registre dels canvis de corrents de fons durant els últims 25.000 anys.

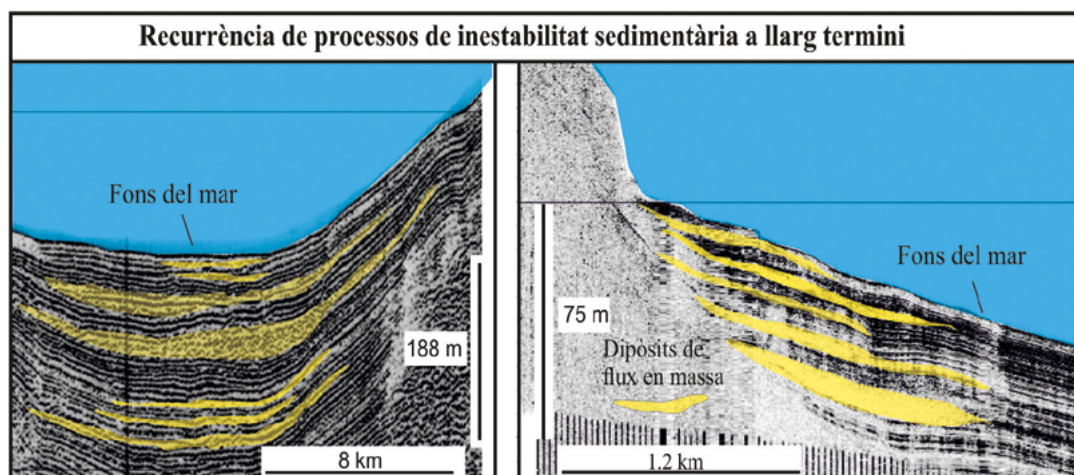


Figura 2. Perfils sísmics mostrant la recurrència dels dipòsits formats per fluxos en massa durant el Quaternari (2,6 milions d'anys) al Mediterrani Sud Occidental (modificat d'Alonso *et al.* 2014).

per a identificar els perills geològics potencials que poden representar la recurrència d'esdeveniments sedimentaris.

### Com ho fem?

Per a dur a terme l'estudi de la recurrència de processos sedimentaris, els geòlegs marins descodifiquen els registres sedimentaris preservats en el fons marí (marges continentals i conques). El coneixement dels registres sedimentaris s'aconsegueix amb l'estudi de perfils de sísmica i testimonis de sediment (figures 1 i 2). Tots dos tipus d'imatges geològiques són essencials per a identificar els tipus de sediments i a més proporcionen informació sobre les seves relacions laterals amb altres dipòsits i de les seves característiques granulomètriques i composicionals. El segon pas consisteix a fixar l'escala temporal dels processos sedimentaris. Per fer això, es poden aplicar dos mètodes: directe i indirecte. El mètode directe consisteix en la quantificació de l'edat de les mostres de sediment, i són la datació isotòpica d'oxigen i la datació per radiocarboni 14, els mètodes més difosos. El mètode indirecte possibilita determinar la cronologia dels dipòsits registrats en els perfils de sísmica mitjançant la identificació i correlació dels límits sísmics (horitzons) amb les edats absolutes de testimonis de sediment. Complementaris amb aquestes tècniques, eines invasives (mostreig) d'utilitat per a

conèixer les característiques sedimentològiques i mineralògiques i no invasives (escanejat en continu de testimonis de sediments) d'utilitat per a conèixer les propietats físiques i químiques, són rellevants per a interpretar els processos sedimentaris i per tant la integració d'aquests amb l'edat permeten calcular la seva recurrència.

Els dos tipus de registres sedimentaris (testimonis de sediment i perfils de sísmica) proporcionen informació a dues escales temporals: centenes a milers d'anys (figura 1B) i milions d'anys (figura 2).

### Quina és la recurrència dels processos sedimentaris en els marges Ibèrics?

En el mar d'Alboran, s'ha estimat que la recurrència dels esdeveniments relacionats amb fluxos en massa varia des de moderada (1 esdeveniment cada 40.000 anys) a baixa (1 esdeveniment cada ~300.000 anys) i és aquesta recurrència la predominant durant el Quaternari (2,6 milions d'anys, figura 2; Alonso *et al.* 2014). La recurrència d'aquests esdeveniments està estretament relacionada amb els polsos tectònics i/o sísmics que caracteritzen l'evolució geològica del NE d'Alboran. D'altra banda, la recurrència dels corrents turbidítics fonamentalment està relacionada amb el transport de sediments dels rius als canons durant períodes de descens del nivell del mar, o durant l'ascens del nivell del mar en

el cas que els canons estiguin encaixats en la plataforma continental i pròxims a un riu. Aquesta variabilitat fa que la freqüència dels esdeveniments sigui molt àmplia (des de milers a centenars de milers d'anys) i a vegades amb patrons impulsats per cicles del nivell de mar 400, 200 i 100 mil anys. En altres contextos geològics, com l'entorn de l'oceà profund del Banc de Galícia, on no existeix la influència de l'aportació fluvial, s'ha descrit una recurrència dominant d'un esdeveniment turbidític cada 3.000 anys (Alonso *et al.* 2008). Un altre procés sedimentari vinculat amb la dinàmica de corrents de fons està influenciat amb la variabilitat i les taxes de canvis de masses d'aigua. En el Mediterrani occidental s'ha determinat una freqüència alta de paleo corrents de fons (exemple: 1 esdeveniment cada 1.900, 2.300, 4.000, i 6.200 anys; figura 1B; Alonso *et al.* 2021). Aquests esdeveniments es registren en les contornites i estarien potencialment vinculats a mecanismes de forçaments tant oceànics com solars.

La Terra i els oceans estan en constant evolució i el temps geològic implica una enorme

quantitat d'anys des de la perspectiva humana. No obstant això, l'ocurrència d'esdeveniments geològics instantanis, fins i tot a escala humana, és possible, i és una probabilitat que no pot ser oblidada.

## Referències

- Alonso B., Ercilla G., Casas D., *et al.* 2008. Late Pleistocene and Holocene sedimentary facies on the SW Galicia Bank (Atlantic NW Iberian Peninsula). *Mar. Geol.* 249: 46-63.
- Alonso B., Ercilla G., Garcia M., *et al.* 2014. Quaternary Mass-Transport Deposits on the North-Eastern Alboran Seamount (SW Mediterranean). In: Krastel S., Behrmann J.-H., Volker D. *et al.* (eds). *Submarine Mass Movements and Their Consequences*. Chapter 50. pp. 561-570.
- Alonso B., Ercilla G., Casas D., *et al.* 2016. Gravity flow deposits vs contourite deposits and the sediment provenance of the Pleistocene deposits in the Faro Drift (Gulf of Cadiz): sedimentological and geochemical approaches. *Mar. Geol.* 377: 77-94.
- Alonso B., Juan C., Ercilla G., *et al.* 2021. Paleooceanographic and paleoclimatic variability in the Western Mediterranean during the last 25 cal. kyr BP. New insights from contourite drifts. *Mar. Geol.* 437: 106488

DOI: <https://doi.org/10.20350/digitalCSIC/14133>

## 4.3. Cartografiant el fons marí: la resolució és la solució

Ferran Estrada, Gemma Ercilla, David Casas, Belén Alonso

La predictibilitat del fons marí és un dels grans objectius a assolir dins de la dècada de les ciències dels oceans per al desenvolupament sostenible. De la mateixa manera, ha estat un dels principals objectius de l'Institut de Ciències del Mar (ICM), al llarg dels seus 70 anys d'història. La cartografia del fons marí és un element clau per a la comprensió del passat, el present i el futur dels processos geològics submarins i, per tant, de la consecució d'un oceà previsible. Aquest assoliment encara és lluny de ser una realitat, ja que gran part del fons oceànic roman inexplorat o el seu coneixement es limita a imatges de poc detall. La resolució ha estat la solució per entendre la dinàmica dels processos sedimentaris i de les estructures tectòniques. Això és així perquè ens ha permès cartografiar trets no descoberts prèviament i alhora millorar estudis anteriors amb interpretacions morfològiques més acurades i fiables. El detall de les nostres observacions, estretament lligat al desenvolupament tecnològic, i la millor comprensió dels processos geològics ens permeten la seva modelització i predictibilitat.

### Imatges batimètriques del fons marí: de baixa a molt alta resolució

La precisió de qualsevol mesurament geomorfològic depèn de les dades en relació a l'escala de l'objectiu a estudiar. En molts casos, es poden fer mesures morfomètriques fiables d'elements de primer ordre mitjançant dades de resolució relativament grollera (sovint muntades al casc del vaixell). Alguns exemples d'elements de primer ordre són: la longitud total d'un sistema turbidític o dels canals i lòbuls princi-

pals associats a ell; les falles i plecs de primer ordre, les característiques generals dels dipòsits contornítics o la presència d'esllavissades en un marge continental concret. Tot i això, molts elements clau d'escala petita es perden quan treballem amb dades de resolució grollera, la qual cosa impossibilita llur detecció. Per exemple, formes de fons que ens indiquen l'existència de corrents locals, la morfometria detallada d'una esllavissada per establir els processos implicats o la identificació de tascons sedimentaris derivats de l'activitat de falles per identificar períodes relatius de recurrència.

Per il·lustrar que de vegades la resolució és la solució, vegeu la figura 1, on es mostren tres imatges de diferent detall (resolució) de la mateixa zona del talús al marge continental de Garrucha, a prop del Cap Gata (Almeria, SE Espanya). La imatge amb la resolució més baixa (figura 1B) té una graella de 667×667 m (base de dades GEBCO); les figures (figura 1A i C) amb una graella de 50×50 m (dades de multifeix muntades al casc); i la darrera imatge (figura 1D) a 1×1 m, enregistrada a prop del fons marí des d'un vehicle autònom (batimetria multifeix AV). En cada cas, si la dimensió d'una estructura geològica determinada està per sota de la resolució utilitzada, ens passarà desapercebuda i, per tant, la nostra interpretació serà esbiaixada. A la pràctica, l'enfocament del problema de la resolució és principalment una qüestió d'equilibri entre el temps i l'espai, és a dir, la disponibilitat del temps del vaixell enfront de la superfície del fons marí a investigar. Com més gran sigui el detall, menor serà la zona de recerca. Això es deu al fet que, normalment, reconeixem les



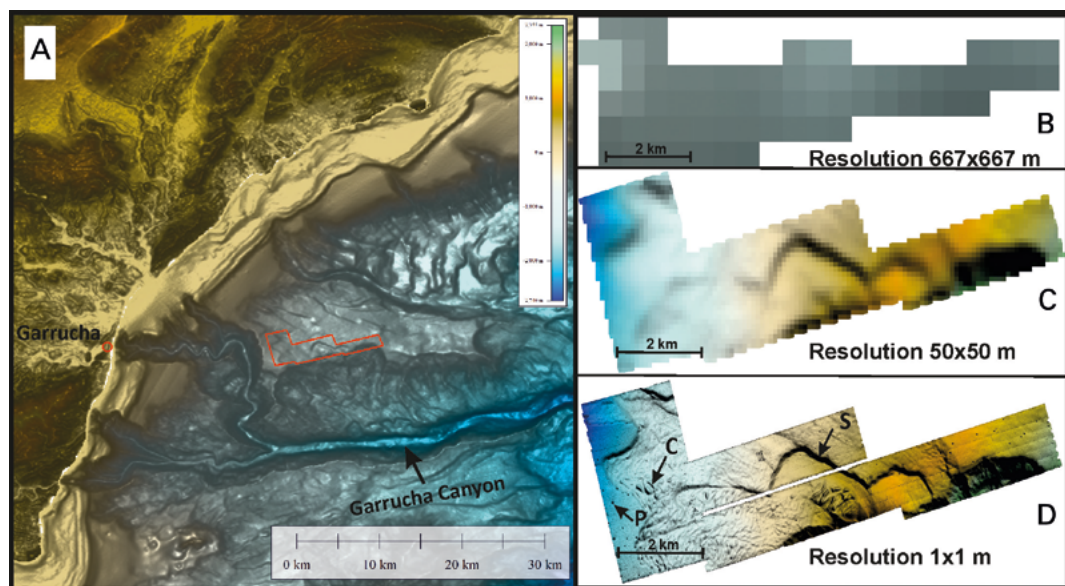


Figura 1. Les nostres interpretacions depenen de la resolució de les dades. A, mapa batimètric (50×50 m) del Canyó de Garrucha, Almeria (Espanya). El polígon vermell indica la zona de batimetria ampliada; B, base de dades GECOC (resolució de la graella 667×667 m); C, batimetria multifeix muntada al casc del vaixell (50×50 m), projecte FAUCES; i D, batimetria multifeix de vehicle autònom (AV) (1×1 m). Vegeu les petites depressions arrodonides per fuites de fluids (pockmarks, p) només observades a AV (D) i crestes (c) relacionades amb blocs lliscats i escarpaments (s) relacionats amb cicatrius d'esllavissades no identificades a la carta batimètrica general de l'oceà (GECOC).

principals característiques geològiques de la zona a estudiar a baixa resolució, prioritant l'extensió recuperada en detriment de la resolució. Un cop reconeguts els objectius potencials, es redueix l'àrea investigada en benefici de la resolució.

### Alta resolució en la recerca geològica marina: una demanda social

A mesura que ha augmentat el coneixement dels processos geològics subaquàtics, principalment aquells que poden afectar la població i les seves infraestructures, així com els que tenen un interès econòmic o de ciència bàsica, la predictibilitat s'ha convertit en una demanda social que requereix d'estudis geomarins cada cop amb més resolució.

Alguns exemples duts a terme a l'ICM estan relacionats amb els tipus d'esllavissades de talús que afecten el fons marí i si romanen o no actius (Casas *et al.* 2011). Una anàlisi estructural detallada ha permès modelitzar el tsunami associat a una falla activa al mar d'Alboran i verificar el model de propagació, les zones costaneres afec-

tades, l'alçada i la velocitat de l'ona, el temps d'arribada i la zona d'inundació (Estrada *et al.* 2021). La comprensió de la dinàmica de les valls submarines i la complexitat de llur jerarquia ens ha permès oferir nous coneixements sobre les característiques dels fluxos de terbolesa i la definició de models anàlegs per comparar (predir) amb altres àrees (Ercilla *et al.* 2002, Estrada *et al.* 2005). La cartografia detallada de les extensions i els canvis laterals entre dipòsits contornítics així com entre terrasses contornítics ha estat essencial per descodificar la circulació de les masses d'aigua i caracteritzar les seves capes inferiors properes al fons marí.

La «resolució és la solució» és una estratègia que pren rellevància davant l'enfocament de la dècada de les ciències oceàniques per a un oceà previsible i sostenible. Els casos plantejats en aquest text són alguns exemples d'una gran varietat d'estudis realitzats a l'ICM, però no hem d'oblidar que la tasca futura que ens plantegem és enorme i requerirà un esforç comú de la comunitat científica i tecnològica per aconseguir una millor comprensió dels processos geològics i, per tant, la seva modelització i predictibilitat.

## Referències

- Casas D., Ercilla G., Yenes M., *et al.* 2011. The Baraza slide. Model and dynamics. *Mar. Geophys. Res.* 32: 245-256.
- Ercilla G., Alonso B., Estrada F., *et al.* 2002. The Magdalena Turbidite System (Caribbean Sea): present-day morphology and architecture model. *Mar. Geol.* 185: 303-318.
- Estrada F., Ercilla G., Alonso B. 2005. Quantitative study of a Magdalena submarine channel (Caribbean Sea): implications for sedimentary dynamics. *Mar. Pet. Geol.* 22: 623-635.
- Estrada F., González-Vida J.M., Peláez J.A., *et al.* 2021. Tsunami generation potential of a strike-slip fault tip in the westernmost Mediterranean. *Sci. Rep.* 11(1): 16253.

DOI: <https://doi.org/10.20350/digitalCSIC/14088>

## 4.4. *Mare salis intellegere.*

### Comprendre la sal dels oceans

Nina Hoareau, Mikhail Emelianov, Joaquim Ballabrera, Carolina Gabarró, Verónica González-Gambau, Maribel Lloret, Estrella Olmedo, Marcos Portabella, Jordi Salat, Joaquín Salvador, Marta Umbert, Antonio Turiel

El 1987, el Prof. Fedorov, destacat oceanògraf soviètic de l'època, va dedicar una de les seves xerrades divulgatives a la salinitat de l'oceà i la va anomenar «La Ventafores de l'oceanologia dinàmica». Fedorov deia que «El destí de la salinitat com a paràmetre físic està estretament relacionat amb la dinàmica de les aigües de l'oceà i és molt similar al destí de la pobra Ventafores del conte de fades de Charles Perrault. I, com la pobra Ventafores, fa temps que la salinitat clama justícia».

De fet, històricament, les observacions de salinitat han estat menys valorades que les d'altres paràmetres físics de l'oceà com la temperatura, els corrents, l'onatge o el nivell del mar.

La salinitat s'ha mesurat tradicionalment mitjançant campanyes oceanogràfiques (començant per la *Challenger Expedition*, entre 1872 i 1876) i més tard també en estacions fixes. La mesura sistemàtica a escala global, va començar en els anys 2000, amb els primers perfiladors Argo, i posteriorment amb el llançament del primer satèl·lit (Font *et al.* 2012) dedicat a mesurar la salinitat superficial des de l'espai, el *Soil Moisture and Ocean Salinity* (SMOS).

#### Per què és necessari mesurar la salinitat?

La salinitat és una variable oceànica fonamental. Contribueix, juntament amb la temperatura, a determinar la densitat, que modula la intensitat dels processos de mescla a la capa superior de l'oceà, la formació de masses d'aigua i la generació de corrents.

Els principals processos que influeixen en la variabilitat de la salinitat estan relacionats amb els intercanvis d'aigua entre l'oceà i l'atmosfera (evaporació i precipitació), i amb l'advecció. Si observem un mapa de salinitat superficial o una secció vertical de l'oceà Atlàntic de nord a sud, veiem que la salinitat varia d'un lloc a un altre (figura 1), amb uns valors, generalment entre 32 i 38, a l'oceà obert. No obstant això, s'ha observat que la concentració de sal en els oceans no presenta canvis notables a escala climàtica, i el seu valor mitjà és de 35.

Prop de la costa, la salinitat superficial es pot veure influïda per aportacions d'aigua dels rius, i en les zones polars pels mecanismes de formació i fusió del gel marí. Aquesta formació de gel marí contribueix a la formació d'aigües profundes, el principal forçament de la circulació general termohalina. Tot això, a més de l'evaporació i la precipitació, modifiquen la salinitat superficial, la qual cosa permet utilitzar-la com a traçador del cicle de l'aigua. D'altra banda, atès que només es modifica a la superfície, la salinitat s'utilitza juntament amb la temperatura com a traçador de masses d'aigua.

#### Com mesurar la salinitat?

Una de les principals observacions de la primera expedició oceanogràfica mundial, *Challenger Expedition* (1872-1876), va ser que «la salinitat varia d'un mar a un altre, però les proporcions relatives de les sals que la componen es mantenen». Gràcies a aquesta observació clau, mesurar la concentració d'un únic component

de les sals que conté en l'aigua de mar permet recuperar la concentració dels altres i, per tant, la salinitat. Fins a la primera meitat del segle xx, la salinitat (expressada en unitats de parts per mil; ppt o ‰) s'estimava a partir del contingut de clorurs, el component majoritari de les sals dissoltes en l'aigua de mar, per mètodes químics (Knudsen, 1901).

A partir dels anys 40 es va observar que, a una temperatura fixa, la conductivitat elèctrica de l'aigua de mar depenia de la salinitat, per la qual cosa es va anar substituint el mètode químic per la mesura de la conductivitat a una temperatura fixa. Aquest mètode va suposar l'arribada de nous instruments, els salinòmetres. A partir d'aquí, es va fixar la salinitat d'una mostra d'aigua com la relació de conductivitats a 15 °C, entre la mostra i un patró de salinitat de 35 ppt, de manera que aquesta nova escala (salinitat

pràctica de 1978; PSS-78 o PSU en anglès) no té unitats. Finalment, el 2010 es torna al concepte de concentració amb la salinitat absoluta en g kg<sup>-1</sup> (TEOS-10). Com a conseqüència, en la literatura sovint trobem la salinitat en diferents unitats.

Resulta que des de finals dels anys 60 fins avui, el desenvolupament instrumental inclou un sensor de temperatura i de pressió, al costat del de conductivitat, arribant al famós Conductivitat-Temperatura-Profunditat (CTD en anglès), capaç de mesurar contínuament perfils verticals o horitzontals de temperatura i salinitat. Basant-nos en aquesta tecnologia, es van desenvolupar altres instruments autònoms, els anomenats termosalinògrafs (TSG), instal·lats en vaixells, que proporcionen mesuraments continus de temperatura i salinitat superficial durant la navegació. La majoria d'aquests instruments s'utilitzen comuna-

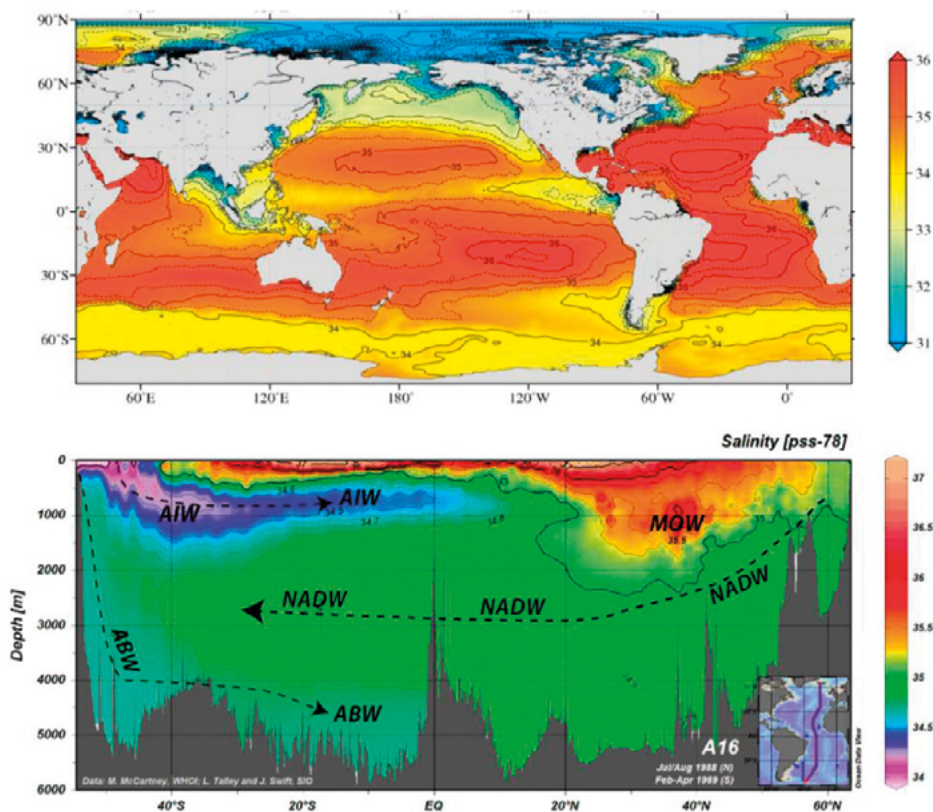


Figura 1. A dalt: salinitat superficial mitjana anual (World Ocean Atlas, 2018). A baix: transecte de salinitat en l'oceà Atlàntic, indicant les principals masses d'aigua: Aigua Antàrtica de Fons (ABW), Aigua Antàrtica Intermèdia (AIW), Aigua Profunda de l'Atlàntic Nord (NADW) i Aigua originària de la Mediterrània (MOW).



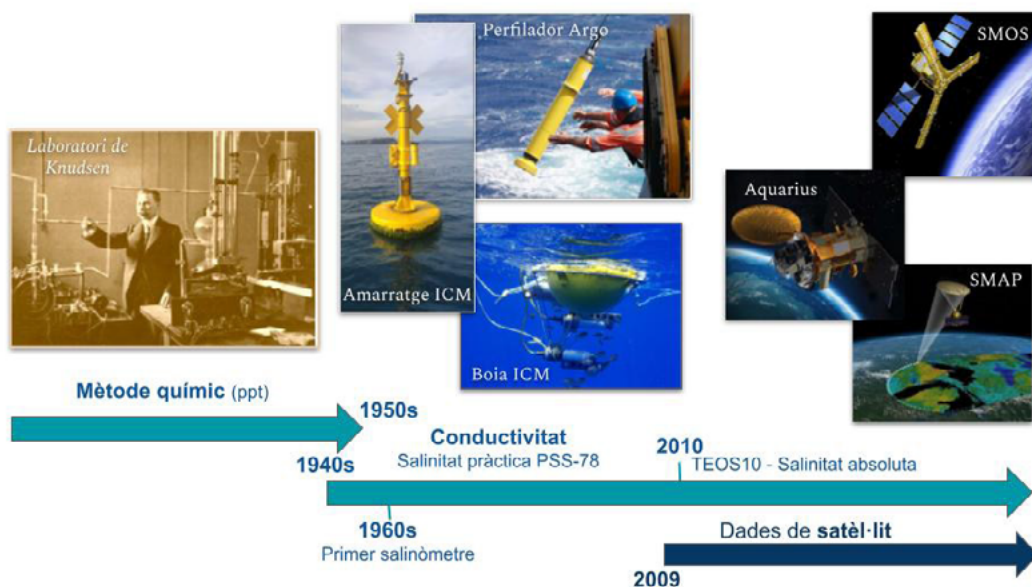


Figura 2. Cronologia dels mètodes de mesura de la salinitat del mar. Fotos d'esquerra a dreta: Martin Knudsen (1901); instrument basats en la tecnologia CTD; els satèl·lits SMOS, Aquarius i SMAP.

ment durant les campanyes oceanogràfiques des dels anys 70, però també s'utilitzen amarrats en ancoratges (estacions fixes) o en boies a la deriva, com ara l'estació fixa de l'Estartit i la boia ICM (Salvador *et al.* 2010), dissenyats a l'Institut de Ciències del Mar (ICM-CSIC). Amb l'objectiu i la necessitat de mesurar la salinitat de manera sistemàtica i global, la comunitat científica va iniciar a principis dels 2.000, el programa internacional Argo, que realitza mesuraments rutinaris a la columna d'aigua, proporcionant un seguiment continu dels oceans mitjançant uns 4.000 perfiladors autònoms, anomenats Argo, actius.

En paral·lel, també es van perfeccionar les tècniques per poder mesurar la salinitat superficial des de l'espai. Una nova generació de satèl·lits en banda L (1.4 GHz) va arribar 40 anys després dels primers satèl·lits oceanogràfics (1970). SMOS va ser el primer satèl·lit dissenyat per mesurar la salinitat superficial. Va ser llançat per l'Agència Espacial Europea (ESA) el 2009, en col·laboració amb diverses institucions europees, i el *Barcelona Expert Center* de l'ICM-CSIC en va liderar la part científica. Actual-

ment, amb l'arribada posterior de les missions Aquarius (2011-2015) i SMAP (2015) de la NASA, ja disposem de més de 10 anys de dades de salinitat superficial.

Per fi i gràcies a l'esforç continu de la comunitat científica, la «Ventafocs-salinitat» té, finalment, la rellevància que mereix, amb l'increment i la diversitat d'instrumentació per mesurar-la a diverses escales (figura 2). I avui en dia les observacions de salinitat segueixen augmentant en tots els oceans incloent-hi les zones polars, que malgrat llur influència en el clima segueixen estant poc estudiades.

## Referències

- Font J., Ballabrera-Poy J., Camps A., *et al.* 2012. A new space technology for ocean observation: the SMOS mission, *Sci. Mar.* 76(S1): 249-259.
- Knudsen M. 1901. *Hydrographical tables*, Copenhagen, 63 pp.
- Salvador J., Fernández P., Julià A., *et al.* 2010. A new buoy for measurement and real time transmission of surface salinity, *CIESM 2010*, Venice, Italy.

DOI: <https://doi.org/10.20350/digitalCSIC/14089>

## 4.5. Observatoris microbians: sentinelles del canvi global

Ramon Massana, Dolors Vaqué, Maria Montserrat Sala, Josep M. Gasol

La biosfera sempre ha experimentat canvis, forçats per modificacions del substrat geològic, alteracions climàtiques, i l'aparició d'espècies amb noves funcions i interaccions. Tanmateix, avui en dia ens trobem en un escenari únic, on una sola espècie amenaça de manera dràstica i ràpida tots els ecosistemes. Més que mai, necessitem eines per a fer un seguiment dels sistemes naturals, entendre els canvis a diferents escales temporals, documentar l'estat actual, i aplicar models per a fer prediccions de futur. Aquest coneixement serà fonamental per proposar estratègies de mitigació dels canvis antropogènics.

El mar, per la seva extensió i volum d'aigua, representa un component crucial del sistema Terra. Ha estat on la vida s'originà i es diversificà, i conté avui dia una biodiversitat enorme. Les societats humanes han establert un vincle estret amb el mar, d'on extreuen aliments, els serveix de medi de transport i ha esdevingut un atractiu espai de lleure. El mar està també sota la influència del canvi global, amb reptes com l'escalfament, l'acidificació, i la contaminació. Els microorganismes marins, invisibles però omnipresents, es veuen també afectats (Hutchins i Fu 2017). Atès que es divideixen molt ràpid, poden actuar com a sentinelles d'aquests canvis, i això justifica la necessitat d'observatoris microbians.

### Els microorganismes com a sensors del medi marí

Els microorganismes marins desenvolupen un ventall amplíssim de reaccions metabòliques que, donada la seva elevada biomassa i ràpid creixement, tenen implicacions globals. Participen

en els cicles biogeoquímics, són els principals productors primaris al mar, i sustenten les xarxes tròfiques marines. Són també agents de bioremediació i font poc explorada de compostos utilitzables en biotecnologia i biomedicina. A més, els microorganismes poden ser indicadors de l'estat i de la resiliència de l'ecosistema, ja que cada espècie sol tenir diferents toleràncies ambientals. Davant de canvis sobtats, la composició taxonòmica de la comunitat pot canviar, i produir-se una substitució cap a espècies millor adaptades a les noves condicions. Quan hi ha canvis subtils, com l'augment lent i continuat de la temperatura que estem vivint, pot haver-hi aquesta substitució o una adaptació gradual de les espècies originals. La consideració dels microorganismes com actors en els ecosistemes marins és relativament nova: a la dècada del 1970 es va veure que eren molt abundants, a la del 1980 que eren molt actius, i a la del 1990 que eren molt diversos. Tanmateix, han estat les noves tècniques de seqüenciament massiu de l'ADN les que han permès un estudi profund de la diversitat taxonòmica i funcional dels microorganismes marins i de la seva variabilitat (Pedrós-Alió *et al.* 2018). Avui en dia hi ha un ventall de tècniques òmiques que ens permeten conèixer en detall la composició en espècies de la comunitat microbiana, la capacitat genètica dels organismes que la formen, els gens que expressen en cada moment i els compostos que produeixen.

### L'escala temporal en l'observació marina

L'estudi temporal dels organismes marins no és trivial, ja que cada visita implica tenir

vaixells equipats i es fa laboriós tenir un mostreig biològic recurrent. Les campanyes oceanogràfiques són esdeveniments únics, de duració limitada i amb una dimensió bàsicament espacial. Les primeres expedicions globals a l'oceà van tenir lloc als segles XVIII i XIX, entre elles la del Beagle amb en Charles Darwin, i recentment trobem les circumnavegacions Malaspina i TaraOceans. A nivell temporal, hi ha dos casos molt rellevants als girs oceànics de l'hemisferi nord, les estacions ALOHA (Pacífic) i BATS (Atlàntic), on des del 1988 s'hi organitza una campanya oceanogràfica mensual des de les illes properes. Inicialment plantejades com un esforç a deu anys, aquestes iniciatives han continuat fins esdevenir estacions de referència (Karl i Church 2014). En sistemes costaners, el mostreig temporal és molt més assequible per la proximitat, i diversos instituts oceanogràfics han establert una estació de mostreig temporal propera. A la costa catalana, és de destacar l'esforç fet per en Josep Pasqual a l'Estartit, que ha generat el registre més llarg de temperatura de l'aigua al mar Català, començat el 1969. D'aquestes estacions costaneres recollim mostres d'aigua per a fer estudis exhaustius dels microorganismes que hi habiten i que són els nostres sentinelles del canvi global.

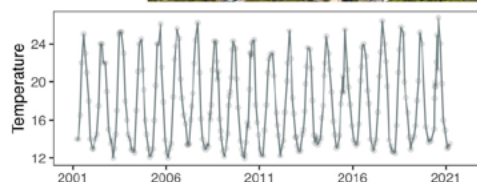


Figura 1. Badia de Blanes, lloc del mostreig del BBMO, un sistema amb forta estacionalitat exemplificada per la temperatura de l'aigua presa mensualment durant més de 20 anys.

### L'Observatori Microbià de la Badia de Blanes (BBMO)

La badia de Blanes (figura 1) va ser un dels primers llocs on va investigar l'ecòleg pioner Ramon Margalef i ha estat l'escenari de molts estudis posteriors. L'any 2001 s'hi començà un mostreig mensual de diversitat microbiana, primer lligat a projectes de recerca concrets, fins a establir-se com un observatori indefinit. El BBMO té un fort enfocament microbià i s'hi determina l'abundància, diversitat, activitat, i potencial genètic de

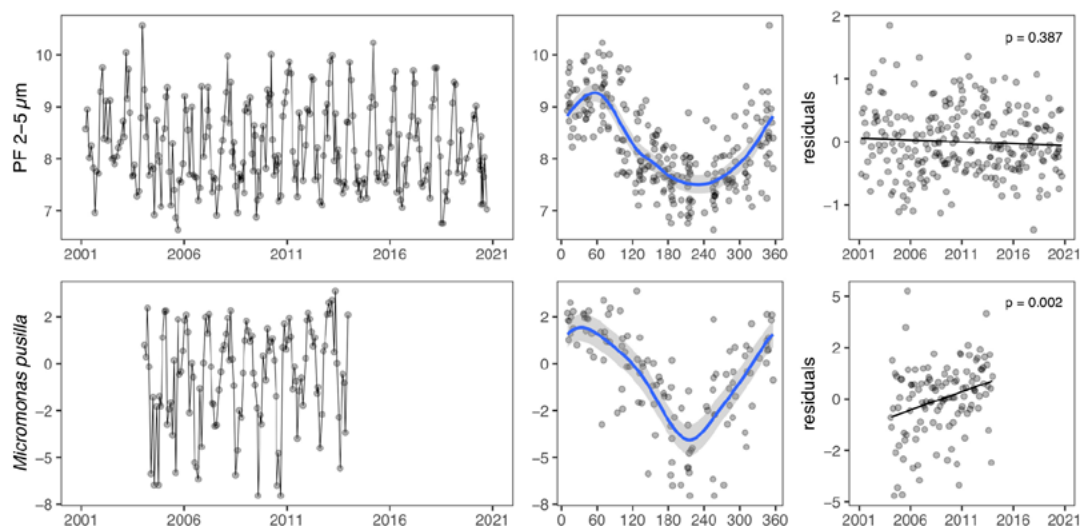


Figura 2. Estacionalitat i tendència interanual de protists fotosintètics (PF) i *Micromonas pusilla*. Esquerra: abundàncies mesurades. Centre: abundàncies en un any i el seu ajust. Dreta: dinàmica dels valors residuals.

virus, bacteris, arqueus i protists planctònics (Gasol *et al.* 2016). El més rellevant d'aquest esforç és la presa des de l'inici de material genètic de la comunitat microbiana, quan encara no se sabia com processar-lo (al 2001 els estudis moleculars eren encara limitats). És a partir de l'aparició de la seqüenciació massiva de l'ADN que l'explotació d'aquest material genètic ha esdevingut possible. Aquesta sèrie de 20 anys ens permet estudiar l'estacionalitat pròpia de sistemes temperats i les tendències a llarg termini. Com a exemple, analitzem l'abundància per microscòpia d'un grup microbià, els protists fotosintètics de 2 a 5 µm, i l'abundància relativa de l'espècie més rellevant del grup, *Micromonas pusilla*, determinada per seqüenciació de l'ADN ambiental (Giner *et al.* 2019) (figura 2). Les dues variables presenten una marcada estacionalitat, observada tant en els pics repetitius com en la representació dels valors en un sol any, amb un màxim a l'hivern. Quant a les tendències interanuals, expressades per la dinàmica dels residuals (valor mesurat menys valor estimat) no hi ha canvis en la primera mesura i sí un augment significatiu en la segona. A més de permetre determinar tendències temporals, el

mostreig al BBMO ha proveït de comunitats microbianes per experimentar i fer aïllaments, i ha estat protagonista d'un centenar llarg d'articles. El BBMO s'ha convertit en un lloc de referència internacional dels estudis de diversitat i genòmica dels microorganismes que, malgrat ser invisibles, són extraordinàriament importants pel manteniment saludable dels ecosistemes marins.

## Referències

- Gasol J.M., Cardelús C., Morán X.A.G., *et al.* 2016. Seasonal patterns in phytoplankton photosynthetic parameters and primary production at a coastal NW Mediterranean site. *Sci. Mar.* 80S1: 63-77.
- Giner C.R., Balagué V., Krabberød A.K., *et al.* 2019. Quantifying long-term recurrence in planktonic microbial eukaryotes. *Mol. Ecol.* 28: 923-935.
- Hutchins D.A., Fu F. 2017. Microorganisms and ocean global change. *Nature Microbiol.* 2:17058.
- Karl D.M., Church M.J. 2014 Microbial oceanography and the Hawaii Ocean Time-series programme. *Nature Rev. Microbiol.* 12: 699-713.
- Pedros-Alió C., Acinas S.G., Logares R., Massana R. 2018. Marine microbial diversity as seen by high-throughput sequencing. In: Gasol J.M., Kirchman D.L. (eds.), *Microbial Ecology of the Oceans*, Third Edition, pp. 47-97. John Wiley & Sons, Inc.

DOI: <https://doi.org/10.20350/digitalCSIC/14090>



## 4.6. Turbulència i dinàmica del plàncton en un oceà més càlid

Miquel Alcaraz, Marta Estrada

L'energia del vent, diferències en la temperatura i el contingut de sals de l'aigua que determinen la seva densitat, i la rotació de la Terra, impulsen un sistema de circulació oceànica complex i variable. L'energia mecànica així generada, imprescindible per mantenir la dinàmica dels ecosistemes marins, produeix remolins turbulents que es divideixen en remolins cada vegada més petits, fins que arriben a una mida, l'escala de Kolmogorov, en què la viscositat venç la inèrcia.

### Turbulència: característiques i efectes sobre el plàncton

Els moviments turbulents a les escales majors (meso- i macroescala, de metres a centenars de quilòmetres) tenen un paper principalment de transport. A les escales més petites, de l'ordre de mil·límetres (turbulència de petita i de microescala), els gradients de velocitat generats per la turbulència afecten directament partícules en el rang de mides dels organismes del plàncton, una comunitat d'organismes suspesos en la columna d'aigua que inclou pràcticament tots els grups biològics, des de virus i bacteris, fins a larves de peix.

La matèria orgànica que fa funcionar la xarxa tròfica marina és produïda pel fitoplàncton o «plàncton vegetal», que inclou algues unicel·lulars de característiques molt diverses (figura 1). Dels grups dominants en la comunitat fitoplànctònica depenen en gran mesura tant la producció pesquera, com la captació de CO<sub>2</sub> per l'ecosistema marí. Els canvis estacionals dels grups dominants al llarg del cicle anual van ser explicats pel Prof. Ramon Margalef mitjançant

un model conceptual. En la representació gràfica del model, conegut internacionalment com el *Mandala de Margalef*, les diferents formes biològiques (grups que comparteixen determinades característiques fisiològiques) de fitoplàncton se situen en un pla en el qual els eixos de coordenades són la intensitat de la turbulència i la concentració de nutrients.

Preguntes derivades del *Mandala de Margalef* han originat una fructífera línia de treball de l'Institut de Ciències del Mar (ICM) sobre els efectes de la turbulència de petita escala en el conjunt del plàncton marí, i van propiciar la celebració del primer curs internacional sobre el tema: *Lectures on Plankton and Turbulence*, finançat per la UE, i coordinat per investigadors de l'ICM, la UB i altres organitzacions científiques (Marrasé *et al.* 1997).

La impossibilitat d'aïllar en el medi natural els efectes de la turbulència dels que originen altres factors exigeix experimentació de laboratori. Tancs o aquaris que contenen des de litres (microcosmos) a metres cúbics d'aigua de mar (mesocosmos), permeten controlar la intensitat de la turbulència, i les condicions de temperatura, nutrients o la llum, així com les espècies o comunitats de plàncton a estudiar (Estrada *et al.* 1988).

La importància de la turbulència per a la selecció de formes biològiques de fitoplàncton es deu al fet que pot afavorir l'absorció de nutrients per les cèl·lules o contribuir a mantenir-les en suspensió a la columna d'aigua. La turbulència també afecta l'estratègia migratòria d'alguns grups (dinoflagel·lades), o pot actuar negativament quan és molt alta (Berdalet *et al.* 2007). Canvis en la seva intensitat interaccionen

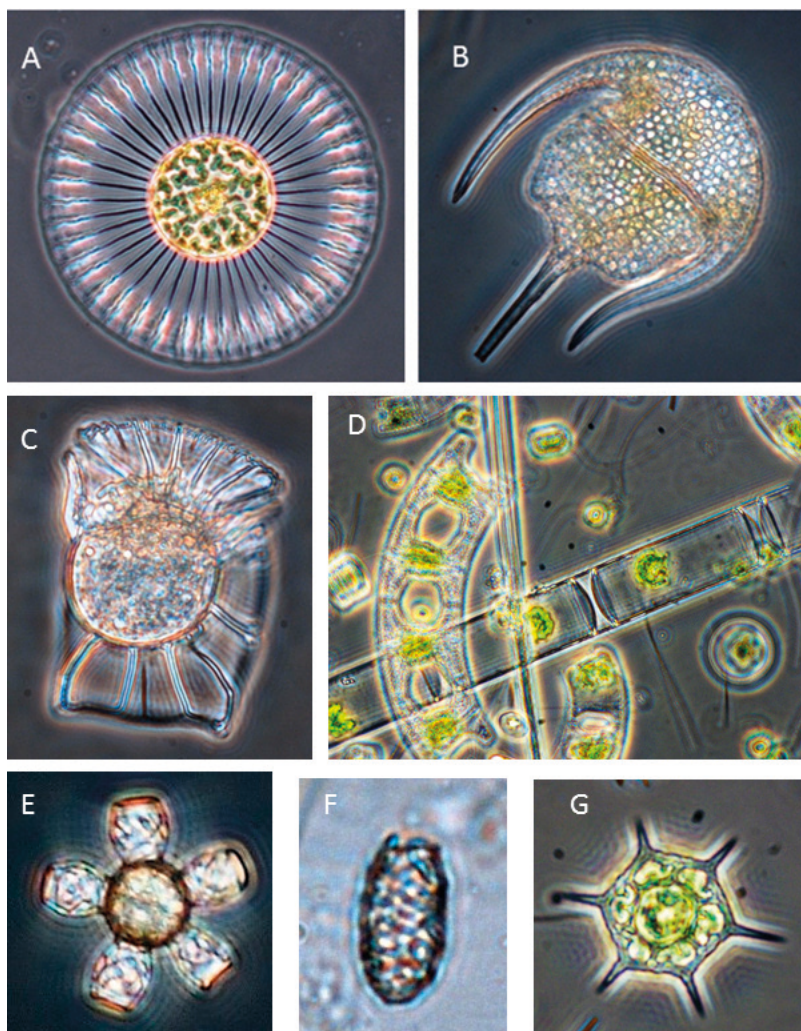


Figura 1. Diversitat de formes en el fitoplàncton (fotografies a microscopi òptic). A, D, diatomees; B, C, dinoflagel·lades; I, F, cocolitòfors; G, silicoflagel·lada. El diàmetre de les cèl·lules oscil·la entre poc més d'uns 10 micròmetres en E i F, i més de 100 micròmetres a B i C (Fotos: M. Estrada).

amb la motilitat, forma i grandària cel·lular o de les colònies de cèl·lules i ajuden a mantenir una elevada diversitat específica (figura 1).

Per al zooplàncton, proveït de microsensores químics i del moviment, la turbulència pot representar un augment de la ingestió d'aliment (major freqüència de contacte amb partícules alimentàries), o afectar la localització d'una possible parella esborrant els rastres de feromones que deixen les femelles com a senyal. També pot provocar confusions del moviment turbulent amb distorsions en el moviment de l'aigua generades per possibles preses o depredadors, induint

l'atac o augmentant la freqüència de reaccions d'escapament, que tenen un alt consum metabòlic (figura 2). Altres efectes de la turbulència són l'alteració de la proporció entre sexes, amb més abundància de mascles, i la reducció de la grandària mitjana dels individus (Saiz 1991).

### Turbulència i plàncton en un oceà més càlid

El canvi climàtic ja en marxa prediu un Oceà futur no només més càlid, sinó també exposat a una major freqüència i intensitat

d'episodis atmosfèrics altament energètics que generen turbulència. Ambdues variables, temperatura i turbulència, no només són anàlogues en la seva naturalesa (desordre molecular la temperatura, desordre hidrodinàmic la turbulència), sinó que provoquen respostes molt similars en algunes propietats i activitats fonamentals dels organismes.

L'increment combinat de turbulència i temperatura suposa, entre altres efectes, una major activitat metabòlica, un augment de les taxes d'ingestió, i una reducció en la grandària mitjana dels individus. Això últim té un efecte acumulatiu sobre el metabolisme, ja que les taxes metabòliques per unitat de biomassa són inversament proporcionals a la mida individual.

Mentre se sap que les funcions vitals són només possibles entre uns marges de variabilitat de la temperatura inversament proporcionals a la complexitat de l'organisme o funció, i que la resposta de l'activitat té forma de campana (augmenta amb la temperatura fins a un valor òptim a partir del qual decreix), es desconeix la dinàmica dels processos en el cas de la turbulència. A més, experiments de laboratori demostren que la turbulència incrementa el quocient entre el carboni produït pel fitoplàncton i el respirat per tota la comunitat (Alcaraz *et al.* 2002). Encara que part de les conseqüències d'un augment de temperatura s'amplificarien per la similitud dels efectes derivats de la turbulència, el paper d'aquesta última en el balanç producció/respiració introdueix una nova incògnita, per la qual cosa s'ha de tenir en compte en els models predictius d'un futur Oceà més càlid.

## Referències

Alcaraz M., Marrasé C., Peters F., Arin L., Malits A. 2002. Effects of the turbulence conditions on the balance between production and respiration in marine planktonic communities. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 242: 63-71.



Figura 2. Empremses o pistes hidrodinàmiques creades per la natació de zooplàncton. A, d'un copèpode carnívor perseguint una presa, i la d'aquesta abans de percebre el senyal de depredador i escapar. B, reacció d'escapament de la presa, un cladòcer d'aigua dolça (Òptica de Schlieren, Foto: J.R. Strickler).

- Berdalet E., Peters F., Koumandou V.L., Roldán C., Guadayol Ò., Estrada M. 2007. Species-specific physiological response of dinoflagellates to quantified small-scale turbulence. *J. Phycol.* 43: 965-977
- Estrada M., Marrasé C., Alcaraz M. 1988. Phytoplankton response to intermittent stirring and nutrient addition in marine microcosms. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 48: 225-234.
- Marrasé C., Saiz E., Redondo J.M., eds. 1997. Lectures on plankton and turbulence. *Sci. Mar.* 61 (Suppl. 1). 238 pp.
- Saiz E. 1991. Importància de l'energia auxiliar en la dinàmica dels sistemes pelàgics: Turbulència i zooplàncton. PhD thesis, UB. 154 pp.

DOI: <https://doi.org/10.20350/digitalCSIC/14091>

## 4.7. Tendències de la clorofil·la oceànica en temps de canvis globals

Francesc Peters

La clorofil·la és un pigment necessari per a la fotosíntesi, i serveix com a mesura indirecta de la biomassa de productors primaris (principalment fitoplàncton) a l'oceà. Tots els ecosistemes depenen totalment o parcial del carboni orgànic produït per la fotosíntesi, és a dir, l'ús de  $\text{CO}_2$  i  $\text{H}_2\text{O}$  per sintetitzar sucres mitjançant l'energia de la radiació solar. A més a més, el fitoplàncton, com les plantes terrestres, necessita nutrients inorgànics per créixer, i és aquí on entra en escena el canvi global.

La preocupació sobre els efectes del canvi climàtic s'ha endinsat en la societat en els últims anys d'ençà que els científics tenen ara una alta certesa que la causa del canvi climàtic és humana (IPCC 2013). L'increment de la mitjana de la temperatura global és inqüestionable. Aquest increment també s'està traslladant a una pujada de la temperatura de l'oceà. La quantitat de calor per unitat de volum que es necessita per incrementar la temperatura de l'aigua de mar és 4.500 vegades més gran que per l'aire i dona una idea de la magnitud de l'escalfament global. Les masses d'aigua superficials de les regions tropicals, subtropicals i temperades solen estar minvades de nutrients inorgànics, limitant el creixement del fitoplàncton, mentre que les capes fondes són riques en aquests nutrients, però els manca llum solar. Els nutrients es difonen lentament cap amunt. Una de les conseqüències de l'escalfament de l'oceà superficial és que la difusió vertical dels nutrients des d'aigües fondes encara minva més i, per tant, s'espera que el fitoplàncton disminueixi.

El mar Mediterrani, sobretot per la profunditat de la seva conca i per la seva circulació «anti-estuàrica» respecte de l'oceà Atlàntic, és un mar

oligotròfic amb una concentració naturalment baixa de nutrients superficials i una biomassa clorofil·lica també baixa. Aquesta oligotròfia incrementa encara més cap al Mediterrani oriental, que es considera una de les àrees ultraoligotròfiques del món. Al mateix temps, la Mediterrània és una regió on el canvi climàtic es veu exacerbat, amb un potencial d'empobrir encara més les aigües superficials. La meua hipòtesi és que aquesta tendència hauria d'estar present en el senyal de la clorofil·la satel·lital. Així, en aquest treball analitzo una sèrie temporal de 20 anys de clorofil·la satel·lital en el mar Mediterrani.

### Aproximació al problema amb dades de satèl·lit

Faig servir la concentració de clorofil·la superficial en el Mediterrani a partir d'observacions de múltiples satèl·lits i de Sentinel-3 OLCI (Volpe *et al.* 2019). Les dades han estat promitjades espacialment en 179 cel·les de  $1 \times 1$  graus. Per a eliminar la tendència estacional (cicle anual) he utilitzat un ajust de spline cúbic als anys superposats per a cadascuna de les cel·les, i he treballat amb els residus de l'ajust. Llavors he ajustat una equació lineal a aquests residus. La significació estadística s'ha establert a  $\alpha=0,05$ . Finalment, per a visualitzar i comparar aquestes tendències a llarg termini he calculat un paràmetre  $Q_{10}$ , que dona el factor de multiplicació de la clorofil·la després de deu anys, segons  $Q_{10} = 10^{b \cdot 10}$ , on  $b$  és el pendent de la recta. He promitjat els valors de  $Q_{10}$  per a tot el Mediterrani i per a subregions. Els valors mitjans s'han comparat contra una hipòtesi nul·la de  $Q_{10} = 1$  amb un test de  $t$  de dues cues.



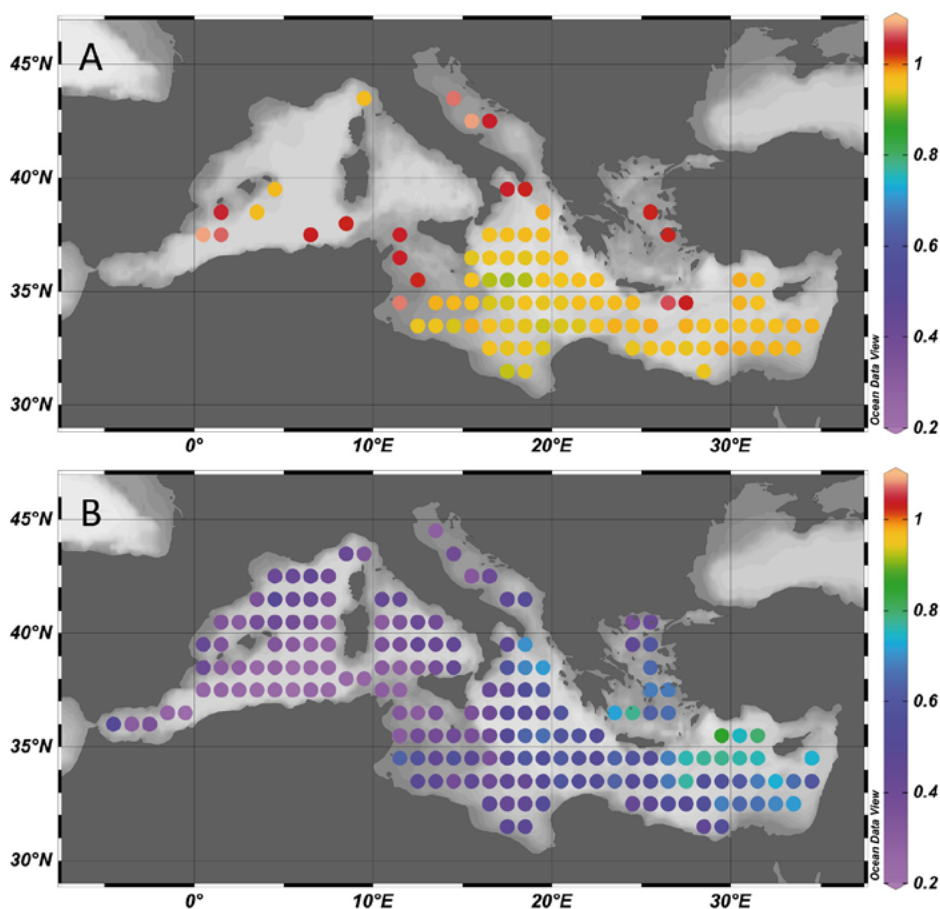


Figura 1. Valors de  $Q_{10}$  derivats de les sèries temporals de clorofil·la satel·lital. Només es mostren cel·les amb tendències significatives ( $p \leq 0,05$ ). A, tendències per a la sèrie sencera (1998 a 2017). B, tendències derivades pels últims anys (2013-2017).

## Tendències de la clorofil·la en el Mediterrani

A la sèrie 1998-2007 hi ha una lleugera, però estadísticament significativa, tendència de la clorofil·la a decreixen en el Mediterrani amb una  $Q_{10}$  de 0,98 (figura 1A). Però hi ha diferències regionals. No s'observa cap tendència significativa pel Mediterrani occidental ni pel mar Egeu. Hi ha una tendència a incrementar la clorofil·la a l'Adriàtic, mentre que decreixements de la clorofil·la s'observen al Jònic i al Mediterrani oriental. Malgrat això, la sèrie temporal dels residus de l'ajust estacional no sol ser una tendència monotònica creixent o decreixent. En general, s'observen tendències

creixents per a la primera meitat de la sèrie i decreixents després. En una segona anàlisi, he focalitzat en els darrers cinc anys de la sèrie (2013-2017). Llavors s'observa una tendència forta i decreixent de la clorofil·la (figura 1B) amb una  $Q_{10}$  mitjana per al Mediterrani de 0,47 (taula 1). Els decreixements més grans es troben al Mediterrani occidental, a l'Adriàtic i al mar Jònic, mentre que al mar Egeu i al Mediterrani oriental s'observen decreixements una mica menors.

## Missatge que ens emportem

Sembla que hi ha un punt de canvi en el sistema quant al decreixement de la clorofil·la

Taula 1. Sumari de valors  $Q_{10}$  per a la concentració de clorofil·la (mitjana, se: error estàndard, i n: número de cel·les) pel mar Mediterrani i les subregions†. Significació del test de t contra  $Q_{10}=1$  és  $p<0,05$  (\*),  $p<0,01$  (\*\*) o  $p<0,001$  (\*\*\*).

	Mediterrani	Mediterrani occidental	Adriàtic	Jònic	Egeu	Mediterrani oriental
n	179	65	6	49	11	48
Anys 1998-2017						
Mitjana (se)	0,985*** (0,003)	1,002 (0,003)	1,041* (0,013)	0,966*** (0,005)	1,004 (0,005)	0,970*** (0,003)
Anys 2013-2017						
Mitjana (se)	0,474*** (0,012)	0,336*** (0,010)	0,400*** (0,036)	0,483*** (0,015)	0,601*** (0,039)	0,633*** (0,016)

† Mediterrani occidental (des de l'estret de Gibraltar a l'estret de Sicília), el mar Adriàtic (baixant a 40°N), el mar Jònic (des de 40°N fins a Àfrica i des de l'estret de Sicília als 20°E), el mar Egeu (des de Creta cap al nord, entre Grècia a l'oest i Turquia a l'est), i el Mediterrani oriental (des dels 20°E cap a l'est, excloent el mar Egeu).

en el Mediterrani que es troba entre el 2007 i el 2017, depenent de la cel·la específica considerada. Podem especular que el declivi en els aportaments continentals de fòsfor degut a canvis legislatius en el Mediterrani nord parcialment explicarien el decreixement de la clorofil·la. Però quan s'observa una tendència sinòptica per a tot el Mediterrani, s'espera un efecte a gran escala relacionat amb la disponibilitat de nutrients més que no pas declivis locals o costaners. Aquesta tendència encaixaria amb la hipòtesi d'una major separació entre les masses d'aigua superficials i profundes degut a l'increment de la temperatura de l'aigua. Altres estudis també estan observant tendències en el decreixement de la clorofil·la oceànica (Gregg i Rousseaux 2019), aportant confiança a aquests resultats. Malgrat tot, els valors absoluts del decreixement romanen incerts.

La clorofil·la reflecteix la biomassa fitoplànctonica i sabem que la biomassa està relacionada amb la biodiversitat (Irigoin *et al.* 2004). Per una biomassa fitoplànctonica baixa hi ha una relació directa amb la riquesa d'espècies i, per tant, esperaríem una reducció de la biodiversitat del fitoplàncton. Aquest és un aspecte preocupant ja que la Mediterrània es considera un exponent en biodiversitat marina (Coll *et al.* 2010). Tanmateix, si les altes taxes d'extinció observades per organismes terrestres són extrapolables al plàncton, un estrès addicional lligat a la biomassa podria desestructurar fortament els ecosistemes marins. Més enllà d'aspectes d'estabilitat de l'ecosistema, es preveuen con-

seqüències importants per les pesqueres que depenen directament o indirecta de la biomassa fitoplànctonica. Aquest treball també destaca la importància de tenir sèries temporals llargues quan s'adrecen temes de canvi climàtic. Les tendències són sovint petites i les sèries llargues són crucials per determinar la significació estadística entre el soroll inherent.

Si les tendències decreixents observades pels anys 2013-2017 es mantenen, els nivells de clorofil·la en el Mediterrani d'aquí a 10 anys seran aproximadament la meitat dels actuals per a tota la conca, una mica més en l'est i decreixent cap a l'oest. Això serà un canvi dràstic per tot l'ecosistema.

## Referències

- Coll M., Piroddi C., Steenbeek J., *et al.* 2010. The biodiversity of the Mediterranean Sea: Estimates, patterns, and threats. *PLoS ONE* 5: e11842.
- Gregg W.W., Rousseaux C.S. 2019. Global ocean primary production trends in the modern ocean color satellite record (1998-2015). *Environ. Res. Lett.* 14: 124011.
- IPCC. 2013. Climate Change 2013: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. In: Stocker T.F., Qin D., *et al.* (Eds). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.
- Irigoin X., Huisman J., Harris R.P. 2004. Global biodiversity patterns of marine phytoplankton and zooplankton. *Nature* 429: 863867.
- Volpe G., Colella S., Brando V.E., *et al.* 2019. Mediterranean ocean colour Level 3 operational multi-sensor processing. *Ocean Sci.* 15: 127-146.

DOI: <https://doi.org/10.20350/digitalCSIC/14092>

## 4.8. El fitoplàncton i els elements de la vida

Mariona Segura-Noguera, Elisa Berdalet, José Manuel Fortuño

Els organismes vius estan compostos majoritàriament de sis elements: hidrogen (H), carboni (C), nitrogen (N), oxigen (O), fòsfor (P) i sofre (S) que, en els oceans, es troben dissolts en forma de gasos i de sals nutritives. Els organismes fitoplanctònics, microalgues i cianobacteris, que degut a la seva petita mida són arrossegats pels corrents marins, incorporen aquests elements i utilitzen energia solar, mitjançant la fotosíntesi, per construir matèria orgànica per a viure i reproduir-se, alhora que produeixen oxigen. El creixement del fitoplàncton, per tant, depèn de la combinació de la disponibilitat de llum –restringida a les aigües superficials– i de nutrients, procedents dels continents o d'aigües profundes dels oceans.

Aquestes petites criatures juguen un paper clau en el manteniment de la nostra vida a la Terra, i afecten la nostra salut, els nostres aliments i regulen el clima. El fitoplàncton constitueix el primer esglaó de la xarxa tròfica marina, i se n'alimenten des de microorganismes heterotròfics, petits crustacis, i larves de peixos, fins a balenes. Especialment en les zones d'aflorentament d'aigües profundes riques en nutrients, el fitoplàncton pot sustentar grans pesqueres de les quals ens nodrim els éssers humans i que són font de riquesa per a molts països. A més, a partir de la incorporació de CO<sub>2</sub> pel fitoplàncton mitjançant la fotosíntesi, i la posterior conversió en diferents formes de biomassa en les xarxes tròfiques, el C és transportat per sedimentació a zones profundes de l'oceà, on hi roman llargs períodes de temps. Mitjançant aquest procés, conegut com a la «bomba biològica» del carboni, el fitoplàncton participa de manera determinant en la regulació del clima del nostre planeta. De tota manera, quan per la combinació de determinats factors ambientals s'afavo-

reixen ràpides proliferacions de fitoplàncton, l'excés de biomassa no pot ser consumit eficientment i la seva degradació comporta un deteriorament de la qualitat de l'ecosistema en general (Berdalet *et al.* 2022).

### Estequiometria de Redfield: entre taxonomia i fisiologia

A mitjans del segle passat, l'oceanògraf Alfred Redfield va descobrir que en les aigües profundes de tots els oceans hi havia una relació constant entre nitrat, fosfat, carboni inorgànic i oxigen dissolt. Com que les concentracions d'aquests compostos augmenten en profunditat per la remineralització de matèria orgànica, majoritàriament plàncton, que sedimenta des de la superfície, Redfield va deduir que l'estequiometria (és a dir, la proporció entre els corresponents elements) del plàncton havia de coincidir amb la relació entre els mateixos elements dissolts en aigües afòtiques (no il·luminades), que era  $-O_2/C/N/P = -138/106/16/1$  (Redfield 1934). Redfield, però, va advertir que aquests valors es corresponien a un promig que podria variar segons la composició taxonòmica (en espècies) de la matèria que sedimentava. De fet, s'ha comprovat que grups de fitoplàncton dels més abundants –diatomees, dinoflagel·lades i cocolitoforals (figura 1)– presenten estequiometries diferents. Les diatomees tenen una paret cel·lular de sílice amorfa, els cocolitoforals estan recoberts per unes plaques (cocolits) de carbonat de calci, mentre que les dinoflagel·lades tenen una paret cel·lular de cel·lulosa rica en C i un nucli relativament gran. Per tant, la concentració de C per unitat de volum és més gran en dinofla-

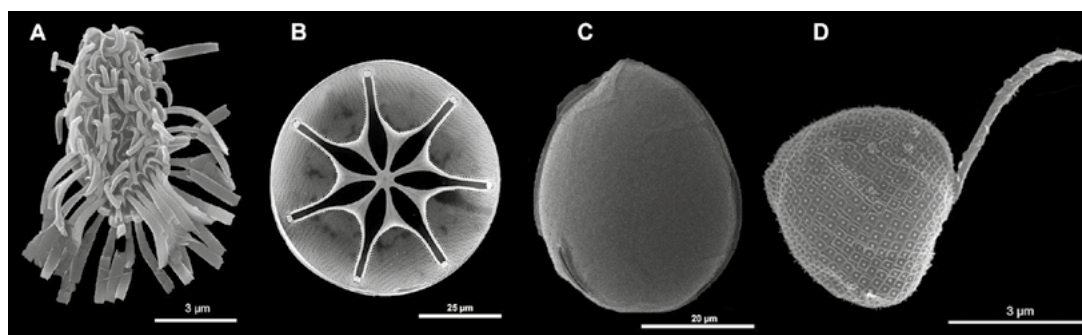


Figura 1. Imatges MER de fitoplàncton representatiu, obtingudes al Servei de Microscòpia Electrònica de l'ICM: A, *Picicola margalefi*, cocolitoforal; B, *Asterolampra marylandica*, diatomea; C, *Ostreopsis cf. ovata*, dinoflagel·lada; D, *Pyramimonas* sp., cloròfit.

gel·lades i cocolitoforals que en diatomees, i que les dinoflagel·lades requereixen més P per unitat de volum que no pas les diatomees (Segura-Noguera *et al.* 2016), amb grans vacuoles en el citoplasma. L'estequirmetria del plàncton, a més, és flexible: quan els nutrients són abundants, el fitoplàncton es podrà reproduir, tot augmentant la producció de proteïnes (riques en N) i de ADN, ARN i ATP (rics en P) i, en enriquir-se en N i P, l'estequirmetria C/P i C/N disminueix. En canvi, quan falten nutrients, augmenta la proporció de compostos rics en C (carbohidrats, lípids), i la relació C/N i C/P augmenta.

La relació de Redfield és encara avui en dia un paràmetre clau per a caracteritzar l'estat nutricional del fitoplàncton –i del component microbià en general– i per a comprendre els fluxos dels principals elements de la vida en els oceans, combinant mesures *in situ* i models. La metodologia clàssica consistent en concentrar l'aigua de mar en filtres i estimar la concentració elemental total de la mostra, sobreestima les quantitats de C i N en el plàncton i no permet discriminar l'estat fisiològic o nutricional dels microorganismes a nivell individual. Això s'ha aconseguit molt recentment, gràcies als avenços tècnics produïts en el camp de la microscòpia electrònica.

### Taxonomia i estequirmetria del fitoplàncton en un sol instrument

Al Servei de Microscòpia Electrònica de l'ICM disposem de les eines per a caracteritzar la composició química de cèl·lules a nivell indi-

vidual gràcies al Microscopi Electrònic de Ras- treig (MER) i els seus detectors. Amb el MER podem obtenir imatges de gran resolució (fins a 3 nm) i quantificar la concentració elemental del fitoplàncton mitjançant la Microanàlisi de Raigs X (XRMA, en anglès).

L'ICM va adquirir el primer MER el 1975 (aleshores Instituto de Investigaciones Pesque- ras, IIP) i des de 1987 els MERs de l'ICM han disposat d'un detector de raigs X i un espec- tròmetre per a la microanàlisi elemental, fet que demostra el gran interès dels investigadors del l'IIP-ICM per l'estudi dels organismes del plàncton. El Servei de Microscòpia ha contribu- ït a la realització de nombrosíssimes publicaci- ons científiques, descrivint per primera vegada noves espècies de cocolitoforals, dinoflagel·lades i també d'estructures de crustacis, cefalòpodes i peixos.

Recentment, a l'ICM hem millorat un mètode per a l'estudi de la composició ele- mental en fitoplàncton mitjançant XRMA (Segura-Noguera *et al.* 2012; figura 2). Amb aquesta tècnica es poden quantificar canvis estequirmètrics que experimenten les cèl·lules segons la disponibilitat de nutrients i llum. Així, l'ICM contribuirà a comprendre en detall la transferència dels elements químics per la xarxa tròfica, i en situacions de desequilibris en proliferacions nocives de fitoplàncton. També permetrà descriure els cicles biogeoquímics ac- tuals i en diferents escenaris de canvi climàtic, on l'escalfament dels oceans pot comportar canvis en la dinàmica d'estratificació i barreja de la columna d'aigua. Aquests canvis, com



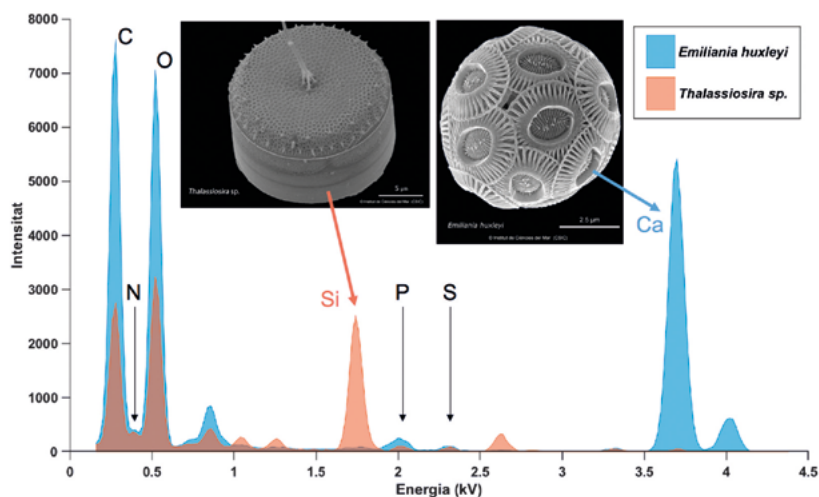


Figura 2. Espectres de raigs-X ressaltant pics d'elements vitals i elements característics de diferents grups del fitoplàncton: calci (Ca) en la cocolitoforal *Emiliana huxleyi* i silici (Si) en la diatomea *Thalassiosira* sp.

hem explicat, condicionen la disponibilitat de nutrients i llum per al fitoplàncton del qual en depenen els organismes marins, i en última instància, la humanitat.

## Referències

- Berdalet E., Arin L., Vila M., Viure L. 2022. Proliferacions d'organismes fotosintètics: cara i creu dels pilars dels ecosistemes marins. A: Pelegrí J.L., Gili J.M., Martínez de Albéniz M.V. (eds.), *L'oceà que volem: ciència oceànica inclusiva i transformadora*. Institut de Ciències del Mar, CSIC. Barcelona. pp. 56-58.
- Redfield A.C. 1934. On the proportions of organic derivatives in sea water and their relation to the composition of plankton. In: James Johnstone Memorial Volume, pp. 170-192.
- Segura-Noguera M., Blasco D., Fortuño J.-M. 2012. An improved energy-dispersive X-ray microanalysis method to analyse simultaneously carbon, nitrogen, oxygen, phosphorus, sulfur, and other cation and anion concentrations in single natural marine microplankton cells. *Limnol. Oceanogr. Methods* 10: 666-680.
- Segura-Noguera M., Blasco D., Fortuño J.-M. 2016. Taxonomic and Environmental Variability in the Elemental Composition and Stoichiometry of Individual Dinoflagellate and Diatom Cells from the NW Mediterranean Sea. *PLoS ONE* 11: e0154050.

DOI: <https://doi.org/10.20350/digitalCSIC/14093>

## 4.9. Quin paper jugarà el zooplàncton en un oceà futur?

Albert Calbet, Enric Saiz

En el pot petit hi ha la bona confitura i, de fet, els organismes més petits són els més nombrosos i sovint els més importants per al funcionament de la natura. El plàncton és majoritàriament invisible a l'ull humà, però és crucial per a les xarxes tròfiques marines. Els organismes del plàncton són responsables de la vida a la Terra: ens proporcionen la meitat de l'oxigen que respirem i, sense ells, no menjaríem peix. Per contra, també són els precursors dels combustibles fòssils com el petroli. Què hi farem, ningú és perfecte!

### Els principals components del plàncton i les seves funcions

En una culleradeta d'aigua de mar (aproximadament 5 ml), podem trobar-hi uns 50 milions de virus (no us preocupeu, no són nocius per als humans!), cinc milions de bacteris, alguns centenars de milers de petits flagel·lats unicel·lulars, aproximadament cinc ciliats (figura 1) o dinoflagel·lats i, si tenim sort, un petit crustaci com ara els copèpodes (figura 2). La part vegetal del plàncton es diu fitoplàncton i la part animal zooplàncton. Encara que el terme zooplàncton inclou tant organismes unicel·lulars com multicel·lulars, normalment separem aquests grups per grandària en microzooplàncton (principalment unicel·lular; 20-200 micres) i mesozooplàncton (animals pluricel·lulars; 0,2-20 mil·límetres).

Cada grup de zooplàncton té la seva funció en l'ecosistema marí (Steinberg i Landry 2017), encara que podem considerar-los a tots consumidors de bacteris, fitoplàncton i fins i tot d'altres membres del zooplàncton. Els orga-

nismes del microzooplàncton, per exemple, són els principals herbívors dels oceans i, per tant, constitueixen una baula clau en la transferència de matèria i energia a través de la xarxa tròfica (Schmoker *et al.* 2013). Els integrants del mesozooplàncton, majoritàriament petits crustacis com ara els copèpodes, també són consumidors voraçs de fitoplàncton i microzooplàncton, i són el principal aliment dels peixos (i a vegades



Figura 1. El ciliat tintínid *Favella* sp. és un membre habitual del microzooplàncton (font: Albert Calbet).



Figura 2. *Calanus hyperboreus*, un important copèpod artíctic que veu el seu hàbitat amenaçat pel canvi climàtic (font: Albert Calbet).

de les balenes, encara que la majoria prefereix el krill). Per la seva banda, a través de la seva activitat metabòlica, el zooplàncton també ajuda a alliberar els nutrients acumulats en la matèria viva, fent-los disponibles novament per les algues; aquest procés s'anomena reciclatge de nutrients. Pensàveu que els humans havíem inventat el reciclatge? Doncs resulta que existeix des de fa milions i milions d'anys. De fet, al mar s'utilitza gairebé tot i es malgasta molt poc.

## El zooplàncton en un oceà futur

És innegable que la Terra s'està escalfant a un ritme més ràpid del que li pertocaria per causes naturals. No obstant això, és important de comprendre que el clima de la Terra no es pot entendre sense l'oceà i viceversa. Per tant, s'espera que un augment de la temperatura planetària tingui conseqüències en l'estabilitat de la columna d'aigua, i que afecti l'extensió i la intensitat dels creixements estacionals de fitoplàncton. Aquest fet, al seu torn pot influir en el reclutament d'espècies clau de copèpodes en molts ecosistemes. Per exemple, un major grau d'estratificació i un menor contingut de nutrients inorgànics en les capes superficials de l'oceà poden provocar canvis en la composició i la mida (seran més petits) dels seus components microbians. Això resultarà en una transferència menys eficient i rendible d'energia cap als copèpodes i, per tant, tindrà un efecte negatiu sobre la producció dels copèpodes, els peixos, i la pesca en general. L'escalfament dels oceans també podria modificar la periodicitat i la intensitat de determinats afloraments marins, i tenir conseqüències importants per a la productivitat de tot l'ecosistema marí i les principals pesqueres. A través de retroalimentacions climàtiques complexes, una temperatura més alta pot resultar en variacions en la direcció i intensitat dels corrents i influir en la distribució de les espècies marines. Per exemple, fenòmens com «El Niño» que controlen les pesqueres de la costa oest d'Amèrica del Sud depenen directament de les condicions climàtiques. A una escala més local, l'augment de la freqüència i amplitud de les proliferacions de meduses i d'algues nocives (també relacionades amb altres impactes antropogènics), la introducció d'espè-

cies invasores, i l'expansió de zones anòxiques en els mars i oceans són alguns exemples dels canvis que ens esperen en un futur immediat.

## Encara que no tot està perdut (o potser sí)

Al llarg de l'evolució, les característiques funcionals del plàncton s'han desenvolupat estretament amb el seu entorn, fet que els fa molt susceptibles al canvi climàtic. Malgrat això, el plàncton també té certa plasticitat i pot adaptar-se als canvis de temperatura, especialment si són graduals. En la majoria de casos, les observacions han demostrat que els organismes planctònics en condicions més càlides acaben sent més petits que a temperatures més baixes. Al laboratori també s'ha vist que, després d'un període d'adaptació a temperatures més elevades, tant el fitoplàncton com el zooplàncton acaben regulant les seves taxes metabòliques i compensen els efectes de la temperatura. Si, per exemple, expossem algues a temperatures cinc graus per sobre de la temperatura a la qual normalment viuen, la seva taxa respiratòria superarà la seva taxa de fotosíntesi. Això es deu al fet que la respiració és més sensible que la fotosíntesi als canvis tèrmics. Després de moltes generacions en les noves condicions de temperatura, però, ambdues taxes tornaran al seu equilibri original.

Aleshores, per què ens hauria d'importar? El problema és que, durant aquest procés d'adaptació, que pot durar anys, l'espècie en qüestió es troba en desequilibri metabòlic i no és competitiva enfront d'altres espècies millor adaptades. Un clar exemple és el desplaçament del copèpode *Calanus finmarchicus* (que té afinitat per aigües fredes) per *Calanus helgolandicus* (que té afinitat per aigües més calentes) al mar del Nord (Edwards *et al.* 2013). La primera espècie és molt prolífica i nutritiva, i gràcies a ella es manté la pesquera del bacallà a la zona. Sembla que *C. helgolandicus* té menys reserves de lípids que *C. finmarchicus*, de manera que la producció d'aquestes importants pesqueres està canviant. Trobem un altre exemple en els canvis biogeogràfics de la composició de la comunitat de zooplàncton causats per l'escalfament dels oceans. Aquests desplaçaments de comunitats que busquen la seva temperatura idònia de ben

segur que també afectaran la retenció de carboni per part del zooplàncton i la seva transferència cap a la producció pesquera, tot i que les comunitats en qüestió tindran almenys la possibilitat de migrar. No obstant això, encara es desconeix què passarà en els tròpics, on les espècies locals ja es troben al límit de les seves capacitats de tolerància tèrmiques. Sobreviurà el plàncton d'aquests ecosistemes a un augment de temperatura com l'esperat a finals de segle? És difícil de predir, però moltes espècies segurament es perdran pel camí.

## Referències

- Edwards M., Bresnan E., Cook K., *et al.* 2013. Impacts of climate change on plankton. MCCIP Science Review, pp. 98-112.
- Schmoker C., Hernandez-Leon S., Calbet A. 2013. Microzooplankton grazing in the oceans: impacts, data variability, knowledge gaps and future directions. J. Plankton Res. 35: 691-706.
- Steinberg D. K., Landry M.R. 2017. Zooplankton and the ocean carbon cycle. Ann Rev Mar Sci. 9: 413-444.

DOI: <https://doi.org/10.20350/digitalCSIC/14094>



## 4.10. L'oceà recicla la matèria orgànica i segresta el carboni

Miguel Cabrera-Brufau, Pedro Cermeño, Cèlia Marrasé

El fitoplàncton marí són microorganismes fotosintètics que utilitzen radiació solar i carboni i nutrients inorgànics per produir matèria orgànica (MO) i alliberar oxigen molecular. La fotosíntesi del fitoplàncton produeix tant matèria orgànica particulada (MOP) com matèria orgànica dissolta (MOD) i aquestes dues fraccions estan subjectes a diferents consums i transformacions biològiques, així com a diferents processos de transport físic. La MOP fitoplàntica pot ser

ingerida directament pel zooplàncton, animals microscòpics que al seu torn serveixen com a aliment per organismes més grans, mentre que la MOD entra a la xarxa tròfica a través de microbis, que consumeixen els compostos dissolts i al seu torn després són ingerits per altres organismes. Les dues fraccions poden ser exportades a aigües profundes; la MOP es pot enfonsar per si sola, i ser transportada per organismes i enfonsament de masses d'aigua, mentre que la

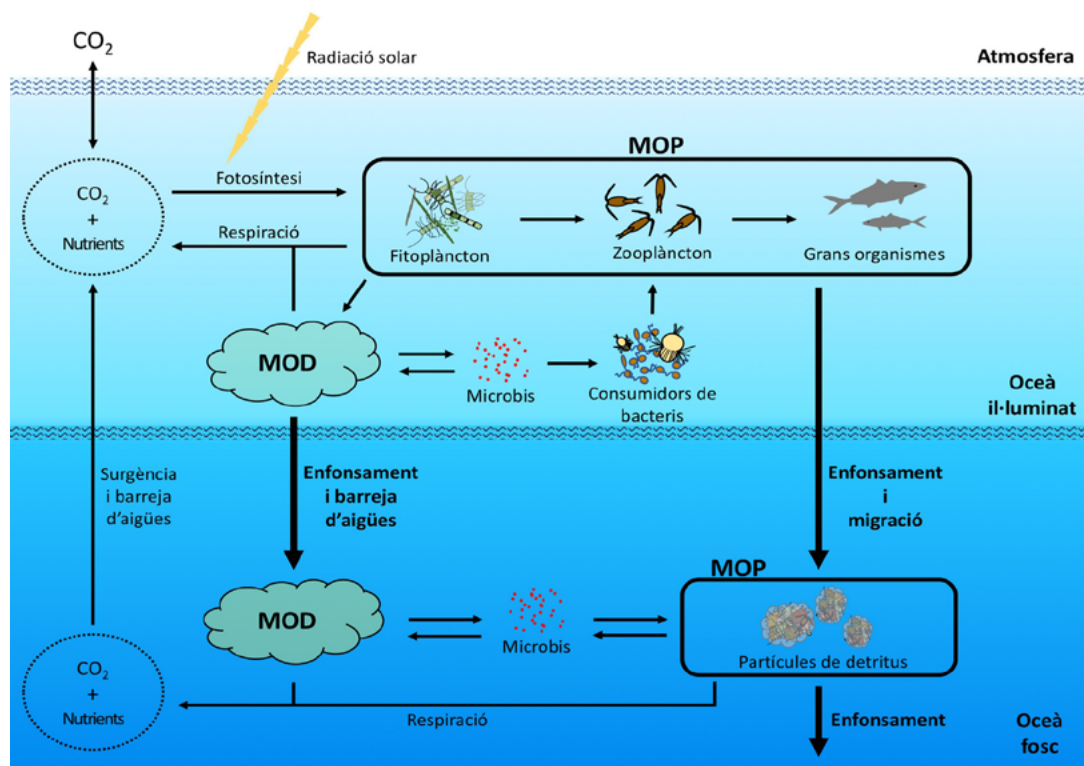


Figura 1. Esquema que mostra els principals processos d'exportació de MO de la bomba biològica de carboni (BCP). MOD (matèria orgànica dissolta); MOP (matèria orgànica particulada).

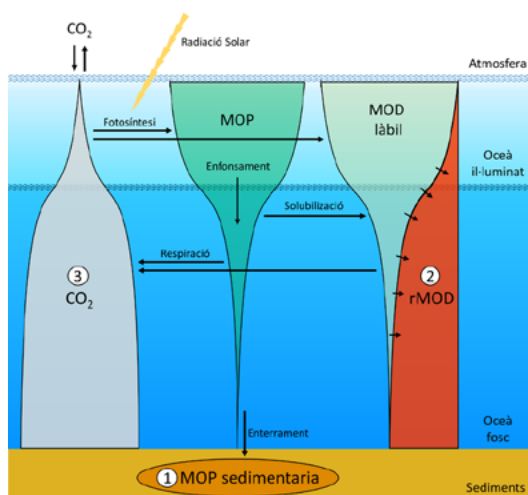


Figura 2. Esquema de les tres formes d'emmagatzematge de C oceàniques que depenen de la bomba biològica de carboni: MOP sedimentari (1), MOD recalcitrant (2) i  $\text{CO}_2$  oceànic profund (3).

MOD només es pot exportar a través de processos físics d'enfonsament i de barreja. Els diferents processos que transporten MO de la superfície a aigües més profundes es coneixen com la bomba biològica de carboni (BBC) (figura 1). A mesura que la MO es transporta cap avall, es degrada i respira, alliberant nutrients i  $\text{CO}_2$ . La BBC, a través de l'exportació i processat de matèria orgànica, manté gradients verticals de nutrients,  $\text{CO}_2$ , MOD i MOP que tenen importants conseqüències per al funcionament dels ecosistemes marins i la modulació del clima terrestre.

## Reciclatge de matèria orgànica

La producció primària del fitoplàncton marí està generalment limitada per la disponibilitat de llum solar i per la concentració de nutrients inorgànics (principalment fòsfor i nitrogen). Per tant, la dinàmica i distribució d'aquests nutrients inorgànics són de gran importància per a sustentar els ecosistemes marins que, al seu torn, influeixen en la distribució dels nutrients inorgànics a través d'activitats biològiques. Aquesta interconnexió de nutrients i fitoplàncton està en gran mesura governada per la radiació solar: la superfície de l'oceà, il·luminada pel sol, està dominada per la fotosíntesi, que consumeix nutrients inorgànics, mentre que

en l'oceà profund la respiració de MO allibera nutrients que s'acumulen fins que l'afloreament d'aigües i la barreja vertical els porta de tornada a la superfície.

La major part de la MO es degrada i respira a les capes superficials de l'oceà, reciclant nutrients que poden sustentar una mica de producció primària. Això s'anomena producció reciclada i és el principal procés que subministra nutrients a regions com els girs tropicals, on la marcada estratificació tèrmica evita que les aigües profundes, riques en nutrients, arribin a la superfície. Aquests sistemes són relativament improductius; el reciclatge microbià manté comunitats dominades per fitoplàncton de mida petita, incapaç de sostenir pesqueres importants o d'exportar MO més enllà de la zona il·luminada. Per contra, en regions on les aigües profundes riques en nutrients emergeixen a la superfície, la producció primària és potenciada; el fitoplàncton pot utilitzar no només els nutrients reciclats localment, sinó també els acumulats en aigües profundes durant el seu viatge per l'oceà profund. Aquest aportament «extern» de nutrients manté el que es coneix com producció nova i permet el creixement d'espècies de fitoplàncton de gran mida, que sustenten les pesqueres mundials i l'exportació de MO a les profunditats de l'oceà a través de la cadena tròfica clàssica. En general, tota la vida en els oceans depèn del reciclatge de matèria orgànica i nutrients, ja sigui en la superfície (producció reciclada) o a les profunditats de l'oceà (producció nova) (Eppley i Peterson 1979).

## Segrest de carboni

La capacitat dels oceans per segrestar carboni està determinada per processos físics, químics i biològics i el carboni pot ser emmagatzemat en formes tant orgàniques com inorgàniques. L'exportació de matèria orgànica a les profunditats mitjançant la BBC deriva en tres principals mecanismes de segrest de carboni importants per a la regulació del clima terrestre (figura 2).

Primerament, l'enfonsament de MOP fa que una part d'aquesta quedi enterrada en els sediments marins. Aquesta fracció s'estima que representa menys de l'1% de la MO produïda cada any a la superfície, però, és un dels prin-

cipals mecanismes biològics que regulen els nivells de  $\text{CO}_2$  atmosfèric a escales de temps geològiques (De La Rocha 2007). Un segon mecanisme d'emmagatzematge de carboni orgànic consisteix en l'acumulació de MOD recalcitrant (rMOD) en les profunditats de l'oceà com a subproducte de la degradació microbiana de MOD làbil. Múltiples factors poden fer que la MOD sigui resistent a la degradació, des de la seva intrínseca complexitat i diversitat química fins a les condicions ambientals de les profunditats marines o la identitat dels descomponedors bacterians. La quantitat de carboni acumulat en forma de rMOD és comparable a la del  $\text{CO}_2$  atmosfèric i pot ser segrestat amb mínimes pèrdues durant milers d'anys (Hansell 2013). Finalment, encara que tot el carboni fixat en la matèria orgànica pel fitoplàncton sigui respirat i alliberat com  $\text{CO}_2$  en els oceans, la profunditat a la qual això succeeix pot tenir un impacte important en el clima de la Terra. Com més profund es respiri la MO, més temps trigarà el seu carboni a entrar de nou en contacte amb la superfície. El gradient vertical de  $\text{CO}_2$  limita l'intercanvi d'aquest gas amb l'atmosfera i fa que l'oceà emmagatzemi més carboni del que podria si cap procés biològic intervingués. Si tota la vida en els oceans desaparegués, aquest gradient eventualment desapareixeria i l'excés de  $\text{CO}_2$  s'alliberaria, duplicant aproximadament la concentració atmosfèrica d'aquest gas d'efecte d'hivernacle (Boyd 2015).

Aquests tres mecanismes de segrest de carboni depenen, en major o menor mesura, de la degradabilitat de la MO produïda pel fitoplàncton. El carboni de la MO resistent arriba a majors profunditats, on es pot acumular ben

dissolt com rMOD i  $\text{CO}_2$  o enterrat en els sediments en forma de MOP. Es preveu que el canvi climàtic modifiqui les distribucions de diferents tipus fitoplanctònics, afavorint a grups amb MO relativament fàcil de degradar en detriment d'altres que produeixen MO més resistent (Cabrera-Brufau *et al.* 2021). Aquests canvis probablement reduiran la capacitat biològica de l'oceà per segrestar carboni, cosa que podria exacerbar l'escalfament global.

El fitoplàncton marí no només regula a la distribució de nutrients i, en essència, sustenta tota la producció biològica marina, incloent-hi recursos importants com la pesca. Mitjançant la regulació del clima de la Terra, las conseqüències de les seves activitats arriben a tota la vida al nostre planeta. No obstant això, estem lluny de comprendre completament tots els processos que controlen el reciclatge de MO i la seva eventual acumulació en l'oceà, el que serà fonamental per predir amb precisió i, amb sort, mitigar les conseqüències del canvi climàtic.

## Referències

- Boyd P.W. 2015. Toward quantifying the response of the oceans' biological pump to climate change. *Front. Mar. Sci.* 2: 77.
- Cabrera-Brufau M., Arin L., Sala M.M., *et al.* 2021. Diatom dominance enhances resistance of phytoplanktonic POM to mesopelagic microbial decomposition. *Front. Mar. Sci.* 8: 683354.
- De La Rocha C.L. 2007. The Biological Pump, In: *Treatise on Geochemistry* (Elsevier), 1-29.
- Eppley R.W., Peterson B.J. 1979. Particulate organic matter flux and planktonic new production in the deep ocean. *Nature* 282: 677-680.
- Hansell D.A. 2013. Recalcitrant dissolved organic carbon fractions. *Ann. Rev. Mar. Sci.* 5: 421-445.

DOI: <https://doi.org/10.20350/digitalCSIC/14095>

## 4.11. Estudiar el litoral. Entendre la frontera

Jordi Camp, Eva Flo, Albert Reñé, Nagore Sampedro, Esther Garcés

Litoral és la part de la superfície terrestre propera a la línia de contacte entre terra i mar. Com tota frontera és més concepte que lloc. No té entitat física ni per tant propietats. El que és rellevant és el que succeeix a cada costat i les interaccions mútues que es materialitzen en fluxos a través seu. Aquesta aproximació al litoral com a frontera és una simplificació que resulta molt útil per abordar les problemàtiques de les aigües marines litorals i la seva relació amb les activitats humanes.

### Entendre la frontera

El mar pròxim al continent és molt diferent de la resta –més heterogeni, variable i productiu (Flo *et al.* 2011)– principalment per efecte dels fluxos de matèria procedents de terra ferma (figura 1). Les comunitats d'organismes marins litorals estan modelades d'acord amb aquests fluxos. Tot l'ecosistema litoral depèn d'ells i evoluciona al llarg de l'espai i el temps en funció de les modificacions dels mateixos.

Els fluxos continentals estan avui totalment influïts per les activitats humanes. El procés va començar tímidament al neolític quan vam superar l'etapa de caçadors-recol·lectors i vam iniciar el procés d'assentament i organització del territori, activitat que no ha fet més que créixer des d'aleshores. Els mapes actuals d'usos del sòl són el millor indicador, no només de l'estat dels continents, sinó també de les característiques que podem esperar de les aigües marines litorals i dels organismes que les habiten (Flo *et al.* 2019, Basterretxea *et al.* 2018).

El litoral va ser i és important per a la humanitat. *Homo sapiens* va néixer terra endins del continent africà, però ara sabem que en

moments crítics de la seva evolució, quan tota la humanitat eren uns pocs centenars d'individus, va necessitar el litoral per sobreviure com a espècie. Avui, amb prop de 8.000 milions, més de la meitat de la humanitat viu al litoral, que representa menys del 10% de la superfície terrestre. El mar litoral segueix sent el que més interessa a la societat ja que és el que més coneix, aprofita i gaudeix.

### Estudiar el litoral

Les ciències de la natura sorgeixen com a resposta a la necessitat de preveure el futur per sobreviure. Cal estudiar per entendre, cal entendre per gestionar i així governar en el possible el futur i romandre com a espècie. Les ciències de la natura com a eina de gestió a terra es recolzen sobre més de deu mil anys d'experiència de prova i error. Al mar, la gestió de l'ecosistema té tot just cent anys de recorregut; recordem que durant el primer terç del segle xx encara es consideraven els recursos marins com pràcticament inesgotables.

La gran inèrcia del sistema marí fa que les respostes a les pressions siguin poc aparents a curt termini i també de lenta recuperació. Quan la capacitat de generar pressions és molt alta, com passa en l'actualitat amb l'acció humana, i els impactes i retorns es dilaten molt en el temps, la prova i l'error no serveix. En aquests casos, es necessita anticipació, que requereix al seu torn un coneixement profund dels mecanismes i processos fisicoquímics i biològics que governen el funcionament del sistema. Obtenir aquest coneixement profund és la raó última de l'existència dels centres d'investigació marina.



Hi ha una forta pressió social per fer prevaldre els valors d'ús de la natura sobre qualsevol altre i al mar més encara, al ser menys aparent la connexió entre conservació i funcionament. Gran part dels objectius dels centres de recerca marina al llarg del segle xx han estat lligats a resoldre problemes d'exploració i gestió pesquera, d'extracció de minerals del fons marí, de dinàmica marina relacionada amb la navegació, etc. El nostre propi institut va néixer com a Instituto de Investigaciones Pesqueras en un moment en què la pesca era una part important de l'economia del país. Encara avui, els criteris de gestió segueixen molt lligats als valors d'ús, la prova és que seguim parlant de serveis ecosistèmics, de mar net i productiu, de pesca sostenible, etc.

Sense renunciar a tot això, cal anar més enllà. Necessitem aprofundir en el coneixement del funcionament íntim de l'ecosistema marí litoral aprofitant les possibilitats que ens ofereixen les noves tecnologies, des de la biologia molecular als sensors remots. Hem de treballar més en visions holístiques com, per exemple, les que relacionen l'ordenació i usos del territori amb els fluxos continentals que arriben al mar. Només així, tindrem eines de gestió de la qualitat de l'aigua costanera, de la qual depèn l'estat i l'evolució de l'ecosistema litoral. Cal fixar prioritats d'estats desitjables i possibles de les comunitats biològiques litorals, sense oblidar els valors d'ús del litoral, que la societat segueix demandant fortament. Però com que no tot és possible a tot arreu i al mateix temps, cal abordar amb valor els problemes de planificació espacial. En la segregació d'activitats cal anar més enllà dels criteris basats només en els serveis ecosistèmics, que freqüentment s'esbiaixen per motius especulatius. Cal introduir cada vegada més criteris de conservació fonamentats en valors ètics i patrimonials.

La nostra institució participa d'aquesta història lligada a l'ús del mar, però des de sempre ha mantingut la inquietud pel coneixement bàsic



Figura 1. Costa Sud de Catalunya. Al fons, el poble d'Alcanar. La circulació complexa de sediments litorals resuspesos al mar per un vent incipient, contrasta amb un continent perfectament controlat i ordenat. La imatge il·lustra les diferències de coneixement i predictibilitat entre ambdós costats de la frontera litoral (Autor J. Camp).

i la visió holística. Gràcies a això, va ser i continua sent referent en molts camps de les ciències del mar. Aquesta posició de privilegi obliga, davant de la societat que ens paga, a marcar directrius en la relació de la humanitat amb el mar en general i, molt especialment, amb la seva part més amenaçada: el litoral. La nostra acreditada excel·lència científica dona autoritat moral per a què se'ns escolti i a això li hem de dedicar part del nostre esforç.

## Referències

- Basterretxea G., Torres-Serra F.J., Alacid E., *et al.* 2018. Cross-Shore Environmental Gradients in the Western Mediterranean Coast and Their Influence on Nearshore Phytoplankton Communities. *Front. Mar. Sci.* 5: 78.
- Flo E., Garcés E., Manzanera M., Camp J. 2011. Coastal Inshore Waters In The NW Mediterranean: Physicochemical And Biological Characterization And Management Implications. *Estuar. Coast Shelf Sci.* 93: 279-289.
- Flo E., Garcés E., Camp J. 2019. Land Uses Simplified Index (LUSI): Determining Land Pressures and their Link with Coastal Eutrophication. *Front. Mar. Sci.* 6: 18.

DOI: <https://doi.org/10.20350/digitalCSIC/14096>

## 4.12. Per què estudiem les zones polars?

Clara Cardelús, Vanessa Balagué, Magda Vila

Els pols sempre han tingut un atractiu inherent al propi fet de tractar-se de zones remotes, amb un accés limitat, en què arribar-hi recorda els viatges èpics dels primers exploradors i exploradores, i aquest sentiment d'aventura també acompanya moltes de les actuals campanyes polars. Però, a banda d'aquest esperit aventurer, la recerca als pols fa anys que es porta a terme amb la voluntat d'aprofundir en el coneixement científic que es té d'aquestes zones (Balagué *et al.* 2021).

### Descobrint els pols

En el cas de les expedicions científiques a l'Antàrtida, en particular, l'Institut de Ciències del Mar (ICM) hi ha estat estretament involucrat des de fa molts anys, sobretot gràcies a la voluntat, esforç i perseverança de persones com Antoni Ballester, Josefina Castellví, Marta Estrada, Joan Rovira i Agustí Julià, que van ser pioneres de la investigació antàrtica estatal des de l'ICM, impulsant la creació de la primera base antàrtica espanyola, la BAE Juan Carlos I, el 1987 (Castellví 2007, Estrada 2020). En el cas de la investigació a l'Àrtic, la presència de campanyes amb personal investigador i tècnic de l'ICM va començar més tardanament que al Pol Sud. Fou durant la primera dècada dels 2000, i concretament amb la incorporació d'Espanya com a membre del Consell Àrtic el 2006, quan es van fer més freqüents els treballs d'investigació en aquest pol.

Els oceans Àrtic i Antàrtic ocupen el 10% de la superfície total de l'oceà. Malgrat representar aquesta petita proporció, tenen un paper crucial en la regulació climàtica global, ja que és on té lloc la formació d'aigua profunda, el que podríem interpretar com l'inici de l'anomenada cinta transportadora, que distribueix calor i nutrients al llarg del viatge per l'oceà global i manté estable el clima de la Terra, la producció i la vida a l'oceà. A més,

les regions polars són laboratoris naturals en què les condicions naturals extremes i les localitzacions tan aïllades fan possible l'estudi de fenòmens naturals i processos fonamentals que no són factibles en altres zones. Per posar un exemple, és especialment rellevant per als estudis de la interacció entre l'oceà i l'atmosfera que, per la seva condició pristina, es realitza en les condicions més pures possibles. De totes maneres, no hem d'oblidar que la contaminació ambiental és un fenomen global que fins i tot arriba als pols, on els contaminants s'introdueixen i afecten les xarxes tròfiques polars. L'estudi d'aquests processos ens dona, alhora, informació de la capacitat que tenen alguns d'aquests compostos químics de persistir en el temps i de viatjar llargues distàncies, impactant d'aquesta manera en la contaminació global.

### Oceans polars i canvi global

La presència de gel i neu permanent en les zones polars és objecte d'estudi multidisciplinar. Pel que fa a l'aspecte atmosfèric i climàtic, aquesta coberta blanca fa incrementar l'efecte albedo en els pols, reflectint la llum solar i mantenint la temperatura del planeta. Indubtablement, l'estudi de la pèrdua de gel marí com a conseqüència de



Figura 1. Paisatge glaçat a l'estret de Gerlache, Antàrtida. Es pot apreciar el gel marí (banquisa) gairebé desfet, en contrast amb el gel continental permanent de la glacera. Autora: Clara Cardelús.

l'escalfament planetari es fa indispensable per poder entendre les prediccions futures, encara molt incertes, en un clima canviant (figura 1). La fusió de capes de gel i glaceres en les regions polars pot exercir, doncs, una forta influència tant en la meteorologia present com en el clima futur i en la circulació oceànica (Programa Mundial d'Investigació del Clima). Per tant, la investigació de la criosfera i la seva dinàmica és especialment rellevant en el context actual d'emergència climàtica.

La reducció del 40 per cent del gruix del gel marí àrtic durant les darreres quatre dècades i el col·lapse de les plataformes de gel a l'Antàrtida occidental són alguns dels exemples més dramàtics dels canvis recents que han captat l'interès general i han suscitat diverses reflexions en un escenari de canvi global. Pel que fa als esdeveniments extrems relacionats amb l'activitat sísmica present sota el gel, se sap que en el cas de generar-se més erupcions en zones polars, la deposició de grans quantitats de cendres volcàniques sobre el gel de les glaceres podria afectar el seu albedo, i accelerar encara més la fusió de gel.

Aquesta retirada de gel de les glaceres també faria canviar l'estructura del permafrost i modificaria l'activitat metabòlica dels microorganismes polars terrestres, adaptats a viure en aquestes condicions extremes i, a la llarga, facilitaria la seva colonització per part d'altres organismes vegetals i animals. Respecte a la vida als oceans polars, hi ha molts processos encara poc coneguts en què la contribució de cada grup de la xarxa tròfica és vital per entendre la recirculació de nutrients, la seva intervenció en els cicles biogeoquímics, la seva participació en processos com la formació de núvols gràcies, en part, als gasos exhalats per alguns organismes, i també com l'activitat biològica pot capturar el  $\text{CO}_2$  atmosfèric i acabar sent transportat a les profunditats. Si els organismes planctònics i bentònics dels oceans no són capaçs d'adaptar-se a l'augment de temperatura actual, l'equilibri ecològic d'aquests ecosistemes gèlids podria veure's amenaçat, afectant tota la xarxa tròfica fins als grans depredadors (figura 2).

El gel és també un element d'interès de cara als estudis de paleoclimatologia, per conèixer com va ser el clima del passat i mirar d'entendre i preveure com serà en el futur. L'extracció de testimonis de gel i l'estudi dels components retinguts en les bombolles de l'aire del passat ens



Figura 2. Colònia de pingüins carablancs a illa Decepció, arxipèlag de les illes Shetland del Sud, Antàrtida. Autora: Clara Cardelús.

pot ajudar a saber, per exemple, com és la relació que hi ha entre el  $\text{CO}_2$  i la temperatura, i arribar a comprendre el que està succeint en aquests moments, en què l'augment de temperatura no havia tingut tanta embranzida com actualment.

La necessitat d'entendre com funciona la física, química, geologia, i biologia dels pols, ja sigui recollint dades en expedicions oceanogràfiques o fent ús de les observacions per satèl·lit, és de gran importància. La ciència polar pot beneficiar els éssers vius que l'habiten, inclosa la humanitat, i ajudar a protegir el planeta. En aquest sentit, el paper fonamental dels pols en el context climàtic actual porta conseqüentment a la necessitat de protecció ambiental, i en especial la sensibilització i formació que es pot donar en l'àmbit educatiu. Cal que arribi a les escoles el missatge que tot allò que passa als pols té repercussions globals, i les noves generacions entenguin que aquestes regions remotes són part protagonista de qüestions tan actuals com el canvi global i l'emergència climàtica.

## Referències

- Balagué V., Cardelús C., Vila M. (eds.). 2021. Observando los Polos. Colección Divulgación CSIC, Los Libros de la Catarata.
- Castellví J. 2007. De cómo España abrió su ruta para la investigación antártica. Arbor. Ciencia, Pensamiento y Cultura. CLXXXIII 727: 739-747.
- Estrada M. 2020. Antoni Ballester i l'Antàrtida. Del Maga Dan a la Base Antàrtica Espanyola. Homenatge a Antoni Ballester i Nolla. Recull d'escrits. ICM - CSIC. Barcelona, pp. 41-50.
- Programa Mundial d'Investigació del Clima.  
<https://www.wcrp-climate.org/grand-challenges/grand-challenges-overview>.

DOI: <https://doi.org/10.20350/digitalCSIC/14097>

## 4.13. L'acidificació oceànica: tendències, efectes i què ens queda per aprendre

Carles Pelejero, Blanca Figuerola, Eva Calvo

Des de la Revolució Industrial, degut a la crema de combustibles fòssils, la concentració de diòxid de carboni ( $\text{CO}_2$ ) a l'atmosfera està augmentant progressivament, tot passant d'unes 278 ppm (parts per milió en volum) fins a les actuals 414 ppm (mitjana per l'any 2020 a l'observatori de Mauna Loa, Hawaii). Aquesta concentració seria encara més alta si no fos pels oceans, que actualment absorbeixen aproximadament una quarta part del  $\text{CO}_2$  que els humans emetem a l'atmosfera. En contrapartida, però, aquesta absorció està provocant canvis en la química de l'aigua de mar. Un cop el  $\text{CO}_2$  passa de l'aire a l'aigua, intervé en una sèrie de reaccions i equilibris químics que es tradueixen en un augment de l'acidesa i, per tant, en una disminució del pH.

### Tendències

Es calcula que, avui en dia, el pH de la superfície dels oceans ha disminuït ja unes 0,1 unitats

(de 8,2 a 8,1) des de l'època preindustrial, i les projeccions de futur indiquen que a finals del segle XXI, tot depenent de les emissions antropogèniques de  $\text{CO}_2$ , el pH continuarà disminuint unes 0,3-0,4 unitats més (figura 1).

Per determinats punts dels oceans a mar obert, disposem de sèries temporals on s'han fet mesures instrumentals de pH durant varies dècades que corroboren la progressiva acidificació (Bates *et al.* 2014). En zones costaneres, la suma de diferents processos (p.e. respiració, dissolució, producció primària, calcificació, barreja vertical, eutrofització) fan que la variabilitat en el pH sigui més ampla i ràpida que a mar obert, i que sovint calguin sèries més llargues per detectar la seva progressiva disminució.

### Efectes

Els organismes calcificadors són, *a priori*, els que s'han de veure afectats per l'acidificació d'una manera més evident. Al mateix temps que dismi-

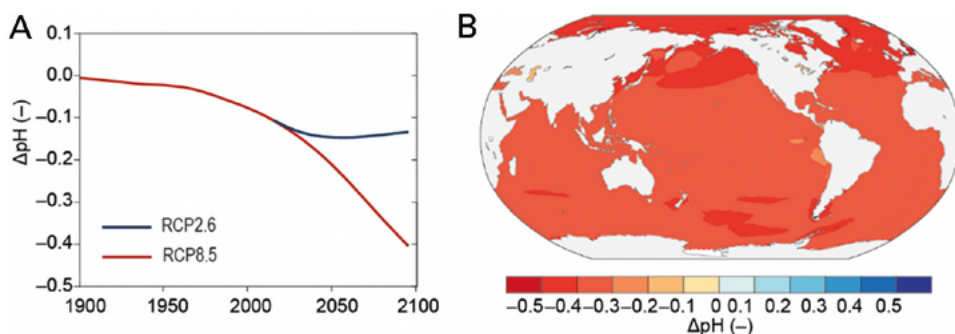
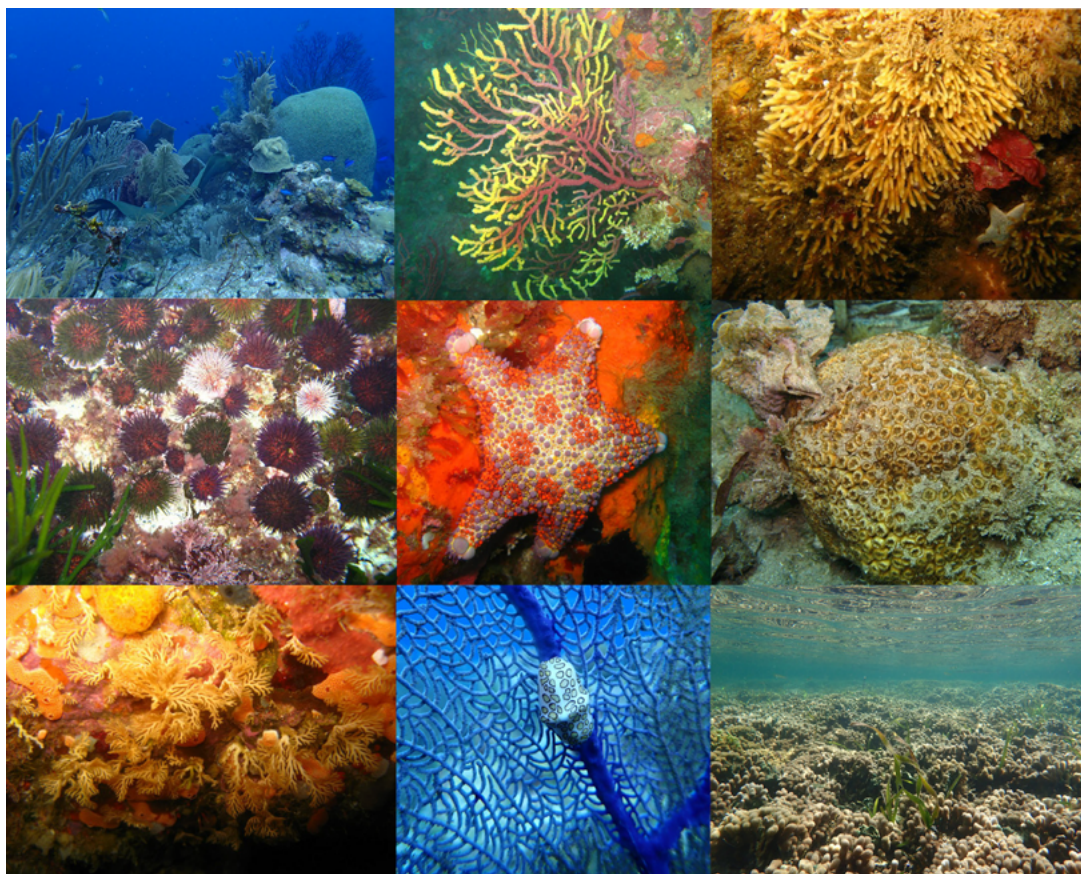


Figura 1. A, simulació dels canvis passats i futurs del pH superficial global dels oceans segons escenaris optimistes (RCP2.6) i pessimistes (RCP8.5). B, canvis en el pH superficial dels oceans per a finals del segle XXI en relació amb el període 1850-1900 segons un escenari pessimista (RCP8.5). Figura de IPCC (2019, plana 470). RCP (de l'anglès, Representative Concentration Pathways).





**Figura 2.** Organismes calcificadors amb diferents mineralogies. D'esquerra a dreta i de dalt a baix: escull de corall de la Barrera de corall de Belize, gorgònies vermelles (*Paramuricea clavata*) de les illes Medes, colònies ramificades del briozou *Cellaria malvinensis* de les Illes Malvines, eriçons de mar comú (*Paracentrotus lividus*) amb diferent coloració (mar Cantàbric), estrella de mar *Asterodiscides truncatus* de Poor Knights Islands, Nova Zelanda, colònia de corall semiesfèrica de madrepòra mediterrània (*Cladocora caespitosa*), colònies de briozou del gènere *Hornera* de les Illes Malvines, cargol llengua de flamenc *Cyphoma gibbosum* alimentant-se d'una gorgònia a la Barrera de Corall de Belize i escull de corall format per espècies del gènere *Porites* (Bocas del Toro, Panama). Fotos de Blanca Figuerola.

nueix el pH també ho fa la concentració d'ions carbonat, que és un paràmetre crític per tal que aquests organismes puguin construir les seves estructures de carbonat de calci (esquelets dels coralls, closques dels mol·luscs). A més, aquestes estructures poden ser més o menys vulnerables a la dissolució segons la seva mineralogia. Els organismes calcificadors generalment dipositen dues formes minerals: la calcita, com en el cas dels foraminífers (protozous) i els coccolitòfors (algues unicel·lulars), i l'aragonita, com en el cas dels coralls i els pteròpodes (mol·luscs pelàgics), que és generalment més soluble en aigua que la calcita. Algunes espècies poden incorporar també quantitats importants de magnesi (Mg) en la calcita,

com és el cas de molts equinoderms i briozous. La calcita alta en Mg pot ser fins i tot més soluble que l'aragonita. Per altra banda, el contingut de Mg en aquests esquelets generalment augmenta amb la temperatura. Per tant, en aquests organismes es preveu que l'escalfament i l'acidificació dels oceans augmentin la vulnerabilitat dels seus esquelets a la dissolució.

Els organismes calcificadors juguen papers clau en els ecosistemes i en el cicle del carboni ja que, depenent dels organismes, 1) són l'aliment bàsic d'animals de nivells tròfics superiors, 2) constitueixen hàbitats únics per moltes espècies, inclòs espècies comercials (p.e. coralls i briozous), i 3) actuen com a reservori de carboni,

ja que els seus esquelets o closques s'acumulen i preserven als sediments dels fons marins quan els organismes moren (p.e. foraminífers i cocolitòfors) (figura 2). A banda dels efectes en els calcificadors, la progressiva acidificació també pot accelerar la producció d'algues tòxiques, alterar la fisiologia i els valors nutricionals de diferents espècies (p.e. reducció d'àcids grassos omega-3) amb conseqüències negatives per la resta de la xarxa tròfica, entre d'altres.

Darrerament, els lligams entre l'estat dels oceans i la salut humana també s'estan posant en evidència, i l'acidificació oceànica és una de les problemàtiques que també hi tindria impactes (Falkenberg *et al.* 2020). En aquest treball es suggereix que aquest fenomen podria repercutir en la salut i el benestar humà, per exemple a través de les alteracions en la quantitat i qualitat dels recursos alimentaris marins, o de la disrupció dels entorns naturals d'alt interès per les activitats recreatives (p.e. esculls de corall). Més enllà d'aquests aspectes, l'acidificació podria tenir repercussions en àmbits molt diferents; molt recentment, per exemple, un estudi ha suggerit que la disminució del pH podria venir acompanyada d'un augment en la intensitat dels llamps que descarreguen sobre els oceans (Asfur *et al.* 2020).

## Què ens queda per aprendre

La recerca sobre la problemàtica de l'acidificació oceànica va experimentar un gran impuls en la dècada dels 2000, que continua en l'actualitat. Inicialment, bona part de la recerca es va centrar en els organismes calcificadors, sobretot els coralls tropicals, que constitueixen un dels ecosistemes més rics de la Terra i són un dels més afectats per aquest fenomen. Amb posterioritat, es va anar ampliant el rang d'organismes estudiats, i tot apunta que aquest procés donarà lloc a perdedors i guanyadors, tot provocant canvis progressius d'unes espècies per unes altres. Més recentment, també s'han començat a tenir en compte les possibles sinergies entre l'acidificació i altres canvis globals, com per exemple l'escalfament, tot incorporant el fet que els organismes marins estan subjectes a estressos múltiples més que individuals.

Pel que fa a direccions futures de recerca caldria incidir, entre d'altres, en 1) l'enfortiment dels programes de monitoratge instrumental a tota la columna d'aigua per delimitar la variabilitat i les tendències en la progressiva acidificació, 2) l'experimentació amb organismes marins, tot combinant diferents estressos a banda de l'acidificació, com per exemple l'escalfament, la desoxigenació, els canvis en la salinitat i els nutrients, 3) l'aprofundiment en l'estudi dels impactes segons les diferents mineralogies dels calcificadors, 4) l'experimentació i estudi dels ambients naturalment acidificats (p.e. en zones amb emanacions de CO<sub>2</sub> d'origen volcànic), 5) la determinació de possibles ambients que podrien servir com a refugis pel seu paper com a reguladors de l'acidesa (p.e. boscos marins de fanerògames), i 6) la contextualització dels canvis presents a través de la reconstrucció dels nivells de pH en el passat, per exemple a través de l'anàlisi d'isòtops de bor en fòssils de carbonat de calci (Pelejero *et al.* 2010).

Agraïments: Blanca Figuerola ha rebut finançament del programa de beques postdoctorals Beatriu de Pinós finançat per la Secretaria d'Universitats i Recerca (Govern de Catalunya) i pel programa Horizon 2020 de recerca i innovació de la Unió Europea sota l'acord de concessió de Marie Skłodowska-Curie núm. 801370 (Llicència d'incorporació 2019 BP 00183).

## Referències

- Asfur M., Silverman J., Price C. 2020. Ocean acidification may be increasing the intensity of lightning over the oceans. *Sci. Rep.* 10: 21847.
- Bates N.R., Astor Y.M., Church M.J. *et al.* 2014. A time-series view of changing ocean chemistry due to ocean uptake of anthropogenic CO<sub>2</sub> and ocean acidification. *Oceanography* 27: 126-141.
- Falkenberg L.J., Bellerby R.G.J., Connell S.D. *et al.* 2020. Ocean Acidification and Human Health. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 17: 4563
- IPCC. 2019. IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate. In: Pörtner H.-O., Roberts D.C., Masson-Delmotte V. *et al.* (eds). [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/3/2019/12/SROCC\\_FullReport\\_FINAL.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/3/2019/12/SROCC_FullReport_FINAL.pdf)
- Pelejero C., Calvo E., Hoegh-Guldberg O. 2010. Paleo-perspectives on ocean acidification. *Trends Ecol. Evol.* 25: 332-344.

DOI: <https://doi.org/10.20350/digitalCSIC/14098>

## 4.14. Utilitat i reptes dels models d'ecosistema marí per a una millor comprensió i gestió de l'oceà

Marta Coll, Jeroen G. Steenbeek

Els oceans del món estan experimentant ràpids canvis ecològics i socioeconòmics a causa del canvi mediambiental global, on les activitats humanes que afecten els recursos marins estan distribuïdes heterogèniament i se solapen espacialment. Històricament, l'explotació dels recursos marins era un motor principal de canvi, seguit de la contaminació, la destrucció mecànica de l'hàbitat, i més recentment les introduccions d'espècies i el canvi climàtic. El canvi ambiental afecta les propietats biofísiques i ecològiques de l'oceà i la seva organització biològica a múltiples nivells, incloent-hi gens, espècies, poblacions, comunitats, interaccions ecològiques i distribucions geogràfiques d'espècies marines.

Una transformació cap a la sostenibilitat és clau per adaptar els nostres sistemes socioecològics als entorns canviants. No obstant això, la comprensió científica sobre com els oceans continuaran canviant en el futur és limitada. Cal aprofundir en la nostra comprensió sobre com funcionen els ecosistemes marins i com el canvi climàtic els alterarà, i quines son les possibles sinergies amb altres factors de canvi socioecològics. Aquest coneixement és essencial per a gestionar les activitats humanes de manera informada i proactiva, possibilitant la mitigació dels impactes negatius i l'adaptació als canvis, al mateix temps que es garanteix la conservació dels recursos i ecosistemes i la resiliència socioeconòmica.

En resposta, hi ha un fort impuls per caminar cap a l'enfocament de Gestió de la Pesca basada en l'ecosistema (Christensen i Maclean 2011) (*Ecosystem-Based to Fisheries Management*, EBFM), i més en general per l'enfocament de

Gestió basada en l'ecosistema (*Ecosystem-Based Management*, o EBM), que inclou l'establiment d'iniciatives de gestió que consideren canvis en les activitats humanes, l'ecosistema i el medi ambient, i factoritzen les seves interaccions i retroalimentacions (Dolan *et al.* 2016) (figura 1).

### Models d'ecosistema marí com a eines d'integració emergent

Per a predir el futur de l'ecosistema marí i els seus serveis, hem d'adoptar una visió integrada de l'oceà com un sistema social-ecològic que abasti la dinàmica de components vius i no vius –tant comercials com no comercials– i els efectes de les activitats antropogèniques i la variabilitat i el canvi climàtic (Steenbeek *et al.* 2021). Les tècniques de modelatge potent poden integrar aquesta visió en marcs holístics per entendre millor els efectes acumulatius de les activitats humanes dins d'un context dinàmic espacial-temporal.

Les últimes dècades han estat testimonis d'un ampli desenvolupament de tècniques de modelatge tant en dominis terrestres com marins. El ràpid desenvolupament de models de circulació atmosfèrica-oceànica, incloent processos biogeoquímics en els models del sistema terrestre (*Earth System Models*, o ESM), ha millorat la capacitat científica per a projectar el sistema climàtic, que al seu torn ha ajudat a informar el Panell Intergovernamental sobre el Canvi Climàtic (IPCC).

Per separat, s'han desenvolupat models d'ecosistema per investigar el funcionament dels ecosis-



temes més enllà dels productors primaris. Aquests models són marcs conceptuals i teòrics que representen una comprensió sintetitzada de totes les parts principals d'un ecosistema i poden integrar grans quantitats de coneixement, integrant diferents nivells de biodiversitat, processos i factors de canvi (Fulton 2010). Durant les últimes tres dècades, hi ha hagut un gran augment en aquests marcs de modelatge, especialment en l'àmbit marí amb el desenvolupament dels models de l'ecosistema marí (*Marine Ecosystem Models*, MEMs) (figura 2). Els MEMs inclouen diversos enfocaments i s'estan aplicant per analitzar la dinàmica passada i futura dels ecosistemes marins i les interaccions de múltiples factors de canvi i d'estratègies de gestió alternativa. S'estan utilitzant per a projectar canvis en els ecosistemes marins a escala local, regional o global a tot el món.

Els MEMs regionals es despleguen principalment per integrar el coneixement biològic i ecològic d'estudis locals, per obtenir informació rellevant sobre el funcionament i l'estructura de diferents tipus d'ecosistemes, sobre el paper ecològic d'espècies clau i sobre l'efecte de les interaccions de múltiples factors de canvi. També s'utilitzen per explorar opcions de gestió alternativa, contribuint a EBFM i EBM (figura 1) (Christensen i Maclean 2011).

A l'altre costat de l'espectre, els MEMs globals integren gran quantitat de dades am-

bientals, ecològiques i socioeconòmiques per avaluar com els impactes en cascada de perturbacions ecològiques afecten els moviments de les espècies, la mobilitat de la flota pesquera i la disponibilitat de serveis de l'ecosistema a través de mecanismes macroecològics i teleconnexions de forçament. Els MEMs globals contribueixen a la urgent necessitat d'entendre els canvis globals en el context de l'IPCC i la Plataforma Intergovernamental Científic-Política sobre la Biodiversitat i els Serveis de l'Ecosistema (IP-BES). Els seus resultats contribueixen a estendre la capacitat científica per a projectar com poden ser els oceans futurs, quin resultat poden tenir diferents escenaris, i per quantificar la incertesa dels models a gran escala (Lotze *et al.* 2019).

## Grans reptes al davant

Malgrat el desenvolupament sense precedents dels ESM i MEM, i les capacitats per projectar el sistema climàtic, els models disponibles tenen limitacions, que en última instància afecten la seva capacitat d'informar els processos de gestió i polítics (Heymans *et al.* 2020). Per exemple, només uns quants MEMs són capaços de considerar la dinàmica ecològica directa i indirecta, des dels productors primaris als depredadors, capturant els impactes multinivell del canvi global en una diversitat de processos espaciotemporals. Els MEMs són limitats en la seva capacitat de representar les dinàmiques d'espècies invasores. La majoria dels models actuals són limitats en la seva capacitat de considerar com la dinàmica ecoevolutiva de les espècies pot interaccionar per condicionar i modificar la dinàmica d'espècies, patrons i interaccions, i tampoc resolen bé les interconnexions entre la terra i l'oceà.

Per tant, els MEMs s'enfronten a grans reptes per a contribuir a una millor comprensió i gestió dels oceans (Steenbeek *et al.* 2021). Existeix una necessitat urgent d'ampliar la seva capacitat per a projectar la biodiversitat oceànica, els serveis dels ecosistemes associats i els patrons d'ús, i com canviaran aquests sistemes socioeconòmics estretament interconnectats. Les prioritats per al desenvolupament dels MEMs inclouen connexions amb dades observacionals en temps gairebé reals,

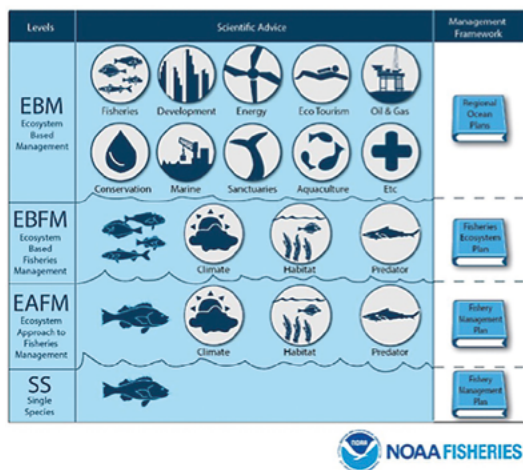


Figura 1. Representació esquemàtica de l'assessorament científic necessari per a la transició de la gestió dels recursos marins centrada en un sol estoc a enfocaments de gestió basada en l'ecosistema (segons Dolan *et al.* 2006).



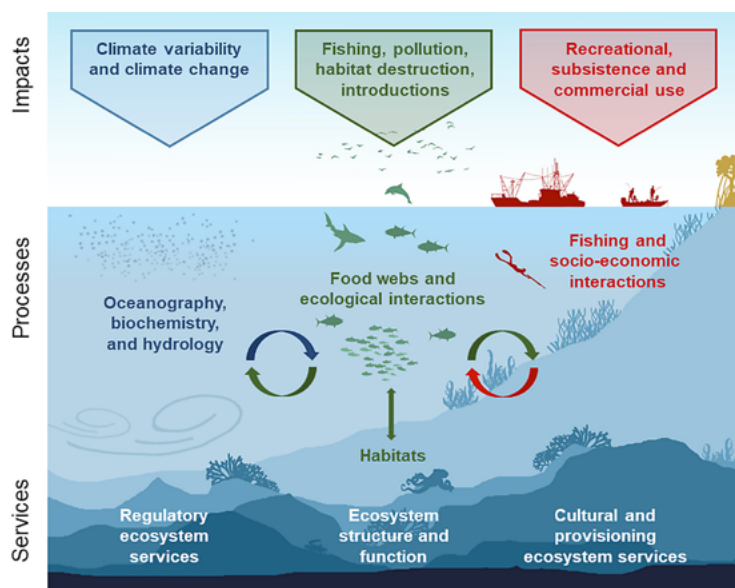


Figura 2. Els models d'ecosistema marí són eines poderoses per integrar el coneixement sobre la dinàmica ambiental i l'ecosistema, el canvi climàtic induït per l'ésser humà i altres activitats, incloent-hi la gestió dels recursos (font pròpia).

interoperabilitat amb plataformes de modelatge emergents que s'ocupen de la socioeconomia, la millora de les capacitats per executar anàlisis d'incertesa i validacions de models, el compromís dels interessats en la modelització participativa per integrar el coneixement ecològic local, i la capacitat d'extreure propietats emergents dels sistemes socioecològics. És important destacar que la distribució desigual de les capacitats de recerca i la disponibilitat de dades entre regions i països posa en rellevància la necessitat de treballar en la creació de capacitats globals, ja que les regions amb menys recursos tendeixen a estar situades en zones sensibles amb alta biodiversitat que s'enfronten a deficiències en la supervisió i gestió dels recursos marins (Heymans *et al.* 2020).

La Dècada de l'Oceà de les Nacions Unides i la Dècada per a la Restauració de l'ecosistema proporcionen a la comunitat científica una oportunitat única per fer front a aquests grans reptes. Avenços importants en les capacitats actuals dels MEM poden ser elements essencials per a contribuir substancialment als objectius del Conveni de la Diversitat Biològica i al seu marc de biodiversitat global posterior a 2020,

així com a informar l'IPCC de les Nacions Unides, l'IPBES i els Objectius de Desenvolupament Sostenible (DGS), en particular l'SDG14 sobre la conservació i l'ús sostenible dels mars, oceans i recursos marins.

## Referències

- Christensen V., Maclean J. 2011. *Ecosystem Approaches to Fisheries: A Global Perspective*. Cambridge University Press, Cambridge 325 pp.
- Dolan T.E., Patrick W.S., Link J.S. 2016. Delineating the continuum of marine ecosystem-based management: a US fisheries reference point perspective. *ICES J. Mar. Sci.* 73: 1042-1050.
- Fulton E.A. 2010. Approaches to end-to-end ecosystem models. *J. Mar. Syst.* 81: 171-183.
- Heymans J.J., Bundy A., Christensen V., *et al.* 2020. The Ocean Decade: A true ecosystem modelling challenge. *Front. Mar. Sci.* 7: 554573.
- Lotze H.K., Tittensor D.P., Bryndum-Buchholz A., *et al.* 2019. Global ensemble projections reveal trophic amplification of ocean biomass declines with climate change. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 116: 12907-12912.
- Steenbeek J., Buszowski J., Chagaris D., *et al.* 2021. Making spatial-temporal marine ecosystem modelling better – a perspective. *Environ. Model. Softw.* 145: 105209.

DOI: <https://doi.org/10.20350/digitalCSIC/14099>

## 4.15. Reconstruint el clima del passat per entendre el d'avui i el de demà

Eva Calvo, Carles Pelejero

L'observació continuada de l'atmosfera, els oceans i el sistema terrestre, sobretot a través de dades recollides per estacions meteorològiques, boies oceanogràfiques i satèl·lits, ens ha permès identificar els ràpids canvis que el sistema climàtic està experimentant en les darreres dècades. L'augment en la temperatura del planeta, la disminució de la mida dels casquets polars, la reducció en l'extensió del gel marí o l'augment del nivell del mar són algunes de les conseqüències derivades de l'augment en la concentració de diòxid de carboni ( $\text{CO}_2$ ) a l'atmosfera a través de l'activitat humana. Atès que molts dels processos que controlen aquests paràmetres actuen en escales de temps més llargues que aquelles cobertes pels registres instrumentals, l'única manera de tenir una visió integradora i exhaustiva de l'impacte que aquests canvis poden tenir en el Sistema Terra és a través de les reconstruccions paleoclimàtiques i paleoceanogràfiques.

### Evolució del clima i dels oceans en el passat

La paleoceanografia, a través de l'estudi dels sediments marins, ens permet identificar els canvis ambientals esdevinguts en el passat (en escales de centenars a milions d'anys), la seva magnitud, direcció i velocitat, així com els processos que en són responsables (Thomas 2019) (figura 1).

Aquesta informació ens ha de permetre conèixer els rangs de variabilitat natural del planeta a diferents escales de temps, així com la sensibilitat del sistema climàtic a un determinat forçament, com pot ser l'augment en la concentració de gasos d'efecte hivernacle. Amb estudis d'aquest tipus, ara sabem, per exemple, que la

Terra ha experimentat temperatures bastant més elevades durant el Cretaci, quan no existien els casquets polars tal i com els coneixem avui, o que els canvis climàtics poden tenir lloc de manera abrupta i ràpida, en qüestió de dècades. Canvis d'aquestes característiques van succeir durant la darrera època glacial com a conseqüència d'alteracions en la circulació oceànica global. Una altra constatació ha estat l'estret vincle entre clima i concentració de gasos d'efecte hivernacle (figura 2), que també posa de manifest la velocitat i magnitud, sense precedents, de l'augment actual del  $\text{CO}_2$  atmosfèric.

No obstant això, la paleoceanografia és una disciplina relativament recent. No va ser fins a la



Figura 1. Sistemes de recuperació de sediments marins profunds: el *gravity corer* (a l'esquerra i a dalt a la dreta) i el *multicorer* (a baix a la dreta). Imatges: Unitat de Tecnologia Marina, UTM-CSIC.

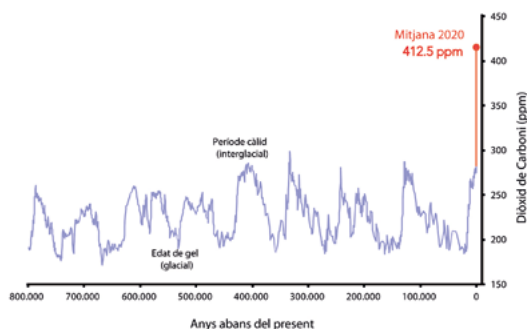


Figura 2. Evolució del  $\text{CO}_2$  atmosfèric dels darrers 800.000 anys, obtinguda a partir de l'anàlisi de les bombolles d'aire atrapades en testimonis de gel de l'Antàrtida. En taronja, l'augment actual de la concentració d'aquest gas d'efecte hivernacle. Adaptat de NOAA Climate.gov

dècada dels 50 que es va començar a estudiar el registre sedimentari marí, quan Cesare Emiliani va analitzar la composició isotòpica de l'oxigen en foraminífers fòssils de sediments procedents dels oceans Atlàntic i Pacífic, i va constatar per primera vegada l'alternança entre períodes glacials (globalment freds) i interglacials (globalment calents) (Emiliani 1955). I no va ser fins l'any 1976 que es va demostrar que aquests canvis en la temperatura i el volum de gel, els cicles glacial/interglacial, enregistrats en les closques dels foraminífers, presenten les mateixes periodicitats que els canvis en la geometria de l'òrbita terrestre i, per tant, eren causats per canvis en la radiació solar rebuda per la Terra (Hays *et al.* 1976). Des de llavors, la quantitat d'informació que hem extret dels sediments a través de l'anàlisi d'indicadors indirectes (proxies) ha sigut ingent (Chase *et al.* 2018), ja sigui 1) en base a la relació d'elements químics i els seus isòtops en les closques de determinats organismes fòssils, que ens ofereixen informació sobre canvis en la circulació oceànica, la productivitat biològica o el nivell del mar, com 2) a través de molècules orgàniques com, per exemple, les alquenones, compostos sintetitzats pels haptòfits, que ens permeten reconstruir la temperatura de l'aigua superficial on van viure aquestes algues (Eglinton i Eglinton 2008). En els darrers anys, el desenvolupament tecnològic i una millor capacitat en química analítica ha permès l'aparició de nous proxies que ens informen sobre altres paràmetres, com el pH o l'oxigenació de les aigües, variables de gran interès en el context actual de canvi global.

## I el futur?

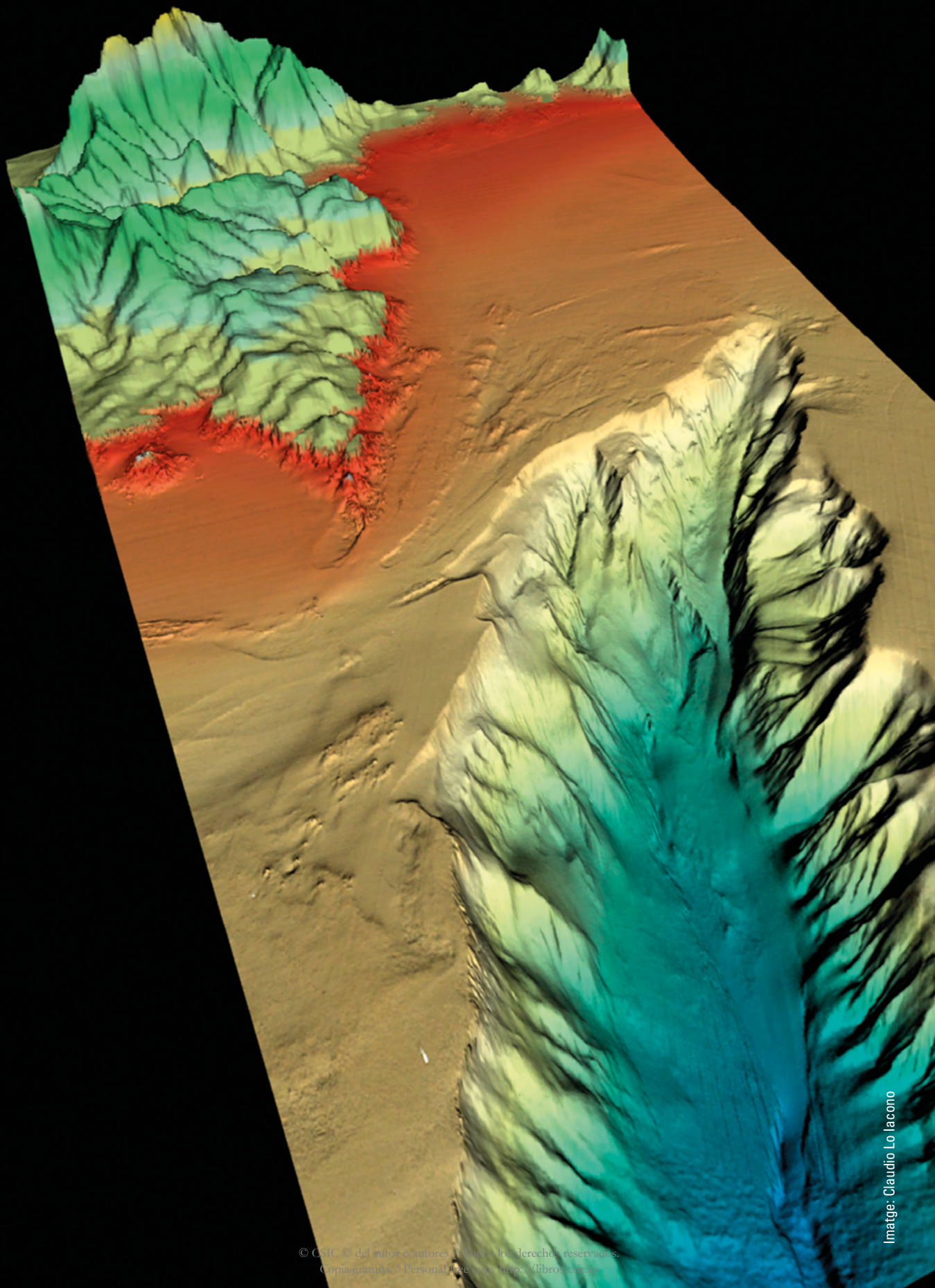
En els propers anys, a més de continuar explorant nous proxies, queden encara moltes qüestions en les que cal aprofundir sobre el funcionament del sistema climàtic i les interaccions entre els seus components. Per exemple, no coneixem del cert les causes del refredament sostingut experimentat durant el Cenozoic, l'actual era geològica, que va donar pas als cicles periòdics glacial/interglacial característics del Quaternari i el Pliocè, però que inclouen sobretot canvis tectònics que van obrir passos oceànics tot modificant la circulació oceànica, així com una progressiva disminució del  $\text{CO}_2$  atmosfèric. O perquè l'amplitud i periodicitat d'aquests cicles glacial/interglacial, modulats per la configuració orbital terrestre, va canviar fa aproximadament un milió d'anys. I pel que fa al cicle del carboni, un dels més grans interrogants en l'estudi dels climes i oceans del passat són les baixes concentracions de  $\text{CO}_2$  atmosfèric enregistrades durant les èpoques glacials del darrer milió d'anys. Després de quatre dècades des de la primera constatació que el  $\text{CO}_2$  atmosfèric havia variat en consonància amb els canvis glacial/interglacial, encara avui no disposem d'una explicació satisfactòria per descriure la combinació de mecanismes que expliquen els valors consistentment més baixos (al voltant d'un 30%) d'aquest gas amb efecte hivernacle durant les èpoques glacials. De fet, la capacitat o no d'explicar la relació  $\text{CO}_2$ -clima, feedbacks inclosos, i per tant la sensibilitat climàtica a aquest forçament, és una de les principals limitacions per poder predir la velocitat i magnitud dels possibles canvis climàtics de les properes dècades.

## Referències

- Chase Z., Ellwood M.J., van de Flierdt T. 2018. Discovering the ocean's past through geochemistry. *Elements* 14: 397-402.
- Eglinton T.I., Eglinton G. 2008. Molecular proxies for paleoclimatology. *Earth Planet. Sci. Lett.* 275: 1-16.
- Emiliani C. 1955. Pleistocene temperatures. *J. Geol.* 63: 538-578.
- Hays J.D., Imbrie J., Shackleton N.J. 1976. Variations in the Earth's orbit: Pacemaker of the ice ages. *Science* 194: 1121-1132.
- Thomas E. 2019. Paleooceanography. In: Cochran J.K., Bokuniewicz H.J., Yager P. (Eds), *Encyclopedia of Ocean Sciences* (3a edició) pp. 472-478. Academic Press.

DOI: <https://doi.org/10.20350/digitalCSIC/14100>







# 5. Oceà segur

Rafael Bartolomé, Gonzalo Simarro, Marco Talone

Segons el World Wildlife Fund for Nature (Nacions Unides 2015) el 50% de la població mundial viu en la franja de costa marítima de 100 km, 16 de les 23 megaciutats del món estan davant dels oceans i 1000 milions de persones viuen en comunitats amb vincles directes amb el mar.

La necessitat d'un oceà segur, és a dir, de reduir els riscos marins i les seves pèrdues, és clau per al futur dels habitants del nostre planeta. Segons el Hyogo Framework for Action of the United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR), un risc es defineix com un esdeveniment, fenomen o activitat que pot causar pèrdues humanes, socials, econòmiques o la degradació mediambiental. Dintre dels riscos s'inclouen des dels naturals (geològics, climàtics o biològics) als induïts per l'activitat humana (accidents i canvis mediambientals).

Per tant, l'estudi dels processos geològics, biològics i oceanogràfics, així com els seus riscos associats i la seva correcta gestió, és clau per a la humanitat, i les ciències marines són en el seu conjunt la disciplina apropiada per a estudiar-los. Aquest estudi inclou observacions oceàniques que van des del subsol fins a l'atmosfera passant per la capa d'aigua, vitals per a establir l'estat actual i la seva variabilitat, descobrir el passat i preveure la seva evolució futura. La millora de les observacions per a avançar en la nostra comprensió dels riscos s'alinea amb les prioritats de la «Dècada de les Ciències Marines per al Desenvolupament Sostenible 2021-2030» de les Nacions Unides. Aquesta iniciativa té per objectiu la mitigació de l'impacte dels riscos naturals i la creació d'un oceà més segur, de manera que les comunitats humanes i les infraestructures estiguin millor protegides dels perills oceànics, i que es garanteixi la seguretat de les operacions en el mar i en la costa. L'ús d'equipaments adequats de recerca i la cooperació internacional són dos elements vitals per a l'observació de l'oceà, i això es veu reflectit en les contribucions d'aquest capítol.

Aquest capítol inclou assajos sobre les estructures geomorfològiques associades als georiscos (Ercilla *et al.*), incloent-hi esllavissades submarines (Urgeles). Aquestes estructures i fenòmens submarins generen terratrèmols en el mar i tsunamis el coneixement actual dels quals i futurs reptes científics són també abordats (Sallarès). La contribució de la ciència i el paper clau que té durant la gestió dels desastres naturals, que inclouen tant els biològics i la proliferació d'organismes marins (Marambio *et al.*), com els geològics, oceanogràfics (Portabella *et al.*) i els induïts per l'activitat humana són tractats en aquest volum.

## 5.1. Descobrint les geoformes submarines perilloses

Gemma Ercilla, David Casas, Ferran Estrada, Belén Alonso

El fons marí cobreix el 72% de la superfície de la terra i així i tot continua sent un gran desconegut, per la qual cosa sovint és considerat l'última frontera. És un món sencer ocult als nostres ulls que ocasionalment ens amenaça de manera convulsiva per a recordar-nos que hi ha molts processos geològics actius avui dia en el fons marí i que representen un risc en potència. Aquests processos poden afectar persones que viuen en les zones costaneres (al voltant del 40% de la població mundial) o a tot un país, danyant les infraestructures terrestres i marines, i desencadenant crisis econòmiques i mediambientals a tot el món.

### Mètode de recerca

Les observacions multiescala i els estudis multidisciplinaris són essencials per a cartografiar aquestes geoformes i conèixer les seves característiques així com la seva activitat. Les observacions multiescala impliquen el desafiament tecnològic de desenvolupar escenaris complexos a bord dels vaixells oceanogràfics durant les campanyes, utilitzant ecosondes multifeix, sistemes geofísics, perforadores de broca de got de sediment, vehicles submarins autònoms, vehicles submarins operats a distància, instruments per a mesuraments de propietats físiques del sediment *in situ* i de conductivitat i temperatura de la columna d'aigua. L'enfocament multidisciplinari ens permet conjuminar les disciplines de geologia marina, enginyeria geotècnica, geofísica, física, oceanografia i matemàtiques. Aquest enfocament proporciona elements clau per a comprendre els riscos geològics que ens venen del mar, els seus factors desencadenants i la recurrència dels esdeveniments.

### Principals geoformes submarines perilloses

Els estudis geomorfològics marins revelen que els processos geològics de risc poden ocórrer en qualsevol medi marí i des d'àrees succintes a profundes. Basant-nos en la seva gènesi, es reconeixen quatre categories principals de geoformes que poden representar un risc:

*Riscos associats a geoformes tectòniques.* En la seva majoria comprenen falles sísmiques que causen terratrèmols. Els mapes geomorfològics indiquen que la majoria de les falles actives es localitzen en àrees de límits de plaques tectòniques, on el seu moviment contribueix a augmentar els esforços de tensió en la roca fins a aconseguir el trencament (Estrada *et al.* 2018) (figures 1A, B). El lliscament sobtat dels blocs de falles pot produir una intensa sacsejada sísmica, i són les més catastròfiques aquelles generades per encavalcament en les zones de subducció i per falles de salt en direcció transtensionals i transpressionals. Les falles de salt en direcció són comunes en el Mediterrani occidental, on la seva anàlisi geomorfològica detallada és essencial per a establir la seva geometria i dinàmica, i relacionar-lo amb les observacions sismològiques. Aquest enfocament ens està portant a descobrir zones de falles sísmiques desconegudes que desencadenen terratrèmols en l'actualitat.

*Riscos associats a geoformes sedimentàries.* Les més comunes són les inestabilitats gravitacionals de sediments. Els sediments dels talussos submarins poden tornar-se inestables i lliscar pendent avall tot desplaçant importants volums de sediment i recórrer llargues distàncies. La seva anàlisi geomorfològica revela tres grups principals de

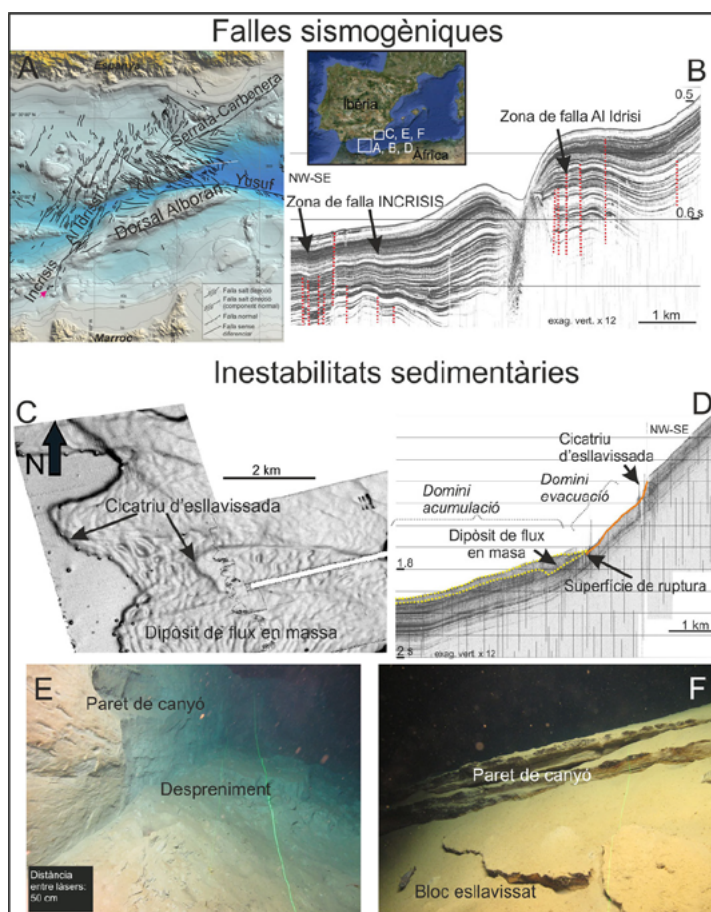


Figura 1. Geoformes submarines de risc. Falles sismogèniques (A, B) i dipòsits d'inestabilitat sedimentària (C, D, E, F).

processos impulsats per la gravetat: moviments de masses de sediment coherent, com ara lliscaments rotacionals i translacionals, esllavissaments i esbarriades; fluxos en massa, que involucren fluxos de esbaldregalls, fluxos de fang i allaus; i corrents turbidítics (Shanmugam i Wang 2015) (figures 1C a F). L'anàlisi geomorfològica dels seus dipòsits també revela elements clau que conformen la seva arquitectura, com ara escarpes de trencament (de capçalera i de flancs), plans o superfícies de lliscament, i dominis d'evacuació i d'acumulació del sediment (Casas *et al.* 2013) (figures 1C, D). Combinant l'estudi de la geomorfologia 2D, 3D i 4D dels dipòsits d'inestabilitat amb la geomorfologia sísmica i la sedimentologia, és possible obtenir informació precisa per a avaluar la situació prèvia i posterior a la inestabilitat sedimentària, establir la seva freqüència de retorn i definir els factors desencadenants.

*Riscos associats a activitat volcànica.* Els volcans submarins, explosius o no quan esdevenen principalment en aigües poc profundes, i les illes volcàniques també poden representar un risc. Les característiques geomòrfiques cartografiades en els flancs submarins dels volcans indiquen que els processos volcànics estan associats a falles sísmiques actives i al col·lapse dels edificis volcànics o de part dels seus flancs, els quals desencadenen inestabilitats sedimentàries que involucren grans volums de material i blocs (Ercilla *et al.* 2021) (figura 2E).

*Riscos associats a dinàmica dels fluids.* La filtració de gas, l'alliberament sobtat de fluids (explosió), activitat hidràulica, sobrepressurització, fluidització i desestabilització de l'hidrat de gas, són alguns dels processos relacionats amb la dinàmica de fluids que afecten el fons marí i poden representar un risc. Les seves evidències geomorfològi-

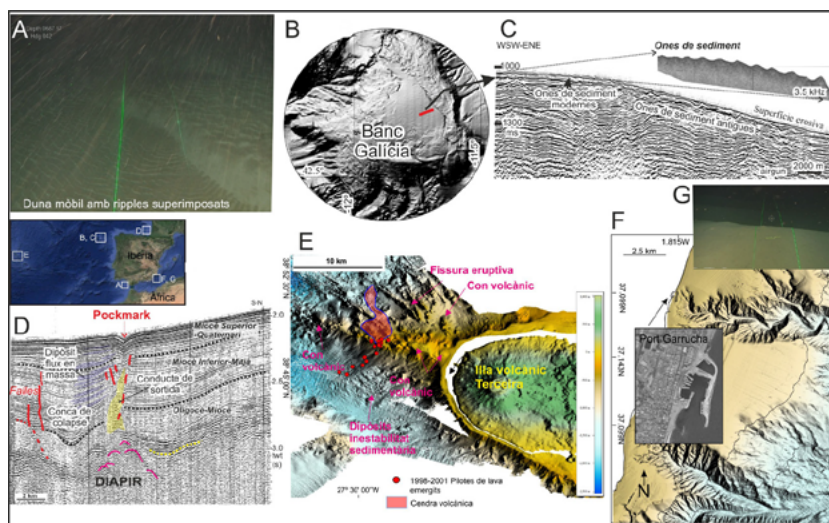


Figura 2. Geoformes submarines de risc. Geoformes associades a corrents de fons (A, B, C), dinàmica de fluids (D) i volcanisme (E). La capçalera del canó Alias-Almanzora-Garrucha pròxima a costa també es mostra; la seva erosió està afectant el port de Garrucha (F).

ques indiquen que aquests processos condueixen a la deformació, perforació, trencament, plegament, aixecament i enfonsament del sòl marí, formant diapirs de fang i sal, volcans de fang, camps de cràters, i fons marins retreballats (figura 2D). A més, la presència de bombolles de gas en els sediments pròxims a la superfície ens adverteix que poden veure's afectats per una reducció en la seva resistència al tall i desencadenar inestabilitats sedimentàries (Ercilla *et al.* 2021).

*Riscos relacionats amb geoformes generades per corrents del fons.* Crestes contorníiques i elements erosius com a solcs, canals i terrasses, ens adverteixen sobre l'acció persistent de corrents de fons sobre el sòl marí, que comunament aconseguen velocitats altes en fons marins irregulars, accidentats i esquitxats per muntanyes, corredors estructurals, conques confinades, serralades, valls i diapirs, i també als estrets. La seva acció pot afavorir l'erosió i socavació del sòl marí i la presència de zones amb altes taxes de sedimentació així com de camps amb formes de fons mòbils (Ercilla *et al.* 2016) (figures 2A a C i G).

L'activitat d'aquestes geoformes de risc pot resultar en altres esdeveniments catastròfics secundaris importants com els tsunamis, els quals en la seva majoria són provocats per terratrèmols, inestabilitats sedimentàries i erupcions volcàniques. La cartografia del fons marí també

informa sobre àrees on coexisteixen diverses geoformes perilloses, la qual cosa ens adverteix sobre la potencial ocurrència de processos de risc en cascada. Aquestes situacions esdevenen especialment en contextos de indentació de plaques tectòniques, illes volcàniques i caps de canons pròxims a costa (Ercilla *et al.* 2021) (figura 2F). A més, aquests escenaris es veuen comunament afectats per geoformes que creuen mar i terra, per la qual cosa és necessari col·laborar amb els nostres col·legues geòlegs i geofísics de terra per a una avaluació precisa del risc geològic.

## Referències

- Casas D., Ercilla G., García M., Yenes M. *et al.* 2013. Post-rift sedimentary evolution of the Gbra Debris Valley. A submarine slope failure system in the Central Bransfield Basin (Antarctica). *Mar. Geol.* 340: 16-29.
- Ercilla G., Juan C., Hernandez-Molina F. J., Bruno M., *et al.* 2016. Significance of bottom currents in deep-sea morphodynamics: an example from the Alboran Sea. *Mar. Geol.* 378: 157-170.
- Ercilla G., Casas D., Alonso B., Casalbore D. *et al.* 2021. Offshore geohazards: Charting the course of progress and future directions. *Oceans 2*: 393-428.
- Estrada F., Galindo-Zaldívar J., Vázquez J.T., Ercilla G., *et al.* 2018. Tectonic indentation in the central Alboran Sea (westernmost Mediterranean). *Terra Nova*: 30: 24-33.
- Shanmugam G., Wang Y. 2015. The landslide problem. *J. Palaeogeography*: 4: 109-166.

DOI: <https://doi.org/10.20350/digitalCSIC/14102>



## 5.2. Esllavissades submarines: el fons marí en moviment

Roger Urgeles

El 18 de novembre de 1929 es va produir un terratrèmol de 7,2 Mw al sud de Terranova, que va provocar la ruptura generalitzada del fons marí tot produint una gran esllavissada submarina. Aquesta esllavissada va afectar més de 150 km<sup>3</sup> de sediment (~100 vegades el tràfic anual de contenidors al port de Xangai, el més gran del món) i es va convertir en un corrent de terbolesa que va recórrer el fons marí durant unes 16 hores trencant diversos cables submarins al seu pas (Heezen i Ewing 1952). Els cables es van trencar de manera gairebé instantània a prop de l'epicentre i en temps creixents al llarg del talús, proporcionant accidentalment el primer registre històric de la dinàmica d'una esllavissada submarina. La velocitat màxima mitjana de l'esllavissada entre trencaments dels cables va superar els 20 m s<sup>-1</sup> (72 km h<sup>-1</sup>). Un volum tan gran de sediments accelerant-se de manera tan ràpida sota l'aigua va crear un tsunami que es va registrar a tot l'Atlàntic amb onades de fins a 7,5 m a Terranova, on es van produir greus danys materials i 28 víctimes mortals (Government of Canada n.d.).

### El registre històric i el sedimentari

L'esdeveniment de 1929 enfront de Terranova és un recordatori que no només els terratrèmols poden causar tsunamis. De fet, al voltant del 15% de tots els tsunamis són causats per esllavissades submarines o per esllavissades que entren en una massa d'aigua. Només cal tirar d'hemeroteca per recordar tsunamis provocats per esllavissades com el de Niça (França) el 1979, el de Sissano (Papua Nova Guinea) el 1998, el de Stromboli (Itàlia)

el 2003, el d'Haití (2010) i el de Palu i Anak Krakatau (Indonèsia) el 2018. L'existència d'esdeveniments significativament majors en el registre Quaternari tardà és un missatge d'advertència sobre el perill i el risc que suposen aquests esdeveniments. Grans esllavissades submarines han estat cartografiades en tots els oceans i ambients sedimentaris marins, encara que la seva distribució i freqüència varia significativament entre aquests ambients. Els marges tectònicament actius semblen tenir una freqüència d'esdeveniments alta, encara que la seva magnitud (mida en termes d'àrea o volum) no és tan gran com la de les esllavissades submarines en marges continentals passius (Urgeles i Camerlenghi 2013). Les esllavissades submarines en marges continentals de baixa i mitja latitud semblen produir-se de forma aleatòria en el temps, però en els marges continentals d'alta latitud, on la dinàmica dels sediments està fortament lligada als cicles de glaciació-deglaciació de la plataforma continental, les esllavissades semblen agrupar-se durant la deglaciació (Llopat *et al.* 2015).

### Causes de les esllavissades submarines

Les esllavissades submarines poden produir-se per múltiples raons, però es distingeix generalment entre les que en són inherents o afecten l'estabilitat del talús a llarg termini, normalment identificades com a factors preconditionants controlats per canvis climàtics i ambientals, i els que depenen de processos externs o mecanismes desencadenants que produeixen la ruptura. Els factors preconditionants impliquen processos que solen tenir lloc durant

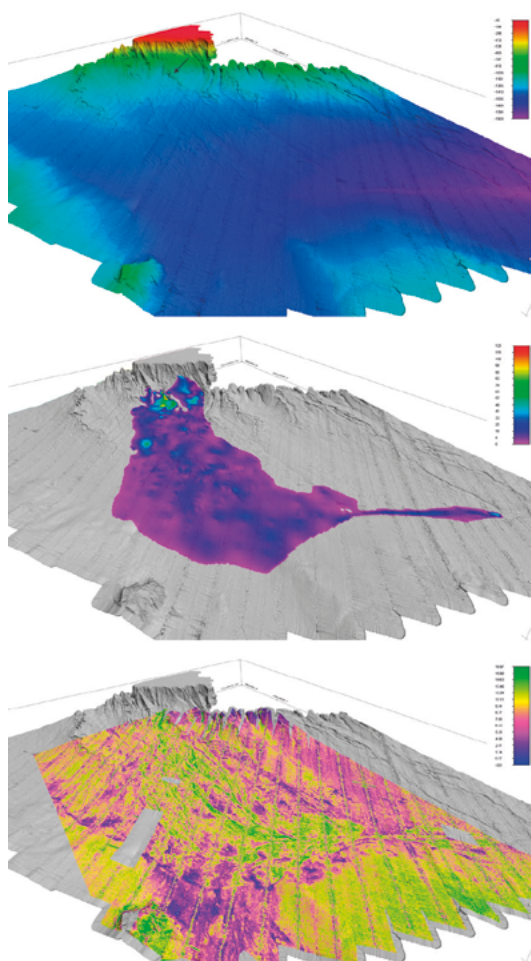


Figura 1. Vista tridimensional del marge de l'Ebre mirant cap a l'oest (ample de visió de ~110 km) mostrant una gran esclavissada submarina al peu del talús continental. La imatge superior mostra el relleu batimètric. La cicatriu de 12 km de longitud (fletxa) és visible al peu del talús. La imatge del mig mostra el gruix del dipòsit originat per l'esclavissada, el qual és màxim (fins a 120 m de gruix) just sota de la cicatriu de ruptura. El lliscament es va propagar inicialment pendent avall cap al solc de València, entre els talussos de l'Ebre i de les Illes Balears i després es va desplaçar cap al NO al llarg del solc de València. La imatge inferior mostra la intensitat de retrodifusió (intensitat de retorn de l'eco del fons) tot mostrant línies de flux al llarg del recorregut de l'esclavissada.

llargs períodes de temps. Entre ells hi ha l'acumulació de sediments a un ritme que supera la velocitat de consolidació (velocitat màxima de compactació dels sediments sota el seu propi pes), i això induïx el desenvolupament de pressions en excés de la hidrostàtica, la presen-

cia de capes febles (baixa resistència al cisallament) o que poden ser afeblides, la presència de gas com el metà que podria expandir-se en condicions hidrostàtiques reduïdes (per exemple, durant les mareas baixes en els sediments d'aigües poc profundes) o la inclinació del talús a causa d'una sèrie de processos geològics com el diapirisme salí i la tectònica. Els mecanismes de desencadenament, en canvi, impliquen un context dinàmic, com l'ocurrència d'un terratrèmol o una tempesta d'ones, aquesta última per sobre de la base de l'onatge, que induïxen càrregues cícliques en el fons marí que poden liquar el sediment. Les variacions del nivell del mar i de la temperatura induïdes pel canvi climàtic en el passat (i potser pel canvi climàtic relacionat amb les activitats humanes en el futur) han provocat la dissociació dels hidrats de gas a la base de la seva zona d'estabilitat i/o la seva dissolució en la part superior de la zona d'aparició dels mateixos (Sultan *et al.* 2004). Els hidrats de gas són una substància en la qual una estructura en forma de gàbia de cristalls d'aigua confina el gas natural (en la majoria dels casos, metà) que és estable sota una pressió relativament alta (aigües profundes) i una temperatura baixa. Aquesta última ve determinada pel gradient hidrotermal a la columna d'aigua i el gradient geotèrmic a la columna sedimentària. La dissociació i dissolució dels hidrats de gas, en sediments de baixa permeabilitat, induïda per canvis en aquestes condicions de pressió i temperatura, dona lloc a un augment de la pressió dels fluids intersticials i a l'afebliment dels sediments, el que en última instància pot induir un despenjament dels sediments del talús continental.

### Les esclavissades submarines als marges continentals de la península Ibèrica

Els marges continentals de la Península Ibèrica no estan exempts d'aquest tipus de riscos i en ells s'hi han cartografiat esclavissades submarines de gran magnitud. Una d'aquests grans esclavissades submarines va tenir lloc fa ~ 10 ka al talús continental de l'Ebre tot afectant 2200 km<sup>2</sup> del fons marí,

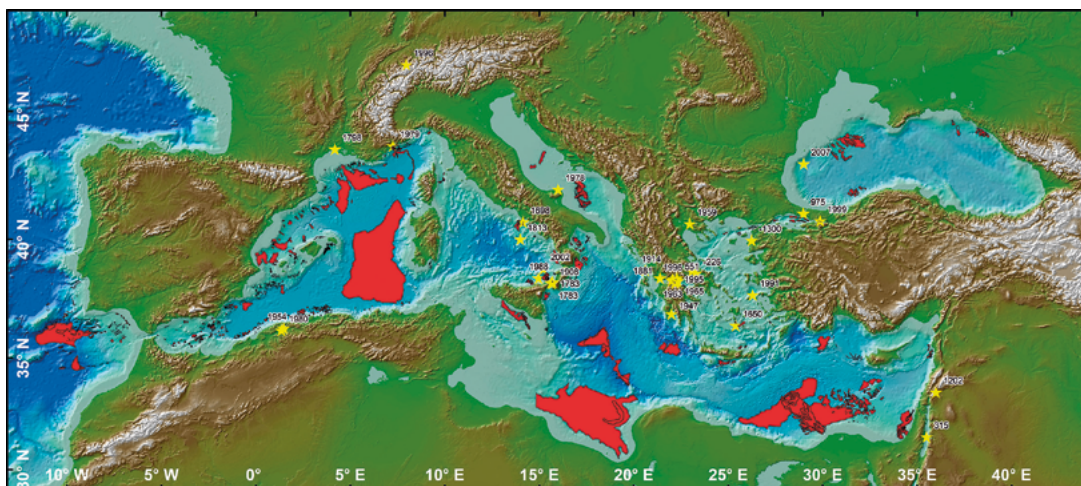


Figura 2. Mapa de distribució de les esllavissades submarines (polígons vermells) a la mar Mediterrània sobre imatge del relleu batimètric ombrejat. Les estrelles mostren les fonts tsunamigèniques històriques relacionades amb esllavissades submarines i l'any de l'esdeveniment.

aproximadament quatre vegades la mida de la propera illa d'Eivissa (figura 1). S'estima que aquest esdeveniment va generar un tsunami important amb onades superiors als 10 m a la zona d'origen de l'esllavissada i a les costes adjacents. El perill que representen les esllavissades submarines pot representar-se, de forma similar als terratrèmols, amb corbes de distribució magnitud-freqüència, que relacionen un esdeveniment d'un volum determinat amb una freqüència d'ocurrència. A escala de la conca mediterrània (figura 2), aquestes corbes indiquen que cada 50 anys es produeix una esllavissada de volum superior a  $1 \text{ km}^3$  (potencialment tsunamigènica).

## Referències

- Government of Canada N.R.C., n.d. The 1929 Magnitude 7.2 «Grand Banks» earthquake and tsunami [en línia]. URL <http://www.earthquakescanada.nrcan.gc.ca/historic-historique/events/19291118-en.php> (accessed 6.2.17).
- Heezen B.C., Ewing W.M. 1952. Turbidity currents and submarine slumps, and the 1929 Grand Banks [Newfoundland] earthquake. *Am. J. Sci.* 250: 849-873.
- Llopert J., Urgeles R., Camerlenghi A., *et al.* 2015. Late Quaternary development of the Storfjorden and Kveithola Trough Mouth Fans, northwestern Barents Sea. *Quat. Sci. Rev.* 129: 68-84.
- Sultan N., Cochonat P., Foucher J.-P., Mienert J. 2004. Effect of gas hydrates melting on seafloor slope instability. *Mar. Geol.* 213: 379-401.
- Urgeles R., Camerlenghi A. 2013. Submarine landslides of the Mediterranean Sea: Trigger mechanisms, dynamics, and frequency-magnitude distribution. *J. Geophys. Res. Earth Surf.* 118: 2013JF002720.

DOI: <https://doi.org/10.20350/digitalCSIC/14103>

## 5.3. Quan l'oceà tremola: present i futur en l'estudi de terratrèmols i tsunamis

Valentí Sallarès

Arran de l'adveniment i la gradual acceptació de la tectònica de plaques a partir dels anys 60 del segle passat, es va constatar que la terra sòlida no és un marc de referència fixe i estàtic, sinó un sistema dinàmic i en constant evolució, governat per forces internes que s'expressen en superfície de múltiples formes. L'obertura i tancament dels oceans, la formació de serralades, o els terratrèmols i volcans, evidencien la interacció lenta però constant entre les plaques tectòniques. Una de les manifestacions més espectaculars i notòries d'aquesta interacció són els terratrèmols, que es concentren principalment a les falles tectòniques que limiten les plaques. Els més grans i destructius tenen lloc a la denominada «falla de mega-cavalcament» de les zones de subducció, on les plaques oceàniques llisquen sota les continentals a una velocitat similar a la que creixen les ungles. Aquest lliscament no és constant sinó episòdic: el fregament entre les plaques fa que aquestes s'acoblin acumulant esforços durant desenes o centenars d'anys fins que llisquen sobtadament alliberant-los en segons o minuts en forma de terratrèmols. La quantitat de lliscament, així com la seva distribució espacial i la profunditat determinen la intensitat de les vibracions i la deformació del terreny associades.

### Terratrèmols submarins i tsunamis

En el cas de les zones de subducció, la major part del lliscament entre les plaques es produeix sota el mar, entre les fosses oceàniques i la línia de costa. Si el lliscament és prou important, la deformació associada pot afectar el fons marí i sacsejar la columna d'aigua, originant una

ona de petita amplitud que es desplaça ràpidament, a una velocitat similar a la dels avions comercials. A mesura que l'ona s'aproxima a la costa, es frena sense perdre massa energia i, per tant, creix progressivament fins a esdevenir un tsunami, una enorme massa d'aigua que pot internar-se quilòmetres terra endins arrasant tot allò que troba al seu pas (figura 1). En els darrers cent anys, els tsunamis han provocat prop de 300.000 víctimes i incalculables danys materials, més que qualsevol altre fenomen d'origen natural. L'impacte creixent associat a aquests esdeveniments en un context de ràpida urbanització i d'augment del turisme a les regions costaneres, ha fet que l'Oficina de Nacions Unides per la Reducció dels Desastres Naturals (UNDRR) identifiqui els tsunamis com a element fonamental en l'elaboració de polítiques i plans de reducció de risc, que inclouen pèrdues de vides, mitjans de vida i salut, així com dels béns econòmics, físics, socials i mediambientals de persones, empreses i comunitats.

Els eixos fonamentals d'aquestes polítiques inclouen potenciar la recerca bàsica per identificar i caracteritzar les fonts potencials i per modelitzar els terratrèmols i els tsunamis associats, així com la simulació dels possibles escenaris d'impacte, el desenvolupament de sistemes d'alerta, i la implementació de mesures socio-administratives de gestió del risc i de mitigació d'impacte. Actualment, l'estat de coneixement en recerca bàsica és força avançat, i hi ha un coneixement exhaustiu i precís sobre els processos físics que governen la generació dels terratrèmols i dels tsunamis. Bona part dels esforços de recerca en els darrers decennis s'han esmerçat en incrementar el detall i precisió de les simulaci-





Figura 1. Foto aèria de l'impacte de tsunami d'Indonèsia de 2004 (WikilImages from Pixabay).

ons sintètiques i en reunir dades experimentals. La creixent disponibilitat de recursos de càlcul massiu ha permès modelitzar numèricament amb gran detall la ruptura dinàmica de les falles tectòniques, reproduir la deformació induïda en el subsòl, la transmissió i la propagació de l'ona, i el seu impacte a la costa. D'altra banda, els experiments de laboratori han proporcionat gran quantitat d'informació sobre els mecanismes de ruptura, fricció i lliscament per diferents materials i en diferents condicions.

### Reptes i objectius de la recerca sobre terratrèmols i tsunamis

Tanmateix, a dia d'avui encara hi ha mancances notables pel que fa a la identificació i caracterització de les falles submarines tsunamigèniques, derivades en gran mesura de les limitacions observacionals. Així, malgrat la constant evolució tècnica i instrumental i les nombroses campanyes oceanogràfiques realitzades, bona part dels fons marins, particularment entorn a les zones abissals de les fosses oceàniques, es mantenen encara inexplorats a dia d'avui. Per tant, hi ha un buit important

d'informació *in situ* sobre la localització i geometria de les falles, així com les característiques i propietats elàstiques de les roques que les envolten, de forma que les simulacions numèriques de ruptura i impacte estan basats en models *ad hoc* de propietats que són, en general, poc realistes i excessivament simplificats. Les conseqüències d'aquest desconèixement de base s'han manifestat de forma dramàtica en nombroses ocasions. L'exemple més clar i recent és el del terratrèmol de Tohoku-Oki (Japó) de 2011, que va resultar demolir tant pel poble japonès com per la comunitat científica. Fins i tot en un país modelic en quant a la recerca sismològica, les simulacions basades en assumpcions simplificades de l'estructura de la falla i les propietats de les roques van fer que es subestimés la magnitud potencial del terratrèmol en un factor de 4 i el lliscament a la part somera de la falla en més d'un 50%. Això va fer que la màxima alçada del tsunami superés de llarg les prediccions més pessimistes, i que sobrepassés per tant els murs protectors de la central nuclear de Fukushima, provocant més de 20.000 víctimes i una devastació sense precedents.

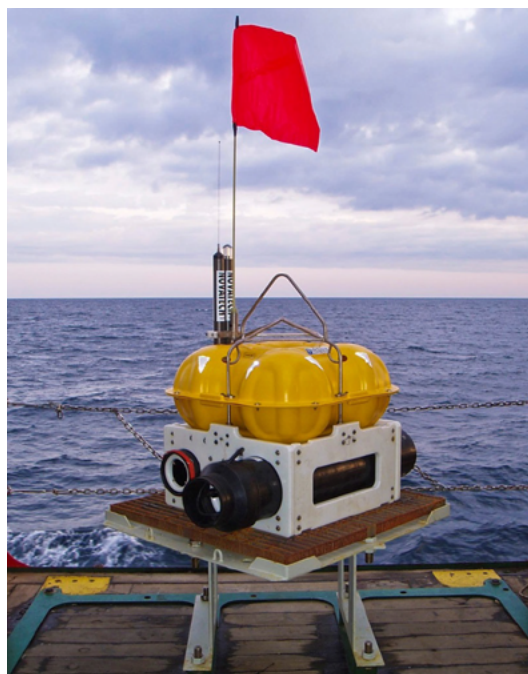


Figura 2. Sismòmetre de fons oceànic de la Unitat de Tecnologia Marina (CSIC).

Aquest esdeveniment va suscitar un intens debat científic i va fer que es qüestionessin paradigmes ben establerts sobre la quantificació del risc (Lay 2012). En concret, en els darrers anys s'ha fet patent la necessitat peremptòria de millorar les observacions de les vibracions i

deformació del fons marins a les zones de risc, i en particular a les zones de subducció. Al Japó, això ha accelerat l'establiment de sistemes d'observació en temps real que inclouen sismògrafs, sensors de pressió i de desplaçament cablejats, i hi ha iniciatives similars en curs en altres regions com al marge de Cascàdia (Estats Units). En paral·lel, s'ha incrementat de forma substancial el parc mundial de sismòmetres de fons oceànic (figura 2), especialment els de llarga autonomia, s'han desplegat nous sensors en boies que es mouen lliurement pels oceans i s'han desenvolupat noves metodologies per utilitzar cables de comunicació submarins de fibra òptica com a xarxes de sensors sísmics. D'aquesta manera, s'està avançant decididament en la comprensió de la dinàmica de les falles submarines i dels processos de ruptura en base a les noves observacions (e.g. Sallarès i Ranero 2019), el qual ha de permetre millorar en el futur immediat la predicció i avaluació dels riscos associats.

## Referències

- Lay T. 2012. Why giant earthquakes keep catching us out. *Nature* 483: 149-150.  
 Sallarès V., Ranero C.R. 2019. Upper-plate rigidity determines depth varying rupture behaviour of megathrust earthquakes. *Nature* 576: 96-101.

DOI: <https://doi.org/10.20350/digitalCSIC/14104>

## 5.4. Sinergies per a una gestió costanera efectiva enfront de les proliferacions d'organismes marins

Macarena Marambio, Ainara Ballesteros, Josep-Maria Gili

El plàncton gelatinós inclou reconeguts organismes (meduses, ctenòfors, sifonòfors) components dels ecosistemes marins i molts d'ells habiten el nostre planeta des de fa centenars de milions d'anys. En els últims anys, les proliferacions d'alguns d'ells, especialment les meduses, són un fet cada vegada més freqüent en unes certes zones costaneres del món.

### Impacte de les proliferacions de meduses

Existeix evidència científica que les proliferacions de meduses són fomentades a causa de l'augment de pressió exercida pels éssers humans en els ecosistemes marins costaners. Alguns exemples són la sobrepesca, l'eutrofització, la translocació d'espècies, la modificació d'hàbitats costaners i el canvi climàtic (Purcell 2012).

A la Mediterrània, i específicament en la costa catalana durant l'època de primavera-estiu, la presència de meduses en les zones de bany va deixar de ser un fet aïllat. Cada any les notícies a la premsa, la bandera groga o vermella indicant prohibició del bany per presència de meduses, i les atencions per part dels serveis de salvament i socorrisme per motius de picades de meduses han anat en augment. Això genera una gran alarma social a causa de l'impacte socioeconòmic que implica, especialment en l'àmbit sanitari i el turístic. Així també, en l'àmbit pesquer i d'aquicultura, on les captures i la cria de peixos en granges també s'han vist afectades, per exemple per mortalitats de peixos, afectació en la salut dels pescadors, xarxes i granges fetes malbé, etc.

### Desenvolupament i implementació d'eines preventives i de mitigació

Per aquest motiu fa ja diversos anys es va despertar l'interès d'ampliar el coneixement sobre la biologia i ecologia de diferents espècies de meduses, desenvolupant-se així una línia de recerca específica en el tema. Amb això s'ha pogut dur a terme la cria i manteniment de diferents espècies de meduses en la ZAE (Zona d'Aquaris Experimentals) de l'ICM a Barcelona, la qual cosa ha permès al seu torn estudiar en profunditat els seus cicles de vida, el desenvolupament dels seus estadis de creixement i els factors que poden influir en aquests per a determinar les possibles causes de les seves proliferacions. Així mateix, els estudis i la sinergia de l'àmbit científic amb les administracions involucrades en la gestió costanera, han permès treballar en el desenvolupament i implementació de diverses eines de prevenció i mitigació dels seus impactes.

Per a la correcta implementació i bon funcionament d'aquestes eines, ha d'existir una bona base científica, així com també coordinació i treball conjunt amb les administracions i la societat. És essencial que els interessos de totes les parts estiguin coberts i que la demostració de resultats reflecteixi solucions aplicables a tots els nivells, respectant l'àmbit ecològic de les espècies i solucionant d'una manera econòmicament-efectiva els problemes que implica a nivell social. L'estratègia proposada des de l'ICM està basada en l'ampliació de coneixement a través de projectes divulgatiu-educatius, en el treball col·laboratiu amb la soci-

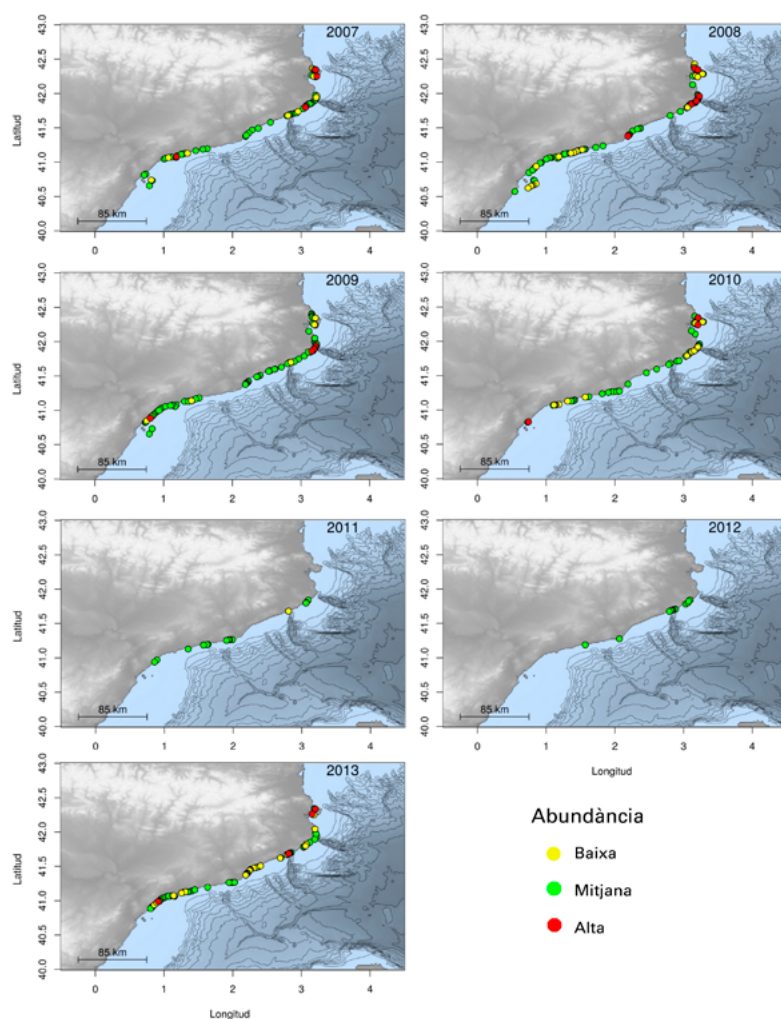


Figura 1. Distribució espacial de l'espècie *Pelagia noctiluca* determinada per estudis de seguiment de l'any 2007 (panell superior esquerre) al 2013 (panell inferior esquerre). Les categories d'abundància es mostren com: categoria 1, «baixa» (<10 individus/platja) en groc; categoria 2, «mitjana» (<1 individu/m²) en verd; i categoria 3, «alta» (>1 individu/m²) en vermell (Marambio *et al.* 2021).

etat a través de diverses iniciatives de ciència ciutadana com l'app iMedjelly i la plataforma Observadors del Mar, en el treball conjunt amb les administracions implicades com l'Agència Catalana de l'Aigua, Protecció Civil de Catalunya, els municipis costaners de la costa catalana i les empreses de serveis de salvament i socorrisme com són Pro-activa i Creu Roja, entre altres, i en el treball experimental desenvolupat en laboratori per al coneixement de la biologia de les espècies i desenvolupament i millora de protocols de primers auxilis enfront de picades de meduses.

A través d'anys de propostes i millores, s'ha aconseguit establir una xarxa al llarg de tota la costa catalana que fa el seguiment a més de 300 platges, des de l'extrem nord de la Costa Brava fins al límit sud del delta de l'Ebre, cosa que ha permès construir una base de dades amb més de 300 mil observacions de presència i/o absència de meduses. Tot el treball realitzat ens ha permès obtenir resultats molt valuosos a nivell científic, com ara mapes de distribució espai temporal de les principals espècies de meduses del Mediterrani occidental (figures 1 i 2), models de predicció i anàlisi de tendències de les poblacions de les espècies més



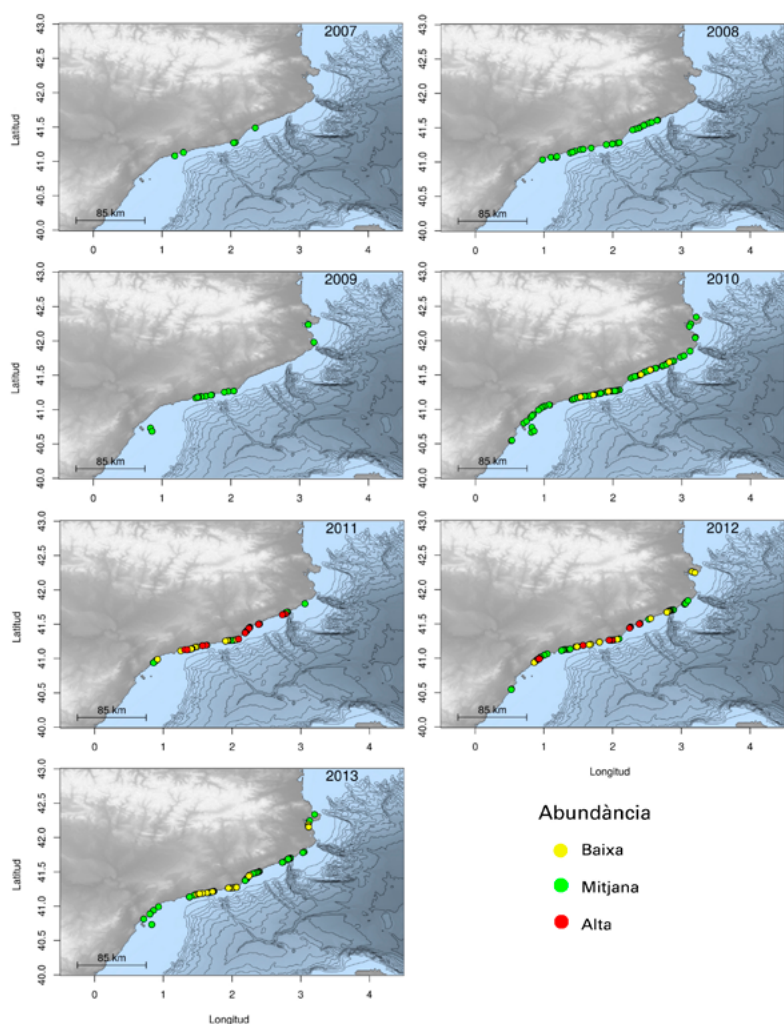


Figura 2. Distribució espacial de l'espècie *Rhizostoma pulmo* determinada per estudis de seguiment de l'any 2007 (panell superior esquerre) al 2013 (panell inferior esquerre). Les categories d'abundància es mostren com: categoria 1, «baixa» (<10 individus/platja) en groc; categoria 2, «mitjana» (<1 individu/m<sup>2</sup>) en verd; i categoria 3, «alta» (>1 individu/m<sup>2</sup>) en vermell (Marambio *et al.* 2021).

rellevants de la costa catalana. Aquest és el cas de *Pelagia noctiluca* i *Rhizostoma pulmo*, considerades de major impacte per la seva alta capacitat urticant i la seva abundància en aigües costaneres. D'altra banda, s'ha aconseguit descriure els cicles biològics complets de diverses espècies de meduses en aquaris especialitzats, s'han determinat factors claus i rellevants en el desenvolupament de les espècies, així com establir i recomanar protocols d'actuació enfront de la presència i picades de meduses. Aquesta recerca es considera una gran aportació al coneixement de la biologia i comportament de les poblacions de meduses a nivell científic, i a més

contribueix de manera aplicada a la millora de la gestió i maneig d'àrees costaneres amb un impacte positiu real sobre tota la societat.

## Referències

- Marambio M, Canepa A, Lòpez L, *et al.* 2021. Unfolding Jellyfish Bloom Dynamics along the Mediterranean Basin by Transnational Citizen Science Initiatives. *Diversity* 13(6): 274.
- Purcell J. 2012. Jellyfish and Ctenophore Blooms Coincide with Human Proliferations and Environmental Perturbations. *Ann. Rev. Mar. Sci.* 4: 209-235.

DOI: <https://doi.org/10.20350/digitalCSIC/14105>

## 5.5. Extrem, o no tan extrem, aquesta és la qüestió

Marcos Portabella, Federica Polverari, Wenming Lin, Ad Stoffelen, Albert S. Rabaneda, Joe Sapp, Paul Chang, Zorana Jelenak, Giuseppe Grieco, Ana Trindade, Eugenia Makarova, Federico Cossu

### Com de fort bufa el vent en condicions meteorològiques extremes?

Aquesta és una pregunta difícil de respondre, però que té conseqüències de gran abast per a la meteorologia satel·litària, la previsió meteorològica, l'oceanografia, el clima i els programes d'avís d'huracans. Els huracans es troben entre els desastres naturals més mortífers i, a més, causen enormes pèrdues econòmiques (Bevere *et al.* 2020). Per tant, una predicció precisa de la seva intensitat i trajectòria a curt i mitjà termini són essencials per a mitigar les pèrdues humanes i econòmiques. A més llarg termini, també és important comprendre si les condicions meteorològiques extremes s'estan tornant més extremes en el context del canvi climàtic, arribant a pertorbar aigües més profundes i, per tant, afectant la dinàmica del sistema climàtic sencer. Desafortunadament, fenòmens com *El Niño* i l'Oscil·lació de Madden-Julian estan associats a una gran variabilitat interanual en la distribució de la intensitat de vents extrems, amb una dependència del canvi climàtic encara poc clara, limitant així la nostra capacitat per a determinar si la climatologia d'huracans en realitat està canviant o no.

Atès que els huracans estan mostrejats de manera molt dispersa, els instruments satel·litaris són en principi molt útils per fer un seguiment de la seva distribució espacial, la seva distribució temporal i la seva intensitat respecte al canvi climàtic. Tanmateix, per a això és necessari garantir l'estabilitat temporal tant de la qualitat com de

la quantitat de les mesures satel·litàries. A més, una anàlisi climàtica requereix sèries temporals el més llargues possibles, cosa que comporta la necessitat d'un precís intercalibratge entre sensors satel·litaris, especialment a intensitats de vent altes i extremes (Verhoef *et al.* 2017). Per a avaluar i calibrar adequadament els vents extrems és fonamental construir un conjunt de dades de referència. Fins ara, per al calibratge de vents extrems satel·litaris s'han utilitzat dues referències *in situ* independents: boies fondejades i sondes GPS de caiguda lliure (dropsondes). Recentment, Polverari *et al.* (2021) han presentat un nou enfocament per a l'avaluació de la consistència entre aquests dos conjunts de dades *in situ* per als quals les adquisicions de dades coincidents són bastant escasses. Per tal de superar aquesta limitació, les mesures d'intensitat del vent del dispersòmetre ASCAT a bord dels satèl·lits Metop s'utilitzen com a referència comuna entre els dos conjunts de dades *in situ*. Les mesures coincidents (colocalitzacions) d'ASCAT i de boies es comparen amb les mesures coincidents d'ASCAT i del radiòmetre SFMR (Stepped-Frequency Microwave Radiometer) a bord dels «caça huracans» de la NOAA, durant el període 2009-2018. Cal tenir en compte que, mentre que els vents ASCAT s'han calibrat amb dades de boies, els vents SFMR s'han calibrat amb dades de sondes GPS.

Els vents ASCAT i els de les boies, com era d'esperar, concorden bé fins a  $25 \text{ m s}^{-1}$ , amb una mica més de dispersió entre  $15$  i  $25 \text{ m s}^{-1}$ . L'anàlisi ASCAT/SFMR revela una subestimació

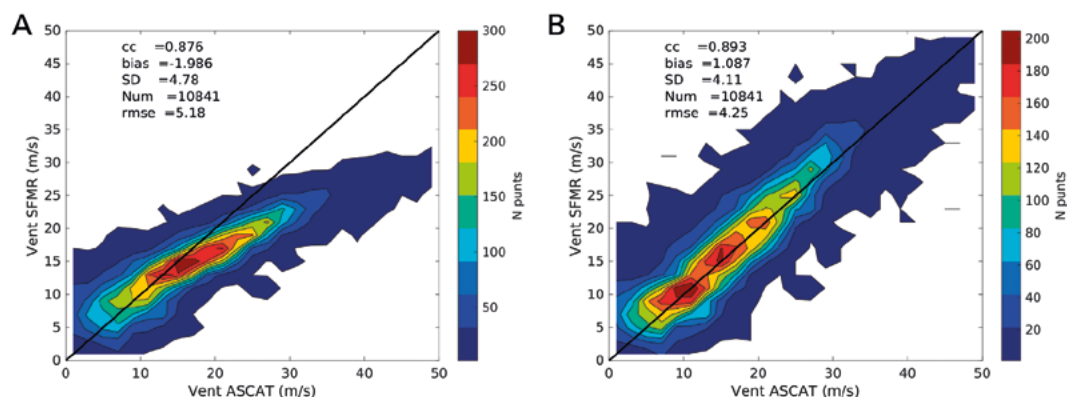


Figura 1. Histograma 2D dels vents ASCAT (a bord de Metop-A i Metop-B) i dels vents SFMR colocalitzats i amitanjats en cel·les de 12.5 km (A). En B, els vents ASCAT han estat recalibrats utilitzant les dades de les sondes GPS, aplicant la funció  $V(\text{ASCAT}) = 0.0095x^2 + 1.52x - 7.6$ , amb  $x = V(\text{ASCAT})$ , per vents més alts de  $12 \text{ m s}^{-1}$ . En la llegenda es reporten el coeficient de correlació (cc), el biaix (bias), la dispersió típica (SD), el nombre de punts (Num), i l'error quadràtic mig (rmse).

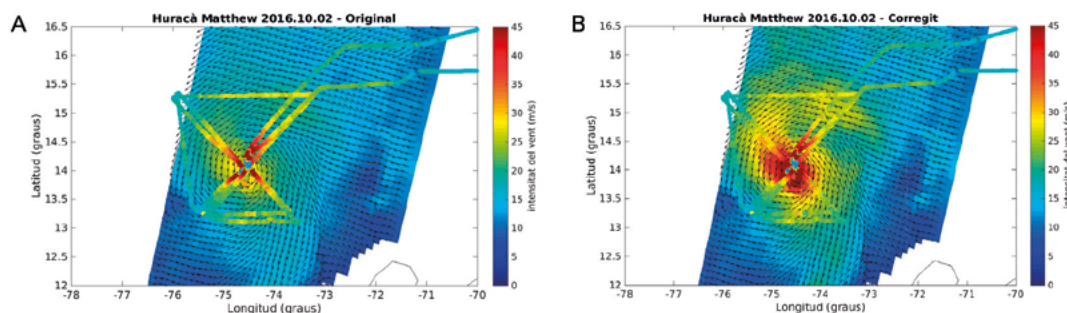


Figura 2. Vents SFMR (línies) colocalitzats amb els vents ASCAT calibrats amb boies (originals) (a) i calibrats amb sondes GPS (corregits) durant l'huracà Matthew.

del vent ASCAT per a vents superiors a  $15 \text{ m s}^{-1}$  (veure figura 1A). Per a representar una resolució espacial del mateix ordre que la dels vents ASCAT, es fa una mitjana de les mesures SFMR al llarg de la trajectòria del caça huracans. Tant el SFMR (i per tant, les sondes GPS) com els vents de boia semblen estar altament correlacionats (al voltant de 0,9 en tots dos casos) amb ASCAT en el règim de vents forts. No obstant això, mostren factors d'escala molt diferents. Fent servir les mitjanes dels vents SFMR com a referència es pot aconseguir un recalibratge dels vents ASCAT per a vents de fins a  $50 \text{ m s}^{-1}$  (veure figura 1B) (Polverari *et al.* 2021). Tanmateix, les escales de vent de la boia i de la sonda GPS són molt diferents en condicions de vent fort i extrem. Per exemple, mentre que calibrant amb les dades de boies, ASCAT produeix un vent de  $25 \text{ m s}^{-1}$  (àrees de color verd clar en la

figura 2A), fent el mateix amb les dades de les sondes GPS, ASCAT produeix un vent d'aproximadament  $37 \text{ m s}^{-1}$  (àrees de color vermell clar en la figura 2B). A més, aquestes diferències augmenten exponencialment amb la intensitat del vent.

**Així doncs, la pregunta és: ¿Quina font de vent és més fiable en condicions de vent fort i extrem, les boies o les sondes GPS?**

En cas de vents baixos, moderats i forts, la font de dades *in situ* més robusta per al calibratge de la intensitat del vent oceànic són les boies d'ancoratge. Aquesta és la raó principal per la qual tant ASCAT com els models globals de predicció meteorològica (com per exemple, el model de predicció europeu ECMWF) apliquen

un coeficient (escala) de calibratge generat a partir de mesures de boies. Aquestes estan validades, utilitzant anemòmetres en màstils (torres meteorològiques), fins a  $25 \text{ m s}^{-1}$  (amb un error inferior al 10%) (Stoffelen *et al.* 2020). Tot i que les boies produeixin mesures amb menys dispersió que les sondes GPS, almenys fins a  $20 \text{ m s}^{-1}$ , encara no hi ha una avaluació precisa de les diferents fonts d'incertesa. Les sondes GPS, al seu torn, poden fallar a proporcionar vents a nivell de la superfície i, fins i tot quan ho fan, aquests poden estar afectats per l'onatge i els efectes de les ràfegues de vent. Per això, els vents a  $10 \text{ m}$  d'alçada s'estimen generalment fent la mitjana dels de les capes superiors i aplicant una correcció logarítmica per a arribar a la superfície (Uhlhorn *et al.* 2007). Les principals fonts d'incertesa en aquest cas són el coeficient de resistència atmosfèric que produeix una forta desacceleració de la sonda GPS a prop de la superfície, i el càlcul de la posició (inclosa l'alçada) pel xip GPS integrat en la sonda, les prestacions del qual no s'han investigat (encara) i poden causar biaixos addicionals en l'estimació de la desacceleració. En altres paraules, ¿Pot aquest biaix ser responsable de la gran inconsistència que hi ha entre els vents alts i extrems de les sondes GPS i les boies?

A hores d'ara, no es poden treure conclusions sobre quina referència de vent és millor per al calibratge/validació de vent satel·litari en condicions de vent fort i extrem o sobre com consolidar ambdues referències per tal que siguin consistents entre elles. Es necessita investigar més per a comprendre les fonts de tals diferències.

Els vents recalibrats amb les dades de les sondes GPS (figura 2B) es posen a disposició de la comunitat científica, que utilitza l'escala de vent SFMR (al seu torn calibrat amb sondes GPS) com a referència per a la caracterització i seguiment de ciclons tropicals. El mateix enfocament s'està utilitzant en el marc del projecte MAXSS de l'Agència Espacial Europea (ESA) per a intercalibrar els vents alts i extrems de tots els altres dispersòmetres i radiòmetres que operen en òrbita. Però la qüestió de si els vents són extrems (escala de sondes GPS) o no tan extrems (escala de boies) roman oberta de moment.

## Referències

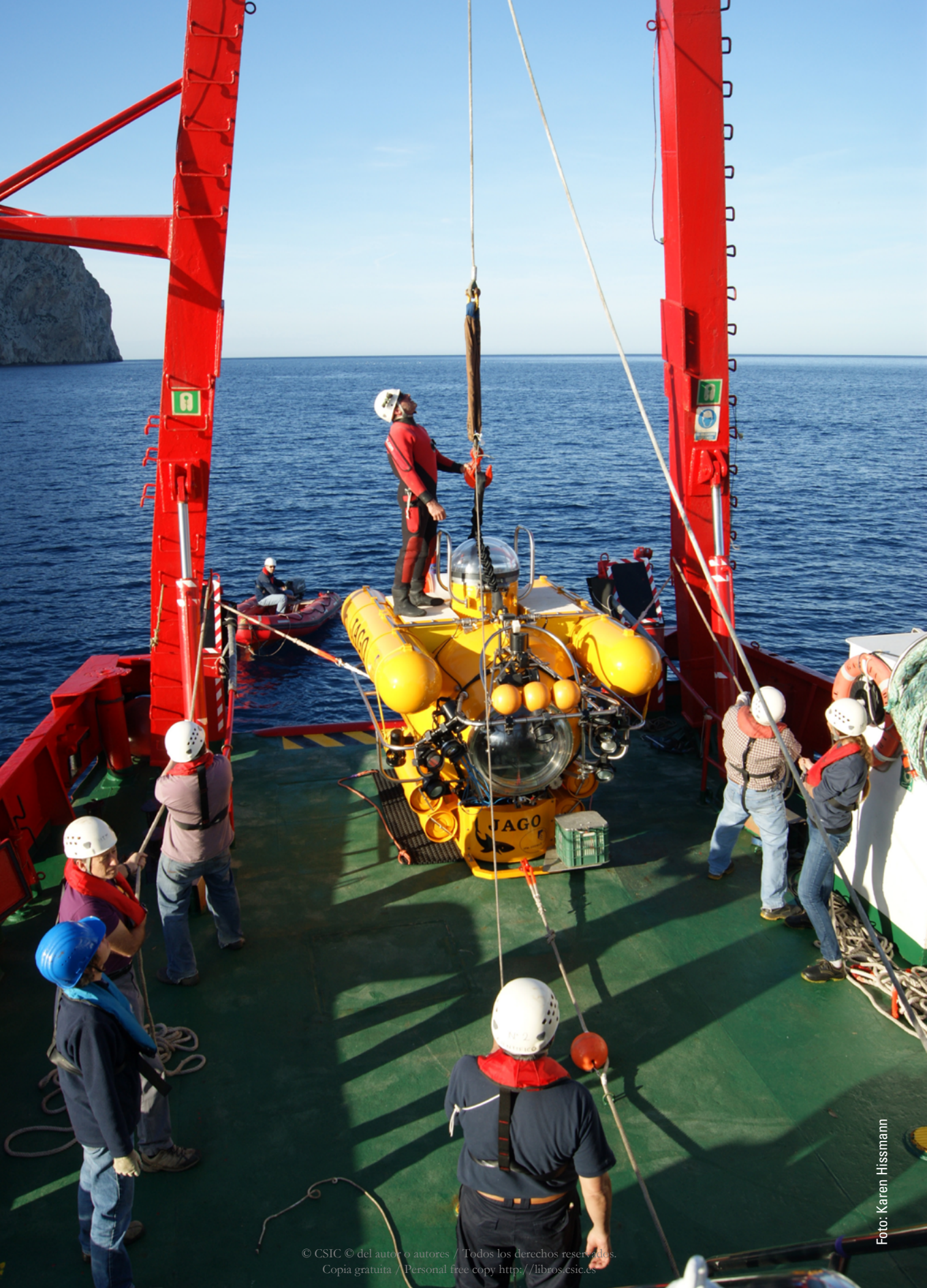
- Bevere L., Fan I., Holzheu T. 2020. Swiss Re Institute estimates USD 83 billion global insured catastrophe losses in 2020, the fifth-costliest on record. Accessed on June 9 2021.  
<https://www.swissre.com/media/news-releases/nr-20201215-sigma-full-year-2020-preliminary-natcat-loss-estimates.html>.
- Polverari F., Portabella M., Lin W., *et al.* 2021. On High and Extreme Wind Calibration Using ASCAT. IEEE Trans Geosci Remote Sens (in press).
- Stoffelen A., Mouche A., Polverari F., *et al.* 2020. C-band High and Extreme-Force Speeds (CHEFS). EUMETSAT Technical report. 74 pp. Accessed on June 9 2021.  
[https://www-cdn.eumetsat.int/files/2020-06/pdf\\_ss\\_chefs\\_final\\_rep.pdf](https://www-cdn.eumetsat.int/files/2020-06/pdf_ss_chefs_final_rep.pdf)
- Uhlhorn E., Black P., Franklin J., *et al.* 2007. Hurricane Surface Wind Measurements from an Operational Stepped Frequency Microwave Radiometer. Mon Weather Rev 135: 3070-3085.
- Verhoef A., Vogelzang J., Verspeek J., Stoffelen A. 2017. Long-Term Scatterometer Wind Climate Data Records. IEEE J Sel Top Appl Earth Obs Remote Sens 10: 2186-2194.

DOI: <https://doi.org/10.20350/digitalCSIC/14106>









# 6. Oceà accessible

Jordi Sorribas, Arantza Ugalde, Jordi Isern, Ramiro Logares

Tots aquells que tenim la sort de viure vora el mar hem incorporat, sense adonar-nos, la seva presència en el nostre dia a dia, gaudim del blau horitzó que ens proporciona i de la seva oferta com a lloc de trobada i espai de lleure. El contacte amb el mar, l'accés físic a aquest medi ens desperta curiositat, ens empeny al seu coneixement i per tant a la consciència de mantenir-hi una relació sostenible. És en aquest sentit on l'accés a l'oceà esdevé l'accés al seu coneixement, aspecte d'importància cabdal pel nostre desenvolupament i pel futur de la nostra existència, i un dels 7 objectius —«l'Oceà accessible»— a assolir en la Dècada que celebrem.

En aquest capítol, els autors aprofundeixen en aspectes clau del procés d'obtenció i accés a les dades, la gestió de la informació i l'ús de tecnologies que fonamenten l'accés al coneixement de l'oceà. Ens donaran llum sobre noves formes d'acostar-nos-hi, enfocaments que garanteixen un accés obert, equitatiu, participatiu i sense barreres, alhora que afavoreixen la integració del coneixement de mars i oceans dins de la nostra societat. De la seva mà descobrirem com hem passat de prendre i desar les nostres observacions vers l'oceà en llapis i paper a disposar de milers de milions de dades emmagatzemades al núvol, obertes i disponibles en temps real per al seu ús, alhora que ens plantegen interessants reptes de gestió per tal d'assegurar el seu accés a llarg termini de forma senzilla i fiable. Sense deixar de banda la importància de les dades per un oceà accessible veurem la rellevància de continuar construint i preservant les col·leccions físiques.

Mostres i exemplars biològics de referència construeixen una base perdurable del nostre coneixement de l'oceà, testimonis de la nostra activitat investigadora del passat i present, i extraordinàriament útils per al futur. En aquest capítol donarem un cop d'ull a les plataformes sobre les quals desenvolupem la tasca de recol·lecció de dades i mostres, amb pinzellada sobre l'evolució i la nova concepció dels vaixells oceanogràfics actuals, i un tast tecnològic de noves plataformes d'observació, boies i vehicles submarins i altres infraestructures com els cables de telecomunicació submarins —no dissenyats inicialment per a la recerca— que obren noves perspectives d'observació.

Una peça que està esdevenint clau en la construcció d'un oceà accessible és l'ús d'Internet i, en particular de les xarxes socials, que s'han convertit en dipòsits importants d'informació i un mitjà per a l'anàlisi de grans volums de dades sobre el medi marí i la nostra relació amb ell com a societat.

Cal no perdre de vista la indispensable figura dels tècnics en tecnologies marines, ni tampoc el rellevant paper de la dona com a elements clau i consolidadors en la consecució de l'objectiu de l'Oceà accessible. També la ciència ciutadana i els sistemes de monitoratge participatiu, i les interessants sinergies entre centres de recerca públics i empreses privades que ens ofereixen noves possibilitats d'ampliar el nostre coneixement i acostar-lo de forma pràctica a la nostra societat, en definitiva fent que el nostre oceà sigui accessible.

Esperem tanmateix que tot això faci que el nostre coneixement de l'oceà no s'aturi i ens impregni amb la mateixa naturalitat, senzillesa i profunditat que ho fa la seva presència física.



## 6.1. De la llibreta al núvol de dades: 70 anys de ciència marina

Savitri Galiana, Lucía Quirós, Elisa Berdalet, Xavier García, Emilio García-Ladona, Jordi Isern-Fontanet, Laia Viure

L'adquisició de dades, anàlisi i posterior interpretació és una tasca essencial per a la ciència, que requereix emmagatzemar, organitzar, accedir i transferir aquestes dades. Aquesta necessitat afecta també altres sectors de la societat, com empreses o entitats de govern que utilitzen les dades com una eina clau en la presa de decisions. Això ha fet que la recerca en aquest camp hagi estat molt activa i l'emmagatzematge i gestió de dades hagi sofert una evolució molt important. A l'Institut de Ciències del Mar (ICM) s'ha viscut de prop aquest canvi, passant de tenir les dades en paper a tenir-les en dispositius electrònics o al «Núvol». Tot i així, l'organització, gestió i transferència de les dades segueix tenint moltes mancances. Diferents iniciatives a l'ICM estan treballant per a superar les dificultats existents i organitzar la informació científica obtinguda al llarg de tants anys, amb el finançament d'ens públics fonamentalment, en bases de dades seguint els principis FAIR (findability, accessibility, interoperability, reusability) d'aplicació internacional a les dades científiques.

### Emmagatzematge i gestió de dades

Abans no hi haguessin ordinadors, les dades s'enregistraven en paper i s'emmagatzemaven en llistes, blocs de notes i revistes, amb text, gràfics i taules teclejats a mà i ciclostilats. Les dades guardades d'aquesta manera ocupaven molt volum físic, el seu accés era lent i difícil i eren molt susceptibles a deteriorar-se per causes ambientals o a quedar destruïdes o extraviades de manera accidental. A mesura que la tecnologia va anar avançant, els registres en paper es van

anar substituint, primer, per targetes perforades, targetes de cartró que emmagatzemaven les dades a través d'un patró de forats i espais blancs; després, per cintes magnètiques i, més endavant, per discs durs, disquets, CDs, DVDs, memòries USB, etc. Recentment, gràcies als avenços en les tecnologies de la computació i en les telecomunicacions, s'ha estès l'ús del «Núvol» de dades. El Núvol ofereix principalment una quantitat il·limitada de capacitat d'emmagatzematge de dades i un accés des de qualsevol lloc i en qualsevol moment on hi hagi una connexió *world wide web*. El magatzem físic del Núvol consisteix en una xarxa de diferents servidors, molts cops ubicats en diferents indrets del món, gestionats per organitzacions que s'encarreguen de mantenir i protegir el sistema físic, i de garantir l'accessibilitat a les dades.

Amb l'evolució de les tecnologies es van anar desenvolupant modes més avançats d'organització i gestió de les dades, i així va anar prenent cos el concepte de les bases de dades (BBDD). Les BBDD es defineixen com un conjunt d'informació organitzada fàcilment accessible, manipulable i actualitzable (Search Data Management Tech Target 2021). Normalment, es controlen a través d'un software conegut com a sistema de gestió de BBDD (DBMS, database management system). Un DBMS serveix com una interfície entre la BBDD i els seus usuaris o altres programes, permetent d'introduir, emmagatzemar i recuperar grans quantitats d'informació, així com de gestionar-ne l'organització. El conjunt de dades i el DBMS, juntament amb les aplicacions associades, s'anomenen sistema de BBDD o, simplement, BBDD. Les BBDD



poden classificar-se en funció del seu model d'organització. Tot i la forta evolució que han experimentat aquests models, l'enfocament més freqüent a dia d'avui segueix sent el de les BBDD relacionals, que aparegueren a la dècada dels 80. Les BBDD relacionals emmagatzemen i organitzen les dades en un conjunt de taules amb diferents tipus de vinculacions entre elles. Tot i així, el model de BBDD més adient depèn dels propòsits d'aquesta i de les mateixes dades. Les preguntes que s'han de respondre a l'hora de dissenyar una base de dades són: i) quin n'és l'objectiu? ii) qui en seran els usuaris? iii) quin tipus de preguntes hauria de respondre? El 2016, un consorci de científics i organitzacions van publicar els principis que han de complir les BBDD (Wilkinson *et al.* 2016): han de poder ser trobades (*findability*), accessibles (*accessibility*), interoperables (*interoperability*) i reutilitzables (*reusability*). Aquests principis es coneixen com a FAIR per les sigles en anglès i sorgeixen en el context actual de gestió d'una quantitat immensa de dades (*big data*).

## Passat, present i futur de les dades a l'ICM

Als anys 70, l'ICM, en aquells moments Instituto de Investigaciones Pesqueras, va dur a terme el projecte MARESME, en què a bord del V/O Cornide de Saavedra i del V/O García del Cid es va estudiar la circulació oceànica i es va caracteritzar la contaminació química de la costa de Barcelona principalment. S'hi van fer observacions hidrogràfiques, químiques i biològiques bàsiques, en tres estacions oceanogràfiques fixes situades en una secció perpendicular a la costa. Al llarg de diferents dies de l'any, els científics es van traslladar fins allà amb els instruments de mesura. Es van agafar mostres d'aigua, es van instal·lar correntòmetres en punts fixos i es van llençar algunes boies a la deriva amb correntòmetres situats per sobre i per sota de la termoclina. Les dades adquirides es van emmagatzemar en format paper i es van transferir a través de l'informe, també en paper, *Datos Informativos 5*, «*Datos oceanográficos frente a Barcelona*» (Salat

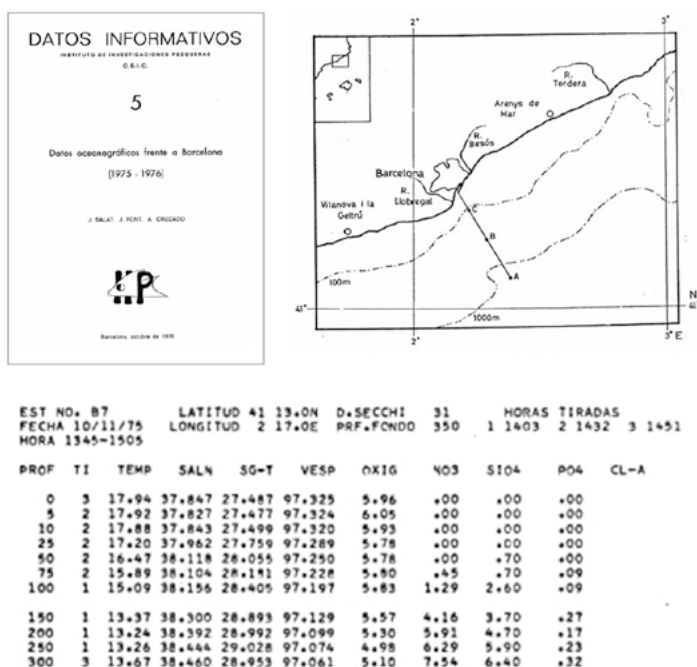


Figura 1. Exemple d'emmagatzematge i transferència de dades dels anys 70 a l'Institut de Investigaciones Pesqueras, avui, Institut de Ciències del Mar. Portada, mapa de localització de les estacions oceanogràfiques i taula de dades de l'estació número 87 enregistrades el dia 10/11/75 de l'informe *Datos Informativos* número 5 de l'Institut de Investigaciones Pesqueras (Salat *et al.* 1978).

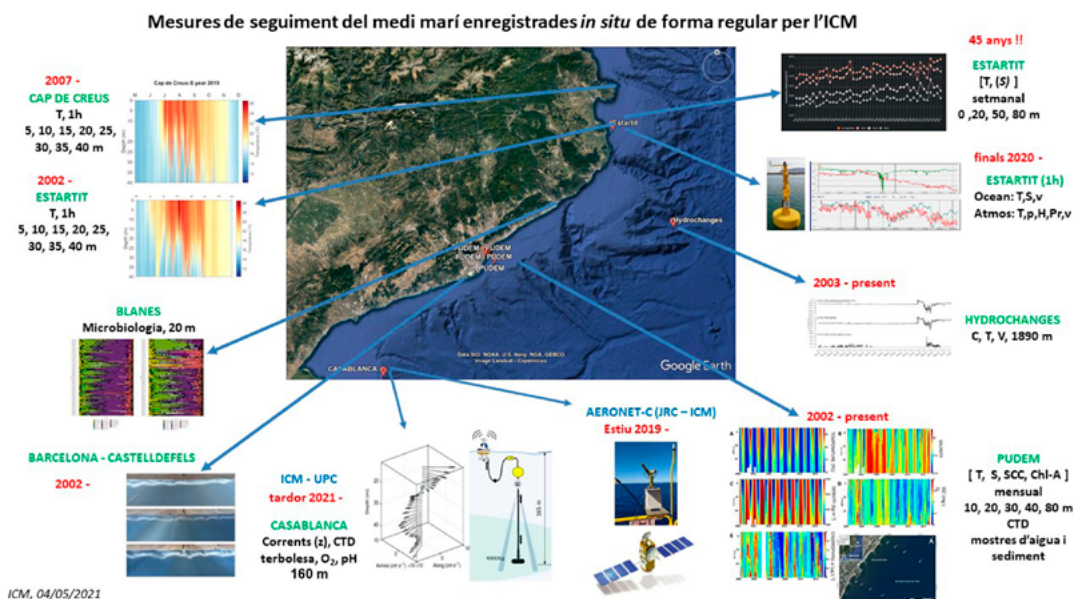


Figura 2. Panorama actual de diferents dades que adquireix l'ICM per al seguiment del medi marí a la costa catalana. Està previst d'incloure-les en BBDD, la qual cosa reforçarà els estudis multidisciplinaris.

*et al.* 1978), organitzades en una sèrie de taules, on cada taula corresponia a les mesures fetes en una posició i un dia determinats (figura 1). En aquells temps, per analitzar les dades i poder trobar el valor d'un paràmetre a una certa profunditat, posició i dia, s'havia de tenir accés a aquest informe, revisar totes les taules i manualment extreure el valor d'interès. Les gràfiques es feien també manualment.

Avui dia, l'adquisició de dades en campanyes, com per exemple, la SPURS del 2013, s'ha automatitzat fins a nivells inimaginables 40 anys enrere. L'objectiu d'aquesta campanya era l'estudi dels processos oceanogràfics responsables de la formació i manteniment del màxim de salinitat en el centre del gir subtropical de l'Atlàntic Nord. Per a això, es va utilitzar instrumentació d'última generació, com per exemple, unes boies de deriva dissenyades i construïdes a l'ICM, que transmetien cada hora dades de posició, temperatura i salinitat superficials del mar via satèl·lit. Algunes d'aquestes boies es van recuperar tres anys més tard a diferents indrets del planeta, pel que van estar transmetent dades en temps real cada hora, durant anys.

Tot i l'avenç en la tecnologia d'adquisició de dades que s'utilitza a l'ICM, i la possibilitat de guardar les dades en discs durs, servidors locals i Núvols de dades, la seva gestió i transferència segueix essent força limitada. La majoria dels científics segueixen tenint els seus fitxers de dades emmagatzemats amb criteris específics (propis de l'estudi, però no estandarditzats), en el seus discs durs, servidors, etc. sense tenir-los organitzats en BBDD. D'altra banda, en els propers anys, s'espera que siguin cada cop més les màquines qui s'ocupin de l'adquisició i processament de dades, fent de les ciències marines una disciplina basada en el *big data*. En aquest context, recentment, l'European Marine Board Expert Working Group en *big data* ha llençat una sèrie de recomanacions per fomentar la implementació dels principis FAIR en el camp de les ciències marines (Guidi *et al.* 2020). A l'ICM, iniciatives com la Xarxa Marítima de Catalunya i l'IcatMar, estan desenvolupant BBDD de pesca i visualitzadors espacials que permeten una millor gestió dels recursos pesquers. A més a més, els projectes de capitalització de dades, SHAREMED i MED OSMoSiS, de l'Interreg Mediterranean program, estan treballant per

incloure les dades o metadades (informació descriptiva sobre les característiques de les dades) d'aquells investigadors de l'ICM que ho vulguin en BBDD (figura 2). Això permetrà organitzar la informació d'una manera molt més homogènia i garantir la qualitat de les dades, serà molt més fàcil accedir-hi, es podran actualitzar i seran fàcilment transferibles. És a dir, seguiran els principis FAIR i a més a més, obriran noves possibilitats a estudis multidisciplinaris que permetin una millor comprensió de l'oceà i els seus canvis.

## Referències

- Guidi L., Fernández Guerra A., Canchaya C., *et al.* 2020. Big Data in Marine Science. In: Alexander B., Heymans S.J.J., *et al.* (eds), Future Science Brief 6 of the European Marine Board, Ostend, Belgium.
- Salat J., Font J., Cruzado A. 1978. Datos oceanográficos frente a Barcelona (1975-1976). Datos Informativos del Instituto de Investigaciones Pesqueras 5:1-73.
- Search Data Management Tech Target. 2021. Definition: database. Accessed 17th May 2021. <https://searchdatamanagement.techtarget.com/definition/database>
- Wilkinson M.D., Dumontier M., Aalbersberg I.J., *et al.* 2016. The FAIR Guiding Principles for scientific data management and stewardship. Scientific Data 3: 160018.

DOI: <https://doi.org/10.20350/digitalCSIC/14108>

## 6.2. Del suport tècnic a la ciència

Joel Sans, Arturo Castellón, Jordi Sorribas

Llunyà queda aquell 1971 quan el vaixell de recerca oceanogràfica Cornide de Saavedra embarcava per primera vegada un ordinador IBM 1130 i es van mesurar i processar dades en continu de temperatura, salinitat y clorofil·la de la superfície del mar. Aquest fet que avui resulta tan familiar, va canviar el mode de veure l'oceanografia. Des de llavors ja han passat 50 anys.

Sens dubte, el camp de la tecnologia y de la ciència discorren en paral·lel nodrint-se els dos dels resultats de l'altre per eliminar els obstacles al saber y facilitar el seu ascens al nou coneixement. Però, entre els dos mons, existeix un tercer actor que es situa com intermediari. La tècnica habita entre els mitjans materials que proporciona la tecnologia en forma de plataforma o equipament científic i el resultat de la activitat investigadora que proporciona la ciència. El seu coneixement i habilitat per utilitzar la tecnologia i el seu saber del domini d'estudi l'habiliten com eina imprescindible per abordar la seva activitat tant de laboratoris com de camp. Un actor important de la tècnica en l'àmbit marí a Espanya és la Unitat de Tecnologia Marina, UTM.

### Trajectòria històrica de la Unitat de Tecnologia Marina

Coneixedors de la importància de la tècnica en el camp de les ciències del mar, neix el 1992 la Unitat de Gestió de Bucs Oceanogràfics (UGBO). I ho fa amb el propòsit de donar suport tècnic i logístic als projectes de recerca que es desenvolupen a bord del V/O Hespérides i del V/O Garcia del Cid.

El 1999, el radi d'actuació de la UGBO augmenta i aconsegueix obtenir la gestió integral de la Base Antàrtica Espanyola Juan Carlos I.

La UGBO es redimensiona i adquireix una magnitud nova anomenada UGBOIP (Unitat de Gestió de Bucs Oceanogràfics i Instal·lacions Polars). Fou a partir de l'any 2000 quan la UGBOIP es converteix en el que avui coneixem com la Unitat de Tecnologia Marina (UTM).

És el 2007 quan la UTM adquireix una nova dimensió i es consolida com a pont entre la comunitat científica que assisteix i les plataformes de recerca que gestiona. No amb poc esforç neix un nou referent en la recerca oceanogràfica Espanyola: El Sarmiento de Gamboa és una realitat.

El 2010 s'inicien les obres de remodelació de la Base Antàrtica Espanyola Juan Carlos I. La crisi econòmica que colpeja el país dificulta la seva construcció i irremeiablement endarrerix la finalització de l'obra. Fou el 2017 quan finalitzà la remodelació de la Base Antàrtica assolint una fita sens dubte molt important per a les ciències polars.

I pel que sembla, el 2020 situa de nou la UTM davant nous reptes amb la integració de l'Instituto Español de Oceanografía dins l'estructura del CSIC. La UTM augmenta la seva capacitat de gestió administrativa y econòmica,



Figura 1. El V/O Sarmiento de Gamboa durant la maniobra de desplegament d'un ROV.





Figura 2. Estiu austral a la Base Antàrtica Espanyola Juan Carlos I. © Javier Urbó.

potencia àrees funcionals importants i estratègiques que facilitaran la gestió integral de tota la flota i reforçaran la rellevància de la base tècnica y tecnològica de la recerca marina. La UTM, amb 30 anys d'activitat tècnica, assoleix una dimensió rellevant de la gestió de la tècnica en les ICTS (Infraestructures Científic-Tècniques Singulares) Flota i Antàrtida d'àmbit marí i polar.

### I a partir d'ara?

La UTM, amb les noves i renovades infraestructures ambiciona, no només la responsabilitat d'un servei tècnic més que consolidat; ambiciona també ser actor i protagonista en projectes de desenvolupament tecnològic i innovació en l'àmbit de les tecnologies del mar i polars.

L'àrea tècnica de la UTM és sens dubte una font d'inspiració absolutament necessària per al desenvolupament, ja que compta amb una gran experiència més que demostrable i un ampli coneixement i formació dins del seu àmbit d'actuació. Aquest gran potencial ha de traslladar-se no només a l'activitat de camp, també a l'activitat desenvolupadora i innovadora. No fer-ho implica *de facto* un malbaratament dels millors recursos dels que disposa la UTM.

A curt termini, la UTM ha de desenvolupar projectes d'enginyeria que tenen la finalitat de cobrir una necessitat no resolta. La activitat se centra en desenvolupar solucions que no existeixen

en el mercat. Si el mercat aporta la solució, pot analitzar com d'allunyades estan les compatibilitats entre la solució aportada i la manca existent i en conseqüència es dissenya i executa una solució pont entre ambdues. Per a estratègies a més llarg termini, la UTM ha de crear les seves pròpies línies d'investigació tecnològica que impliquin el perfeccionament de la tecnologia, la metodologia y de la implementació tècnica en l'observació i anàlisi *in situ*. Estar al dia de l'estat de l'art de les ciències i tecnologies marines i conèixer les seves tendències. Sense oblidar la participació i col·laboració estreta amb altres grups i línies de recerca tecnològica nacionals i internacionals, centres tecnològics, universitats i la indústria de característiques similars i que busquen el mateix fi. I anticipar-se a les necessitats dels equips científics com inversió de futur i explotar més encara la posició de la UTM, les infraestructures que gestiona com factor estratègic en les ciències del mar.

Mai les ciències i tecnologies del mar han estat tan necessàries com ara. El desenvolupament tecnològic és un actiu que la UTM vol i ha d'explorar, desenvolupar, compartir i posar a disposició de la comunitat a la que serveix: 56 tècnics, 568 campanyes i 1.303.573 milles navegades ho avalen.

DOI: <https://doi.org/10.20350/digitalCSIC/14109>

## 6.3. Col·leccions Geològiques: una herència científica

David Casas, Gemma Ercilla, Belén Alonso, Ferran Estrada

L'estudi del fons marí és un objectiu complex a causa de la dificultat tècnica d'accedir i registrar els ambients submarins en general i els marins profunds en particular. Aquest estudi es fa principalment amb el registre de dades acústiques i sísmiques (batimetries i perfils sísmics) que ofereixen observacions indirectes de la morfologia i el marc tectono-sedimentari, i també amb mostres de sediment. Aquestes mostres, en el millor dels casos, són columnes de registre vertical de diversos metres de longitud (testimonis de sediment) que ens aporten informació sobre la composició, edat o processos que han generat els dipòsits.

[Del registre al repositori.](#)  
[Del repositori al recurs](#)

El progrés tècnic i econòmic des dels anys 80 del s. xx ha afavorit l'accés de la comunitat científica a millors vaixells oceanogràfics equipats amb millor instrumentació. Tot i això, les condicions adverses del medi i l'alt cost econòmic de treballar-hi fa que cada km<sup>2</sup> de dades acústiques, cada km de dades sísmiques o cada metre de columna sedimentària tinguin un enorme valor a causa de la baixa probabilitat de poder tornar a obtenir-los. Això fa que les col·leccions, més enllà del seu valor històric, s'hagin d'entendre com un recurs tant científic com socioeconòmic d'enorme vàlua, motivant la seva catalogació i conservació en les millors condicions possibles.

Així, les col·leccions de dades geològiques alineen estratègicament les necessitats passades, presents i futures de la comunitat científica. Fan accessibles per a les necessitats científiques futu-

res dades històriques de diversos entorns geològics, que ja han estat estudiats amb estàndards i propòsits molt diferents. Són un recurs d'on es pot extreure un enorme volum d'informació nova mitjançant noves tecnologies.

Els testimonis de sediment i els registres sísmics són una font de dades fonamental per a futures investigacions sobre el canvi climàtic global, riscos geològics marins, control i valoració de la pol·lució, cartografia d'ecosistemes, exploració de recursos, obres d'enginyeria marina, etc. Disciplines, com la paleoclimatologia i la paleoceanografia, descodifiquen la informació conservada en els sediments marins dels canvis climàtics o de la circulació oceànica en el passat. La comprensió d'aquests canvis ajuda a generar models que poden projectar aquests canvis cap al futur.

Les col·leccions geològiques de l'Institut de Ciències del Mar són un patrimoni científic, únic al CSIC, constituït per diferents conjunts de dades recopilades per projectes de recerca dedicats a l'exploració i explotació del fons marí des de fa dècades. La col·lecció inclou



Figura 1. Imatge parcial de la litoteca refrigerada de l'ICM-CSIC.

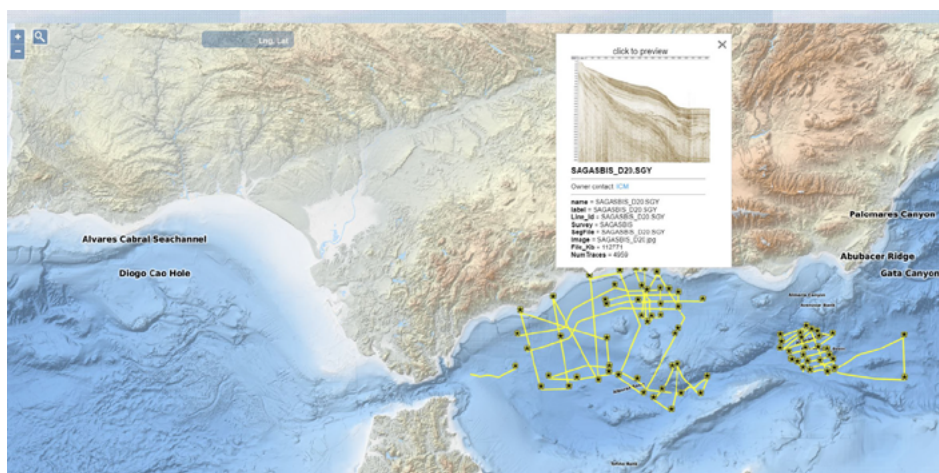


Figura 2. Imatge del portal d'accés a la base de dades de les col·leccions geològiques de l'ICM-CSIC (<http://gma.icm.csic.es/en/data>).

dos grans grups de registres: 1) un conjunt de més de 1.000 testimonis de sediment del fons i subfons marins, així com dades i productes derivats com fotografies, radiografies, i resultats analítics (texturals i composicionals) de submostres; i 2) una extensa base de dades que supera els 100.000 km de registres de sísmica amb diferents resolucions, tant en format paper, analògic com digital.

La majoria dels testimonis de sediment de la col·lecció estan emmagatzemats a una litoteca refrigerada (figura 1). Un altre tipus de mostres s'emmagatzemen a temperatura ambient. A més, l'ICM disposa de diverses instal·lacions per analitzar les mostres i testimonis i infraestructura per treballar amb perfils sísmics.

Les dades de la col·lecció procedeixen de fons de diversos mars i oceans on els investigadors de l'ICM-CSIC han treballat, des de l'Antàrtic fins al Pacífic i Atlàntic, tot i que la densitat de dades és especialment alta a la Mediterrània occidental. Les metadades que identifiquen els elements de la col·lecció estan a més publicats en un geoportal d'accés lliure (figura 2).

Un cop les dades recopilades han estat explotades pels equips científics propietaris, passen a incorporar-se al repositori que constitueix la col·lecció seguint un protocol de control de qualitat, preservació i accessibilitat de metadades. Les dades es guarden com registres bàsics que descriuen les entrades sense processar.

Les col·leccions geològiques de l'ICM tenen la vocació d'evolucionar d'un repositori a un recurs interconnectat amb múltiples fonts per realitzar visualitzacions, anàlisi i interpretacions. Per a això és necessària la implementació d'un sistema de gestió de dades relacionals que permetin recuperar dades emmagatzemades i generar consultes remotament tot donant accés a imatges digitals o escanejades de dades originals en paper. Aquest objectiu requereix el desenvolupament d'eines per accedir a descripcions i visualitzacions de dades per a la seva anàlisi. Aquest pas és especialment important quan, per exemple, es pretén construir una base de dades regional constituïda per centenars de testimonis amb les seves corresponents dades analítiques, ja siguin contínues o relatives a submostres de sediment.

Gestionar la gran diversitat de dades per assolir l'estandardització és en si mateix un repte, però és imprescindible perquè les col·leccions geològiques de l'ICM-CSIC puguin comunicar-se i complementar-se amb altres bases de dades existents, tant de caràcter regional com internacional (EMODnet; <https://emodnet.eu>; Thierry *et al.* 2019).

## Referències

- Thierry S., Dick S., George S., Benoit L., Cyrille P.  
2019. EMODnet Bathymetry a compilation of bathymetric data in the European waters, OCEANS 2019 - Marseille, pp. 1-7.

DOI: <https://doi.org/10.20350/digitalCSIC/14110>

## 6.4. Les Col·leccions Biològiques de Referència: un referent del passat i present, útil per al futur

Pere Abelló, Elena Guerrero, Ricardo Santos-Bethencourt

Les Col·leccions Biològiques de Referència de l'Institut de Ciències del Mar (figura 1) van ser creades a partir de la necessitat de catalogar i tenir a mà exemplars de referència de la fauna marina que els científics del llavors anomenat Instituto de Investigaciones Pesqueras (*Pesqueras* col·loquialment per la comunitat científica barcelonina dels anys 60 a 90 del segle passat) estudiaven. L'àrea de referència preferent era, naturalment, el mar de les costes mediterrànies, i els grups zoològics preferencials, les espècies d'interès pesquer. Des del primer moment, no obstant, es va donar molta importància a la diversitat biològica, molt probablement per la influència que la Universitat de Barcelona donava (i dona) a l'estudi del que ara anomenem biodiversitat (zoologia, botànica, microbiologia...) i a l'estudi de les seves inte-



Figura 1. Col·leccions Biològiques de Referència (CBR-ICM). Interior dels armaris compactes on se situen els espèimens catalogats, conservats en etanol. En cada recipient s'aprecia la seva corresponent etiqueta, la qual indica l'espècie, el número de catàleg, la ubicació i altra informació d'interès (Foto: Elena Guerrero, CBR-ICM).

raccions amb l'ambient (ecologia). Sempre es va donar molta importància a considerar que les poblacions explotades no es poden estudiar i gestionar només a partir de la informació que prové directament de la pesca. Les interaccions amb l'ambient, les relacions predador-presa, les espècies acompanyants de la pesquera, l'oceanografia física... són essencials. El fracàs de les gestions de pesqueres enfocades únicament a l'explotació d'espècies concretes va mostrar que una gestió enfocada majoritàriament a l'espècie objectiu pot tenir un cert sentit en aquells ecosistemes basats en la presència de poques espècies i amb relacions predador-presa de caràcter lineal. No és així en comunitats biològiques més riques en biodiversitat en les que el conjunt d'interaccions garanteix l'estabilitat del sistema. Per tant, no només el coneixement de les espècies objectiu és necessari, sinó que cal conèixer bé el conjunt biològic i físic dels ecosistemes i la seva variabilitat en el temps. La necessitat de conèixer i identificar correctament les espècies i els seus corresponents estadis vitals (larves, juvenils, adults, mascles, femelles...) va ser en conseqüència la creació de les col·leccions de referència de peixos i altres grups zoològics d'interès pesquer, com els crustacis i cefalòpodes, així com de la fauna associada. Els pioners d'aquest estadi varen ser els ictiòlegs Jaume Rucabado, Domènec Lloris i la Conchita Allué.

### Els exemplars de referència

Partint de la premissa de l'existència d'espècies diferents (i sense entrar ara a debatre sobre el concepte d'espècie) es va considerar que era necessari



Taula 1. Nombre de registres, espècies, espècimens tipus i holotips catalogats en les Col·leccions Biològiques de Referència (CBR-ICM) pels principals phyla i el total. Dades accessibles a la base de dades actual (maig 2021) i també publicades a GBIF (Global Biodiversity Information Facility). Altres: Annelida, Cnidaria, Echinodermata, Nemertea, Sipuncula, Bacillariophyta, Ciliophora i Perkinsozoa.

	Phylum				
	Chordata	Arthropoda	Mollusca	Altres	Total
N. de registres	14.791	20.310	1.814	1.308	38.223
N. d'espècies	3.551	1.046	285	50	4.932
N. de tipus	63	200	16	4	283
N. d'holotips	11	41	3	3	58

disposar d'exemplars de referència de les espècies d'interès pesquer i altra fauna associada. Sabem, per exemple, que a les costes mediterrànies tenim dues espècies de moll. Per tant, hem de tenir exemplars de les dues espècies per a que quedin com a model de que són els individus del que anomenem moll de roca respecte el que anomenem moll de fang. El mateix passaria pels lluços. Ara bé, a les costes mediterrànies només n'hi ha una, d'espècie de lluç, per tant, no caldria fer un gran esforç pel que fa a aquesta espècie (però hi ha mascles, femelles, juvenils, larves, post-larves...) amb morfologies diferencials. El que passa, però, és que, en el present cas, la flota pesquera espanyola pescava/pesca no només en aigües estatals, sinó que els anys 70, 80, 90... va pescar en moltes zones del món. Era, per tant, necessari documentar quines espècies es pescaven a les diferents zones, no només europees, sinó també, especialment africanes altament productives i associades als afloraments d'aigües fondes o a les interaccions de corrents, com a les costes del Sàhara, Namíbia, Sudàfrica... per exemple, on hi ha espècies de lluç diferents, però difícils d'identificar pels no experts. En aquelles dècades es va fer molta feina per a documentar no només les espècies objectiu de les pesqueres, sinó també de tota la fauna acompanyant associada. El descobriment d'espècies noves per a la ciència, va ser un dels punts forts (i mediàtics, en diríem avui dia) de les primeres accions de les Col·leccions. En paral·lel a la col·lecció de peixos es va desenvolupar també una col·lecció d'otòlits.

## Les Col·leccions avui

En l'actualitat les nostres Col·leccions acullen un total de 38.223 registres, amb un total de 4.932 espècies, fonamentalment exemplars de peixos (osteïctis i condrictis), larves de peixos (ictioplàncton) i otòlits, crustacis

(decàpodes, estomatòpodes, cumacis, mísids, isòpodes...), mol·luscs (cefalòpodes, bivalves, prosobranquis...), equinoderms, i altres grups, minoritaris en volum però no per això menys importants pel funcionament i equilibri dels ecosistemes marins. Pel que fa a exemplars tipus, les Col·leccions n'ostatgen un total de 283, dels quals 58 són holotips, els individus sobre els quals s'han basat les descripcions d'espècies noves (taula 1). Cal fer una menció especial per la Col·lecció Zariquiey de crustacis decàpodes, fruit de la donació de la família Zariquiey, que va constituir la base del coneixement faunístic dels crustacis decàpodes no només ibèrics sinó de tota la Mediterrània.

Una de les funcions més importants de les Col·leccions és proporcionar la possibilitat i la infraestructura perquè investigadors de tot el món realitzin estades en les nostres instal·lacions per a l'estudi dels exemplars, així com la realització de préstecs d'exemplars a nivell nacional i internacional. Els darrers anys, les Col·leccions estan tenint una gran importància pel que fa a la utilització d'ADN per a la caracterització i identificació d'espècies i definir les relacions de parentiu genètic entre individus i espècies, contribuint així al coneixement de l'arbre de la vida.

Considerem que les Col·leccions són una infraestructura de treball i de recerca valuosa pels continguts i pel patrimoni natural, científic, cultural i històric que representen, però també per la recerca científica puntera en l'àmbit de la biodiversitat i de l'ecologia marina. En aquest sentit és remarcable la quantitat i qualitat dels productes de recerca generats a tots nivells científics, especialment pel que fa a publicacions i altres productes en l'àmbit de la difusió social de coneixements.

DOI: <https://doi.org/10.20350/digitalCSIC/14111>

## 6.5. El compromís de l'ICM amb la igualtat de gènere en la recerca marina

Esther Garcés, Silvia Donoso, Elena Torrecilla, Janire Salazar, Sara Soto, Clara Cardelús, Maria Gracia Puga, Queralt Güell Bujons, Cristina González Haro, Josep L. Pelegrí, Andrea G. Bravo, Pere Puig, Mercedes Blázquez, Belén Alonso

Malgrat l'impuls envers la igualtat a les institucions de recerca dels darrers anys i els avenços assolits, encara hi ha un llarg camí per recórrer. La ciència constitueix encara un àmbit associat a la imatge masculina, invisibilitzant sovint el treball i les aportacions de les dones. Com moltes altres esferes de la societat, les institucions de recerca contribueixen a la re(producció) estructural de les desigualtats de gènere.

Dones i homes tendeixen a concentrar-se en determinats camps científics amb la segregació horitzontal que això implica. Per altra banda, l'anomenat «sostre de vidre» –la barrera invisible que dificulta o obstaculitza l'accés de les dones als nivells més alts de poder, de decisió o de responsabilitat, encotillant les seves carreres professionals–, materialitza la segregació vertical. La permanència en la recerca és una carrera d'obstacles on es produeix un degoteig constant de capacitats i talents, agreujat entre les dones. A més, la recerca sembla sovint cega a la importància de considerar la dimensió de gènere en el seu abordatge, contingut i anàlisi.

Actuar sobre aquesta realitat requereix canvis institucionals a molts nivells. Actualment, aquesta és una prioritat a les agendes de nombrosos organismes internacionals. En aquest sentit, és un objectiu de la Comissió Europea que la dimensió de gènere sigui integrada completament en els projectes de recerca d'Horitzó Europa, i l'Espai Europeu de Recerca estableix com a prioritat que la igualtat de gènere i la perspectiva de gènere s'integrin igualment a la recerca. De la

mateixa manera, la igualtat de gènere en l'àmbit de la recerca marina és un requisit establert per l'ONU en el marc de la Dècada de les Ciències Oceàniques pel Desenvolupament Sostenible.

### La igualtat de gènere com a principi rector de l'ICM

L'Institut de Ciències del Mar (ICM), com a centre d'excel·lència en recerca marina, està plenament alineat amb el compromís envers la igualtat de gènere. Les persones que treballem a l'ICM duem a terme la nostra tasca amb la inquietud pel coneixement del mar amb una visió holística, i estem preparades per als reptes actuals. Com a resultat d'aquesta posició capdavantera i mirada creativa en l'estudi dels oceans, la nostra institució també té una gran responsabilitat amb la societat. El nostre compromís com a institució pública de recerca, finançada pel conjunt de la societat, és assolir l'excel·lència científica en l'àmbit marí promovent els valors del respecte, igualtat, diversitat, transparència i col·laboració (figura 1).

Des del 2017, l'ICM compta amb un Grup de Treball d'Igualtat. Aquest ha estat un espai de reflexió, debat, formació, generació d'aliances i accions. Des del grup s'han impulsat accions adreçades, entre d'altres, a donar visibilitat a la feina i creativitat d'investigadores i tècniques, obrir espais de participació, identificar expressions d'iniquitat i proposar mesures de millora, identificar i desplegar bones pràctiques, i apropar la ciència a les escoles oferint referents femenins<sup>(1)</sup>.



Figura 1. Un mar de diversitat. Il·lustració de Vanessa Donoso.

Aquest procés va donar un salt qualitatiu amb l'obtenció de finançament de dos projectes europeus<sup>(2)</sup> adreçats a la promoció de la igualtat de gènere en la recerca i la innovació. Com a resultat d'aquest impuls, per primer cop l'ICM compta amb d'un Pla d'Igualtat de Gènere<sup>(3)</sup> a nivell de centre.

## El Pla d'Igualtat de Gènere de l'ICM

Previ al disseny del Pla s'ha dut a terme una diagnosi que ha permès establir la realitat concreta de dones i homes en relació a la igualtat de tracte i oportunitats, així com identificar bretxes d'iniquitat i els factors que les produeixen. La diagnosi ha propiciat la presa de consciència de les situacions de desigualtat i discriminació per raó de gènere, així com la possibilitat de prendre decisions informades per revertir aquesta situació. El Pla prioritza objectius i resultats, i defineix un conjunt de mesures per assolir-los que s'articulen al voltant de diversos eixos d'intervenció, entre d'altres: el desenvolupament de la carrera professional; la formació en la igualtat de gènere; l'ordenació del temps de treball, la corresponsabilitat i la conciliació de la vida personal, familiar i

laboral; la igualtat en les estructures funcionals i organitzatives del centre; o la inclusió del gènere en la investigació i la innovació.

El Pla, que s'implementarà al llarg dels pròxims 2 anys, integra accions transversals que han d'ancorar-se en les polítiques institucionals i mesures d'acció positiva adreçades a corregir situacions patents de desigualtat. Es tracta a més d'un document viu que pot ser adaptat per respondre idòniament a nous reptes i contextos futurs. Per avaluar l'impacte del Pla es compta amb un cos d'indicadors que permetran verificar el nivell de consecució dels resultats previstos. El Pla, que constitueix el full de ruta institucional en matèria d'igualtat, ha estat dotat dels recursos necessaris per a la seva efectiva implementació.

Per al Grup de Treball d'Igualtat, el recorregut realitzat fins ara ha estat un procés molt enriquidor i alhora un repte constant. Estem convençudes que el Pla es planteja com un revulsiu per l'ICM, que indubtablement tindrà efectes positius no només entre les dones, reduint bretxes i eliminant biaixos de gènere; sinó també per a tot el personal, amb la millora de la motivació d'equips, la retenció (i captació) de capital humà qualificat, i un nou impuls de la responsabilitat social corporativa.

El Pla ens posa, a més, el nou repte de repensar la nostra recerca marina incorporant la dimensió de gènere (i multiplicitat d'interseccionalitats). Tot un estímul que contribuirà a assolir una ciència oceànica més inclusiva, diversa i transformadora, per esdevenir un referent com a centre de recerca marina per a les noves generacions.

(1) L'ICM va estar reconegut amb un accèssit del *Distintivo Igualdad* del CSIC a la convocatòria 2020.

(2) LeTSGEPS, RESBIOS són projectes finançats pel programa de la Comissió Europea H2020 SwafS: RESBIOS *REsponsible research and innovation grounding practices in BIOsciences*, Grant Agreement N°872146; LeTSGEPs *Leading Towards Sustainable Gender Equality Plans in research institutions*, Grant Agreement n° 873072. També hem participat activament en el SwafS ACT *Promoting Communities of Practice to advance knowledge, collaborative learning and institutional change on gender equality in the European Research Area*, Grant Agreement n° 788204.

(3) <http://bit.ly/GEP-ICM-2021>

DOI: <https://doi.org/10.20350/digitalCSIC/14112>

## 6.6. La nova generació de vaixells oceanogràfics

Jordi Sorribas, Arturo Castellón

Des de fa més de dos segles hem utilitzat embarcacions per a l'observació dels oceans, però la concepció dels vaixells oceanogràfics com els coneixem avui és relativament recent. Comptem amb una autèntica flota de vaixells de recerca oceanogràfica altament tecnificada, molt especialitzada i capaç de desplegar multitud de sensors, equips de mesura i mostreig. Tot i que emprem tècniques d'observació aerotransportades, amb sofisticats sensors muntats en satèl·lits que ens proporcionen informació de la «pell» dels oceans de manera sinòptica, xarxes de sensors submarins capaços de monitorar gran quantitat de paràmetres i transmetre les seves dades a Internet en temps real, vehicles i estacions de mesura autònoms i fins i tot sensors muntats a llocs d'animals marins, els vaixells de recerca continuen sent avui dia una plataforma fonamental per al treball del científic marí.

Només a Europa (European Marine Board 2020), el conjunt de 23 països compta amb 99 vaixells oceanogràfics de diferent grandària, des de petites embarcacions d'àmbit costaner a grans vaixells oceànics i fins a trencaglaç, tots ells pertanyents i gestionats per 62 institucions diferents. El *Consejo Superior de Investigaciones Científicas* és una d'elles, i mitjançant la Unitat de Tecnologia Marina gestiona part de la Flota Oceanogràfica Espanyola composta per nou embarcacions i que constitueix un dels nodes del Mapa Espanyol d'Infraestructures Científic Tècniques Singulares (ICTS). Aquestes són considerades infraestructures capdavanteres que presten serveis per a desenvolupar recerca d'avantguarda i de màxima qualitat, així com per a la transmissió, intercanvi i preservació del coneixement, la transferència de tecnologia i el foment de la innovació.

### El vaixell oceanogràfic

La Flota de vaixells oceanogràfics és un element clau en el nostre sistema de ciència i tecnologia, gràcies al qual és possible realitzar al nostre país ciència marina de qualitat i rellevància dins del context internacional. Cada vegada són més els grups de recerca marina compostos per científics i tecnòlegs procedents de diverses institucions i països, que empren els nostres vaixells com a plataformes d'estudi multidisciplinari d'un medi marí que no és possible entendre sense desentranyar les complexes relacions que s'estableixen en ell. Aquesta aproximació transversal a l'estudi del medi marí ha convertit els vaixells oceanogràfics en autèntiques navalles suïsses del sector naval. La seva concepció estructural, la distribució dels espais interiors (laboratoris, cobertes, bodegues), els elements físics de suport al mostreig (pòrtics, grues, gigres, góndoles, quilles retràctils, etc.), la propulsió silenciosa i eficient i els sofisticats sistemes de navegació i informació (posicionament dinàmic, control remot, màquines desateses, ...) els caracteritzen i distingeixen de qualsevol altra tipologia de vaixell dedicada al transport de béns o persones.

La visió que tenim de la construcció d'un vaixell en una drassana on es va armant la closca del vaixell a base de peces de metall soldades, és només una part del procés. La concepció i construcció d'un vaixell oceanogràfic és pràcticament un «vestit a mida» que comporta una interacció profunda entre els clients finals (grups de recerca), institucions que els gestionaran i les drassanes que els construiran i mantindran durant tot el seu cicle de vida, que s'estima en més de



25 anys. Suposa un exercici de prospecció que disposa el necessari perquè els vaixells es puguin adaptar bé a les demandes de noves tècniques de recerca que apareixeran en el futur. Afortunadament, i gràcies a l'esforç i visió del nostre sector naval i el suport de les administracions, les drassanes espanyoles estan molt ben posicionades en el sector de la construcció i manteniment de vaixells oceanogràfics. Dels dics de les nostres drassanes han sortit molts dels vaixells oceanogràfics de nova construcció que en els últims deu anys s'han posat a flotació a Europa (el Regne Unit, Noruega, Suècia ...) i també a Amèrica del Sud (el Perú, l'Argentina ...).

### Laboratoris flotants

Tots els vaixells oceanogràfics actuals tenen unes característiques comunes, ja que els mostrejos que realitzen són comuns a gairebé tots ells. Si bé hi ha algunes diferències culturals i, d'altra banda, l'evolució des de vaixells anteriors marca les característiques dels nous, concorren uns elements, espais i equips que són imprescindibles per a la investigació marina avui dia. A partir de vaixells pesquers que es van adaptar per desplegar equips com batitermògrafs, després CTD i xarxes de plàncton (bongos), van anar apareixent diferents aparells com els gigres, els pescants i tangons i més tard els pòrtics abatibles. Un exemple d'això és el V/O García del Cid que va néixer el 1979 com pesquer d'altura,

amb les seves gigres de pesca i el seu pal del llançament i que va patir una transformació en 1989 que ho va fer multi-propòsit incorporant un pòrtic abatible i eliminant la seva rampa de popa (figura 1).

També l'acústica va començar utilitzant-se en la pesca i finalment s'ha convertit en la tecnologia marina per excel·lència. Ara, múltiples transductors poblen la quilla del vaixell oceanogràfic.

Els mostrejos es realitzen a vaixell parat (en estació) o en arrossegament, amb el vaixell en moviment. Tots els vaixells oceanogràfics actuals tenen per això dos escenaris, un per estribord i un altre per popa i els seus corresponents pòrtics i gigres –i cables– per donar servei a aquestes maniobres. Aquests elements en coberta també han evolucionat tecnològicament i seguim deixant anar equips mitjançant l'ús d'un cable i les seves característiques també evolucionen al seu torn. La incorporació de ROV i AUV ha afegit nous tipus de maniobres per desplegar i recuperar-los de la mar. El V/O Sarmiento de Gamboa (figura 2) va ser un punt d'inflexió. S'hi van reunir les experiències apreses en els anteriors vaixells.

Aquesta cultura de la qual abans parlàvem va marcar un punt en l'horitzó a on dirigir-nos. Sabíem el que es necessitava per donar servei a totes o gairebé totes les disciplines marines. Les limitacions només eren econòmiques i per tant el disseny era fonamental per aconseguir una plataforma multi-propòsit eficient. A l'hora de



Figura 1. V/O García del Cid.



Figura 2. Estiba de cable al V/O Sarmiento de Gamboa.

dissenyar un vaixell els estàndards constructius estan al dia. Assumptes com la motorització segueixen sempre els últims desenvolupaments sense arriscar en tecnologies no contrastades. En aquest punt i en el disseny de casc és on la drassana ha d'oferir el seu millor ofici. No obstant això, en la disposició general, espais científics (laboratoris) i en la disposició de coberta especialment és on el client, nosaltres, ha de tenir una determinació i un disseny obtingut de l'experiència. Així com a l'hora de dissenyar un habitatge, som nosaltres els que sabem on volem la cuina, el saló, etc., sabem per a què volem el vaixell. És en aquest sentit que el disseny del V/O Sarmiento de Gamboa va ser en la direcció d'obtenir un vaixell flexible, que acceptés, no només els escenaris ja coneguts, sinó que pogués adaptar-se als escenaris per venir. Avui en dia les tecnologies marines presenten i imposen nous escenaris, noves maniobres i exigeixen serveis que han de ser implementats de vegades a curt termini. La distribució d'aparells en coberta es determina també tenint en compte la possibilitat d'equips mòbils que s'instal·len i desinstal·len depenent del tipus de mostreig (Duduyer *et al.* 2015). Aquest fet fa que els períodes de mobilització i desmobilització (aparellat del vaixell)

siguin més llargs i costosos i, en alguns casos, s'hagin de fer assajos i proves en port o al mar per certificar les maniobres: totes les maniobres han de registrar-se i aprovar-se pel personal responsable i han de documentar les seves incidències. La tecnologia marina clàssica, amb els seus nusos, grillons, giratoris o guardacaps té aquí la seva responsabilitat.

Paral·lelament, els vaixells oceanogràfics han ampliat les seves possibilitats a l'hora de realitzar analítiques de manera que els laboratoris no tenen res a envejar als existents en terra. Espectrofotòmetres i fluorímetres, citòmetres, campanes de flux laminar, estufes, són elements habituals i els grups investigadors segueixen aportant nous equips d'anàlisi. Cada vegada hi ha més disciplines que incloen incubacions i experimentació a bord que de vegades exigeixen noves instal·lacions i serveis. És per aquesta raó que el nombre de persones a embarcar també és un factor limitant en les campanyes oceanogràfiques. L'habitabilitat i els serveis associats es redimensionen. Finalment, les comunicacions i les tecnologies informàtiques han canviat substancialment el desenvolupament de les campanyes i les seves investigacions. Dades obtingudes a bord poden ser enviades a laboratoris en terra on es processen i on al seu torn es reenvien prediccions i mapes tant meteorològics com de camps de temperatura, salinitat i fluorescència obtinguts per tecnologia satel·lital i processament de models. El laboratori del vaixell es fa gran amb això i apareixen noves ocupacions i disciplines associades. En un vaixell oceanogràfic poden conviure diferents tecnologies marines, des de la navegació, la propulsió mecànica o les maniobres a coberta, fins el mostreig, l'analítica o l'experimentació i la acústica.

## Referències

- Duduyer S., Castellon A., Dañoibeitia J.J., *et al.* 2015. Guidelines and recommendations for ship design on work deck installation and operations for scientific equipment. EUROFLEETS2-WP11-D11.2.
- European Marine Board. 2020. Next Generation European Research Vessels. EMB Policy Brief N°. 7, March 2020. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3639005>

DOI: <https://doi.org/10.20350/digitalCSIC/14113>

## 6.7. Observant l'evolució d'una partícula d'aigua

Joaquín Salvador, Josep L. Pelegrí

Les aigües de l'oceà flueixen contínuament, sense aturar-se, amb una variabilitat que té lloc a molt diferents escales espacials i temporals. En algun moment pot semblar que el seu moviment es limita a una zona de petita extensió però res més lluny de la realitat. L'oceà és únic, global, i totes les aigües i ecosistemes estan connectats. Un dels elements essencials per a comprendre el funcionament dels oceans es basa precisament en la nostra capacitat de rastrejar el moviment de les parcel·les de fluid que connecten tot el món marí, tant els ambients físics com els organismes i comunitats que en ells habiten.

Conforme la tecnologia avança, han sorgit diferents possibilitats d'observació del moviment del fluid marí. L'observació remota proporciona seqüències d'imatges de diverses propietats superficials del mar (per exemple, color, temperatura, salinitat i altura mitjana del nivell del mar) que permeten inferir el moviment i distribució de les masses d'aigua (NOAA 2021). D'altra banda, les noves tecnologies de comunicació (Iridium, Globalstar, Orbcomm, GPS, Glonass, entre d'altres) permeten que aquesta informació, i la que es recopila en el propi oceà de molt diverses maneres, ens arribi en temps pràcticament real. Tot això possibilita que els models predictius de l'estat dels oceans ens proporcionin una visió bastant fidedigna del medi marí. Un exemple d'això són els serveis marins proporcionats, en temps real i en format obert, per la Unió Europea (Copernicus 2021).

En aquest assaig descriurem les tècniques d'observació directa del moviment de les parcel·les d'aigua, la qual cosa usualment denominem la visió Lagrangiana del comportament del fluid. Començarem amb una breu ressenya històrica

sobre aquestes tècniques d'observació per a després centrar-nos en la descripció dels principals programes d'observació que utilitzen sistemes autònoms que es desplacen amb el propi fluid.

### Evolució històrica de les mesures de corrents

Els corrents marins sempre han estat de gran importància per als navegants, i per al seu mesurament s'han utilitzat molt diversos artefactes. Una de les primeres tècniques usades pels mariners va ser la corredissa, que no és més que un cordill dividit en parts iguals, subjecte i atropellat per un dels seus extrems a un carret i lligat per l'altre a la barqueta, que proporciona una mesura aproximada de la velocitat de navegació. Amb el vaixell fondejat, la corredissa permet obtenir la velocitat del corrent superficial. Malgrat ser un mètode molt rudimentari, va permetre que a finals del segle XIX el servei hidrogràfic dels Estats Units fes una descripció bastant fidedigna del moviment de les aigües superficials en el corrent del Golf.

Durant l'expedició britànica Challenger (desembre de 1872 a maig de 1876) es va utilitzar l'anomenada «draga de corrents», que consistia en una estructura en aspa que es llastrava i s'unia, mitjançant un cap, a una altra estructura de fusta en la superfície. Aquesta boia superficial gairebé no sobresortia de l'aigua, per a evitar que el vent la desplaçés, i tenia una bandera de manera que podia situar-se més fàcilment. Aquest mètode per a mesurar corrents es va utilitzar recurrentment al llarg de molts anys, variant la superfície de la draga i col·locant-la a diferents profunditats (des de les capes més superficials

fins a diversos centenars de metres). Es podia descriure la seva trajectòria referenciant la seva posició amb marcacions en terra, si és que es realitzava prop de costa, o bé amb referències astronòmiques, si estaven en mar oberta.

Aquests mètodes van anar evolucionant al llarg del segle xx amb l'aparició de noves tecnologies com les comunicacions per ràdio que permetien establir les posicions d'aquestes dragues d'una forma més eficient, sense haver de seguir a la boia. A la fi del segle passat, amb les comunicacions satel·litàries i els sistemes de posicionament global (GPS), les boies a la deriva van experimentar un avenç fonamental.

### Boies de deriva superficial i flotadors profunds

Hi ha molt diversos tipus de dissenys que busquen moure's lliurement amb el fluid, des de petits cilindres fins a grans estructures heterogènies (García Ladona *et al.* 2016). No obstant això, excepte en les unitats de petita mida que senzillament suren en la superfície del mar, tots els derivadors continuen tenint una boia superficial de la qual penja un cap amb un element de draga. El principi fonamental per a fer el seguiment del corrent no s'ha modificat al llarg del temps: s'utilitza un element de draga que ofereix notable resistència al moviment del fluid, de manera que tota l'estructura (o derivador) es desplaça amb la mateixa velocitat que el fluid que envolta a aquest element.

Des de 1988 s'han establert uns estàndards de derivadors superficials, en els quals la draga compleix uns requisits de suficient resistència al flux, que permeten la comparació de les trajectòries en diferents llocs i amb diferents condicions meteorològiques i oceanogràfiques (WOCE 1988) (figura 1). Per a poder transmetre la seva posició, tots els derivadors requereixen d'un element flotant en la superfície del mar on es col·loca el transmissor. Això ocorre puix que les ones electromagnètiques s'atenuen molt ràpidament en l'aigua de mar –per exemple, una ona de ràdio amb una freqüència de 800 MHz no traspasaria ni tan sols un centímetre d'aigua.

També ha millorat significativament el registre de les successives posicions de la boia super-

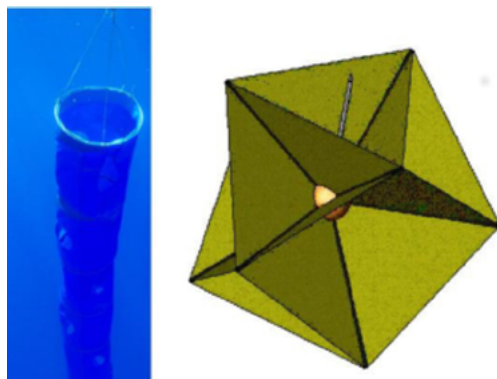


Figura 1. Àncores de capa per a boies de deriva: la foto esquerra mostra una draga penjant amb forma de mitjó, típica del programa WOCE (1988), i la dreta mostra una draga de forma esfèrica amb prestacions similars (Gasser *et al.* 2001).

ficial, especialment des de l'any 2000 quan el Govern dels Estats Units va finalitzar les restriccions que imposava a l'exactitud de les dades GPS. A això se li suma la possibilitat que aquests derivadors tinguin diferents sensors incorporats, gràcies als avenços en autonomia energètica, i l'excel·lent capacitat de transmetre les dades de posició i variables observades amb la freqüència desitjada i en temps real a través de sistemes satel·litaris com Argos, Iridium i Globalstar. Tot això permet realitzar un seguiment precís de la trajectòria i transformacions de les masses d'aigua, amb precisions espacials d'uns pocs metres i a intervals temporals que poden anar des de minuts fins a dies.

Un altre avenç molt significatiu en el nostre coneixement del moviment i evolució de les parcel·les d'aigua s'ha aconseguit amb el programa internacional Argo, que va arrencar amb el mil·lenni. Aquest programa consisteix en flotadors o perfiladors que deriven a una certa profunditat però que tenen la capacitat de realitzar moviments verticals en l'aigua amb una freqüència prèviament establerta (figura 2). Durant els seus moviments verticals, els sensors incorporats en el perfilador recopilen informació sobre la distribució vertical de les propietats de la columna d'aigua (pressió, temperatura i conductivitat de manera estàndard). Quan els perfiladors arriben a la superfície de l'oceà es mantenen allí el temps suficient (des de minuts fins a hores) per a transmetre la seva posició i les dades registrades durant el seu cicle vertical.



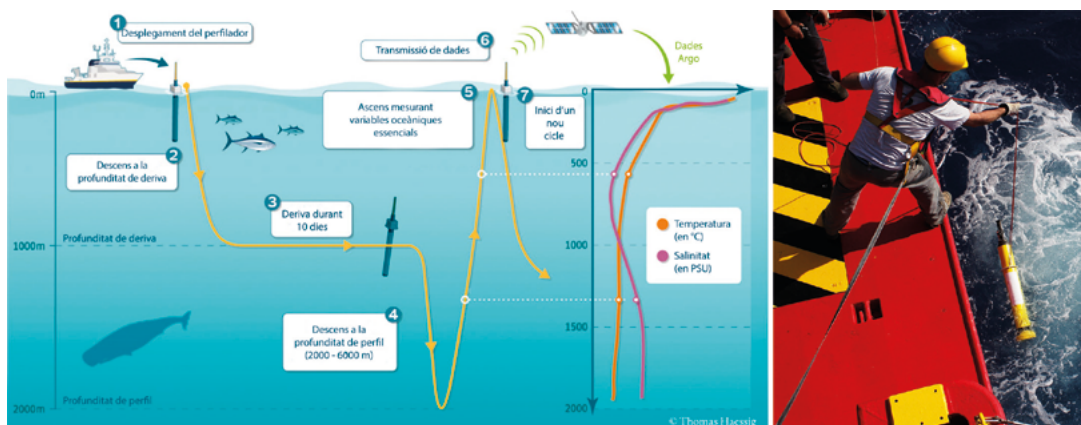


Figura 2. Ciclo característico dins de l'aigua d'un perfilador del programa Argo (esquerra). Desplegament d'un perfilador Argo des d'un vaixell oceanogràfic (dreta).

El programa Argo actualment compta amb uns 4.000 perfiladors derivant en tots els oceans, que proporcionen una molt valuosa informació sobre els corrents marins i l'estructura de la columna d'aigua.

## Referències

- Argo. 2021. The Argo Program. <https://argo.ucsd.edu/about/>  
 Copernicus. 2021. Copernicus Marine Service. <https://marine.copernicus.eu/>

- García-Ladona E., Salvador J., Fernandez P., *et al.* 2016. Thirty years of research and development of Lagrangian buoys at the Institute of Marine Sciences. *Sci. Mar.* 80S1: 141-158.  
 Gasser M., Salvador J., Sangrà P., Pelegrí J.L. 2001. Field validation of a semispherical Lagrangian drifter. *Sci. Mar.* 65S1: 139-143.  
 NOAA. 2021. How are satellites used to observe the ocean? <https://oceanservice.noaa.gov/facts/satellites-ocean.html>  
 WOCE. 1988. Surface Velocity Program, TOGA Pan-Pacific Surface Current Study, WCRP-26, WMO/TD 326.

DOI: <https://doi.org/10.20350/digitalCSIC/14114>

## 6.8. Les plataformes autònomes i les seves aplicacions en oceanografia

Pablo Rodríguez, Núria Pujol, Jordi Sorribas

Les Ciències Marines i l'observació dels Oceans són clau en el camí cap a un futur més sostenible. No obstant això, l'estudi sistemàtic del medi marí té forts condicionants que en limiten el seu desenvolupament: l'extensió i accessibilitat d'algunes àrees d'estudi, la meteorologia, les escales temporals i espacials, les elevades despeses operacionals, etc.

En les dues darreres dècades s'han realitzat importants esforços per aconseguir obtenir una visió multiescala del mar (tant temporal com espacial) però és un camí que tot just acaba de començar. És necessari incrementar el nombre de paràmetres medits, la freqüència temporal i espacial dels mostrejos, així com fer-los sinòptics al llarg de múltiples escales. Els avenços en la fabricació de sensors i la paulatina automatització d'algunes de les plataformes de mostreig (boies intel·ligents, drifters, gliders, vehicles autònoms de superfície i submarins) marquen el camí cap a aquest objectiu i la seva utilització és cada vegada més estesa en l'àmbit de la investigació marina (Di Caccio i Troisi 2021).

### Estat actual de la tecnologia

L'ús de grans plataformes (bucs oceano-gràfics) es veu fortament limitat per factors econòmics (despeses operatives), geogràfics (accés a zones remotes o de difícil accés), mediambientals i temporals (només és possible ser en un únic lloc a la vegada i durant un temps limitat). Tot i els seus inconvenients, les grans plataformes són i seguiran sent imprescindibles per l'estudi dels oceans i, en particular, per al desplegament i manteniment d'instrumentació i sensors, siguin autònoms o no. En aquest sentit,

s'han desenvolupat plataformes col·laboratives (OFEG) amb l'objectiu de racionalitzar el seu ús, en la mesura del possible, minimitzant els trànsits innecessaris d'aquestes grans plataformes amb el consegüent estalvi econòmic i energètic global.

Les plataformes amb capacitat d'operar de manera autònoma permeten una major flexibilitat i racionalització en el desplegament de sensors, permeten potenciar nous mètodes operacionals (desplegaments multiplataforma amb mostreig col·laboratiu, mostreig adaptatiu, etc.) i poden actuar com a multiplicadors d'esforç al desplegar-se des de plataformes tradicionals. L'objectiu final és obtenir una millor visió de l'entorn, amb costos raonables i un impacte ambiental menor.

El desenvolupament d'aquest tipus de plataformes ha sofert una espectacular evolució en els últims 20 anys, sent les empreses de offshore les pioneres en la seva utilització sistemàtica pel notable estalvi de costos operatius que suposaven. Actualment existeixen plataformes autònomes aèries, de superfície o submarines amb capacitats operatives molt diverses i autonomies que, en alguns casos, poden ser de setmanes o mesos.

Aquestes plataformes ofereixen una àmplia varietat de capacitats de treball (càrrega útil i autonomia) i tenen capacitat per allotjar un ampli ventall de sensors en diferents condicions operacionals i complementar-se entre si per oferir una visió completa de l'entorn. Aquest tipus de plataformes (figura 1) poden efectuar missions en un huracà, monitoritzar corrents marines a escala global (xarxa de boies Argo) o realitzar un monitoratge constant de desastres mediam-

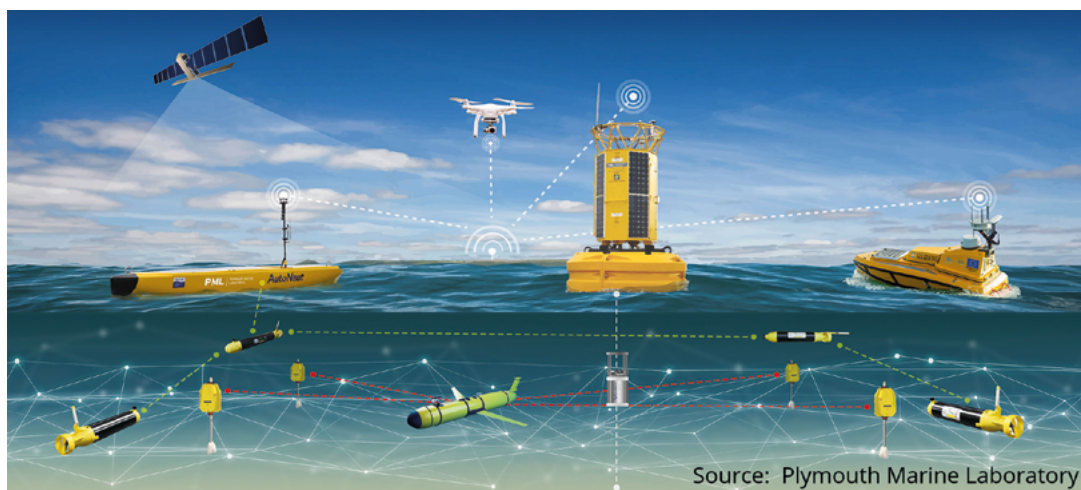


Figura1. Sistema d'observació autònom. Plymouth Marine Laboratory.

bientals (*Deepwater Horizon*) durant mesos. En altres casos, aquestes plataformes romanen connectades a observatoris submarins durant mesos mentre es possible modificar-ne les missions en funció de les dades observades (OOI).

## Reptes de futur

Tot i els avantatges de les plataformes que s'han comentat, encara queda un llarg camí per recórrer. Presentem a continuació alguns dels principals reptes d'aquestes tecnologies:

**Autonomia.** Un dels principals factors limitants de les plataformes autònomes és la seva autonomia, ja que gairebé totes les plataformes autònomes tenen una alimentació basada en la utilització de bateries, que tot i els notables avenços en la grandària i potència disponibles, la densitat d'energia de les bateries encara té molt marge de millora. La utilització de fonts d'energia naturals (onades, radiació solar, vent, etc.) per a la propulsió d'aquestes plataformes és una alternativa imprescindible per aconseguir missions de llarga durada.

**Miniaturització de sensors.** S'han aconseguit notables avenços en la miniaturització i integració de sensors per mesurar paràmetres fisicoquímics, òptics o acústics i alguns d'ells estan sòlidament establerts, com els sensors de temperatura, conductivitat, pH o oxigen dissolt, entre d'altres. Tot i així, encara és necessari avançar en aquest camp per tal de permetre una mi-

niaturització real d'alguns d'aquests sensors per aconseguir un monitoratge integral i multiescala del medi marí.

**Transmissió de dades.** La transmissió de dades té dos factors limitants importants (i relacionats entre si): l'ample de banda del canal utilitzat i el consum energètic. En els vehicles autònoms és important controlar la despesa energètica de cada element, per aquest motiu les transmissions de dades han de ser el més eficients possible. A més a més, la latència de transmissió també pot ser un factor crític en els àmbits relacionats amb el monitoratge ambiental i prevenció de desastres naturals.

**Intel·ligència artificial (IA).** La incorporació de la intel·ligència artificial (IA) planteja reptes i oportunitats excepcionals. La possibilitat de tenir plataformes de gran autonomia capaçes d'adaptar les seves missions en funció de l'entorn o dels requeriments de la missió obren noves possibilitats, per exemple, en el monitoratge d'espais protegits o en l'estudi de fenòmens extraordinàriament dinàmics.

Les plataformes autònomes tenen un ampli marge de desenvolupament en l'àmbit marí, tal i com demostra l'aposta decidida de prestigioses institucions d'investigació marina per aquestes tecnologies (Lindstrom *et al.* 2020). Aquests avenços suposaran, a mig i llarg termini, un canvi d'estratègies en la recerca del medi marí, incorporant noves tecnologies i metodologies que permetran augmentar la resolució dels estudis a



Figura 2. AUV model Girona500 a les instal·lacions de la Unitat de Tecnologia Marina (UTM-CSIC) de Barcelona.

petita escala i millorar la coordinació en estudis a gran escala (Whitt *et al.* 2020).

La Unitat de Tecnologia Marina fa temps que va començar a donar alguns passos en aquest

camí i actualment disposa de dos AUV costaners i un de baixa profunditat (figura 2), però creiem que és un camp que en un futur pròxim experimentarà un notable desenvolupament a nivell nacional amb múltiples aplicacions en l'àmbit del CSIC.

## Referències

- Di Caccio F, Troisi S. 2021. Monitoring marine environments with autonomous Underwater Vehicles: A bibliometric analysis, *Results Eng.* 9: 100205.
- Lindstrom E., Shcherbina A., Rainville L., *et al.* 2020. Notes from the Field - The Autonomous Platform Revolution. NASA Earth Observatory. <https://earthobservatory.nasa.gov/blogs/from-the-field/2017/11/08/the-autonomous-platform-revolution/>
- Whitt C., Pearlman J., Polagye B., *et al.* 2020. Future Vision for Autonomous Ocean Observations. *Front. Mar. Sci.* 7: 697.

DOI: <https://doi.org/10.20350/digitalCSIC/14115>



## 6.9. Gestió de dades de campanyes oceanogràfiques per a una informació accessible

Susana Diez, Jordi Sorribas

Durant les campanyes d'investigació en vaixells oceanogràfics s'adquireixen una gran quantitat de dades de diferent naturalesa, que cobreixen tots els àmbits d'estudi i que caracteritzen i ens donen informació tant de la superfície del mar com de la columna d'aigua, i del fons i subfons marí. Aquestes dades són molt valuoses, no només perquè són la font de les investigacions oceanogràfiques, sinó per la dificultat i l'elevat cost d'adquisició a causa de la complexitat que representa treballar en el medi marí. L'accessibilitat d'aquesta informació i aquestes dades és per tant fonamental i d'aquí la importància que siguin accessibles i reutilitzables.

### Infraestructura per a la gestió de dades

La gestió de les dades de campanyes oceanogràfiques requereix d'una infraestructura per-

durable en el temps (i per tant no dependent de projectes d'investigació) sustentada per un treball constant de personal tècnic. L'objectiu final d'aquesta infraestructura és donar accés a la informació relativa a les dades adquirides en campanyes realitzades en vaixells oceanogràfics i a la màxima quantitat possible de dades de forma oberta i interoperable, seguint els principis FAIR (Findable, Accesible, Interoperable y Reusable) (Wilkinson *et al.* 2016, Galiana *et al.* 2022).

Un element bàsic d'una infraestructura de dades de campanyes oceanogràfiques és l'ús de metadades per descriure en detall la naturalesa de les dades i donar informació sobre la seva adquisició: qui les ha adquirit, com, on, quan, qui les custodia, etc. Les metadades faciliten la indexació i recerca de conjunts de dades a través de Catàlegs (figura 1), component fonamental

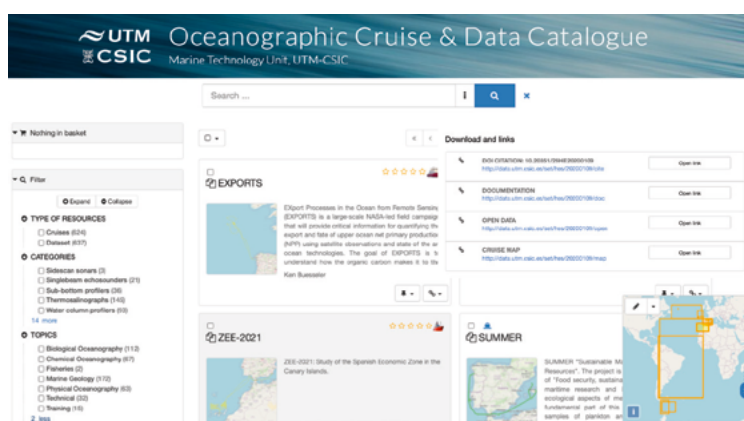


Figura 1. Catàleg de campanyes i dades oceanogràfiques del Centre de Dades de la Unitat de Tecnologia Marina, <http://data.utm.csic.es>

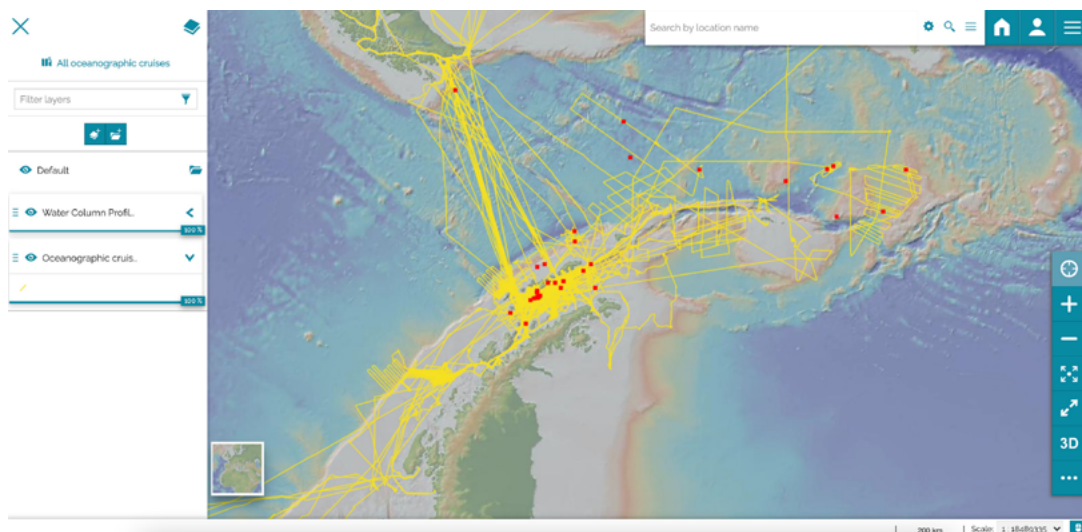


Figura 2. Geoportal del Centre de Dades de la UTM, <http://data.utm.csic.es/geoportal>

d'una Infraestructura de Dades Espacials (IDE). Els Cruise Summary Report (CSR) i els Common Data Index (CDI) són els fitxers de metadades de les campanyes i de les dades adquirides, respectivament, que segueixen els estàndards de la infraestructura europea de dades marines SeaDataNet (Pecci *et al.* 2020) i compleixen INSPIRE.

Un altre element clau que permet descobrir, visualitzar i accedir a dades i serveis espacials [com Web Map Service (WMS), Web Feature Service (WFS) i Web Coverage Service (WCS)] és el Geoportal (figura 2), portal web que utilitza la navegació a través d'un mapa. Els usuaris hi poden afegir les seves pròpies dades i crear els seus propis mapes. La consulta i els resultats de la recerca idealment estan vinculats al catàleg de metadades.

El desenvolupament d'eines i aplicacions de visualització, de control de qualitat i de transformació de dades a formats estàndard és igualment important, de manera que es disposin de dades interoperables.

La custòdia de totes les dades i l'accés en cas de dades obertes es realitza mitjançant repositoris de dades. Les dades de campanyes oceanogràfiques adquirides en el marc de projectes finançats amb el Pla Estatal d'Investigació són de caràcter restringit mitjançant un període d'embarcament, per part de l'investigador principal,

de dos anys després de la finalització del projecte al que està associada la campanya (Resolució convocatòria «Projectes R+D+I» 2020). Després d'aquest període, les dades passen a ser de caràcter obert i són accessibles a través de les infraestructures de dades com la del Centre de Dades de la Unitat de Tecnologia Marina (UTM)

Per oferir una manera eficient de facilitar la citació dels conjunts de dades d'una campanya oceanogràfica, la forma més estesa que s'està imposant en aquest camp és emprar el sistema Digital Object Identifier (DOI) (International DOI Foundation): un identificador i una URL permanent, que permet localitzar un recurs sense que canviï aquesta direcció amb el pas del temps encara que aquest sigui reubicat en una aplicació o domini diferent. La UTM genera DOIs per als conjunts de dades de cada campanya oceanogràfica a través de la membresia del CSIC a DataCite, una de les principals agències de registre.

La col·laboració i participació en diferents infraestructures són necessàries per tal de disseminar també a nivell internacional les metadades i dades de campanyes oceanogràfiques.

SeaDataNet és una infraestructura paneuropea distribuïda i estandarditzada per administrar els conjunts de dades recopilades per les flotes oceanogràfiques i els sistemes d'observació automàtica. SeaDataNet connecta centres de dades

—com el de la UTM— de més de 30 països, amb l'objectiu de preservar i poder reutilitzar dades marines de diferents àmbits.

## Reptes en la gestió de dades de campanyes oceanogràfiques

Els reptes en la gestió de les dades de vaixells oceanogràfics passen en primer lloc per la incorporació progressiva de totes les dades històriques, que implica un esforç important d'harmonització, control de qualitat i generació o revisió de metadades. En segon lloc, és primordial l'aportació constant de noves dades i metadades derivades de la realització de noves campanyes oceanogràfiques. I un tercer repte, marcat per la normativa europea sobre dades obertes i reutilització de la informació del sector públic (Directiva (UE) 2019/1024), és donar accés a la màxima quantitat possible de dades, ja siguin dades no restringides o dades i productes derivats que la comunitat científica de forma voluntària decideixi publicar en obert.

Per a la consecució d'aquests reptes cal unir esforços amb organismes afins perquè, d'aquesta manera, la gestió de dades es constitueixi com un recurs essencial per a l'oceanografia espanyola, europea i internacional amb la finalitat de

disposar d'una informació accessible i útil per a conèixer els oceans.

## Referències

- Directiva (UE) 2019/1024 del Parlamento Europeo y del Consejo de 20 de junio de 2019 relativa a los datos abiertos y la reutilización de la información del sector público (versión refundida), <https://www.boe.es/doue/2019/172/L00056-00079.pdf>
- Galiana S., Quirós L., Berdalet E., *et al.* 2022. De la llibreta al núvol de dades: 70 anys de ciència marina. A: Pelegrí J.L., Gili J.M., Martínez de Albéniz M.V. (eds.), *L'oceà que volem: ciència oceànica inclusiva i transformadora*. Institut de Ciències del Mar, CSIC. Barcelona. pp. 186-189.
- International DOI Foundation. The DOI Handbook. doi:10.1000/186. Available at: <http://www.doi.org/hb.html>
- Pecci L., Fichaut M., Schaap D. 2020. SeaDataNet, an enhanced ocean data infrastructure giving services to scientists and society. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 509.
- Resolución de 11 de noviembre de 2020. Convocatoria «Proyectos I+D+i» 2020 en el marco del Plan Estatal de Investigación Científica y Técnica y de Innovación 2017-2020. [https://www.ciencia.gob.es/stfls/MICINN/Ayudas/PE\\_2017\\_2020/PE\\_Orientada\\_Retos\\_Sociedad/FICHEROS/Proyectos\\_IDI\\_Retos\\_Investigacion/ConvocatoriaPID2020\\_Resolucion20201111.pdf](https://www.ciencia.gob.es/stfls/MICINN/Ayudas/PE_2017_2020/PE_Orientada_Retos_Sociedad/FICHEROS/Proyectos_IDI_Retos_Investigacion/ConvocatoriaPID2020_Resolucion20201111.pdf)
- Wilkinson M., Dumontier M., Aalbersberg I. *et al.* 2016. The FAIR Guiding Principles for scientific data management and stewardship. *Sci Data* 3: 160018.

DOI: <https://doi.org/10.20350/digitalCSIC/14116>

## 6.10. Auscultar el fons oceànic amb cables submarins de telecomunicacions

Arantza Ugalde

L'estudi dels terratrèmols és clau per buscar respostes a qüestions fonamentals sobre la dinàmica i propietats físiques de l'interior de la Terra. Tot i que els sismes poden ocórrer en qualsevol moment i lloc del planeta, les observacions ens han mostrat que la major part de l'energia que alliberen està localitzada en els límits entre les plaques tectòniques. I, en la seva major part, aquests cinturons sísmics estan situats sota el fons oceànic que cobreix el 70% de la superfície terrestre. A més, les xarxes sismològiques que detecten els terratrèmols es troben principalment a terra, la qual cosa dificulta que es pugui obtenir, a partir dels seus registres, una imatge completa de l'interior del planeta. La investigació geofísica marina es duu a terme amb grans vaixells d'investigació encarregats de desplegar sismòmetres de fons oceànic temporals que, juntament amb un nombre limitat d'observatoris submarins permanents, han permès realitzar descobriments significatius sota l'oceà. No obstant això, aquest tipus d'instrumentació és difícil i car d'instal·lar i mantenir, de manera que encara estem molt lluny de disposar de xarxes sísmiques submarines comparables en nombre, densitat i característiques a les existents a terra.

### Els cables de telecomunicacions com a sensors

Les profunditats marines alberguen una extensa xarxa de comunicacions que connecta països i continents a través de cables submarins de més d'un milió de quilòmetres de longitud, i no paren d'augmentar (figura 1). Els cables consten d'un nucli de fibres òptiques que transmeten els senyals de llum i està recobert d'una

sèrie de capes que l'impermeabilitzen i protegeixen en funció de les condicions ambientals. Recentment, ha aparegut una nova tecnologia anomenada Sensor Acústic Distribuït (DAS, de l'anglès *Distributed Acoustic Sensing*) que converteix cada cable en desenes de milers de sensors sísmics (Zhan 2020). Per a això, només cal connectar un interrogador a l'extrem d'una única fibra fosca i emetre polsos de llum a través seu mitjançant un làser.

Les fibres òptiques contenen impureses com a resultat del procés de refredament del vidre durant la seva fabricació. En transmetre un feix de llum a través d'una fibra, aquestes imperfeccions provoquen la dispersió de petites fraccions de llum que es reflecteixen de tornada cap a l'interrogador. Aquest les detecta i identifica com a punts de referència. Quan la fibra es deforma com a resultat de l'arribada de les ones sísmiques, els punts de referència també canvien la seva posició (al voltant d'un nanòmetre per cada metre de cable), modificant així el temps d'arribada de la llum retrodispersada a l'interrogador. D'aquesta manera, és possible mesurar les deformacions relatives al llarg de molts quilòmetres de cable de fibra òptica de forma molt precisa.

### Una revolució submarina

La tecnologia DAS té un enorme potencial per a la monitorització de regions submarines remotes o inaccessibles. Pel que fa a les xarxes sísmiques submarines convencionals, presenta l'avantatge de proporcionar mesures amb una resolució espacial sense precedents (de l'ordre d'uns pocs metres al llarg de diverses desenes de quilòmetres). Es tracta, a més, d'una tecnologia



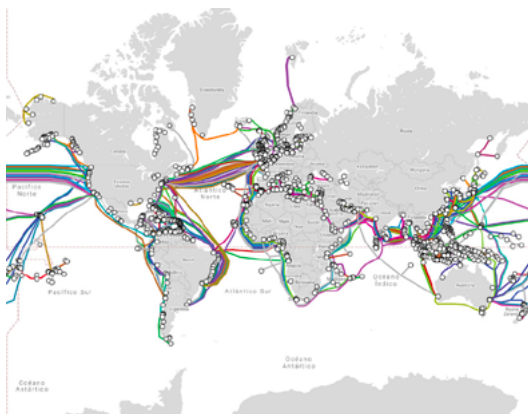


Figura 1. Mapa dels principals sistemes de cables submarins de telecomunicacions i estacions terrestres (cercles blancs). Font: TeleGeography (<https://www.submarinecablemap.com/>, data de consulta: 02.06.2021).

de detecció remota i, per tant, no intrusiva. Així mateix, en utilitzar infraestructures de telecomunicacions ja existents, és molt econòmica.

En 2019, sis anys després de les primeres descripcions sobre l'ús potencial de DAS en el monitoratge sísmic, es va detectar per primera vegada amb aquesta tecnologia un terratrèmol de magnitud 8,2 ocorregut a les illes Fiji, a més de 16.000 km de distància del cable submarí, situat davant de la costa de Bèlgica (Williams *et al.* 2019). Aquest mateix any, es va aconseguir observar un petit terratrèmol de magnitud 1,9 a 100 km de distància d'un altre cable, ubicat al sud-est de França (Sladen *et al.* 2019). Des de llavors, les observacions sísmiques mitjançant cables submarins no han parat d'incrementar-se (figura 2).

A més de terratrèmols, les observacions amb DAS en cables submarins estan mostrant una variada col·lecció de senyals: des de vaixells i grans mamífers marins fins marees i corrents marins, obrint així aquesta tecnologia a tot un oceà de possibilitats.

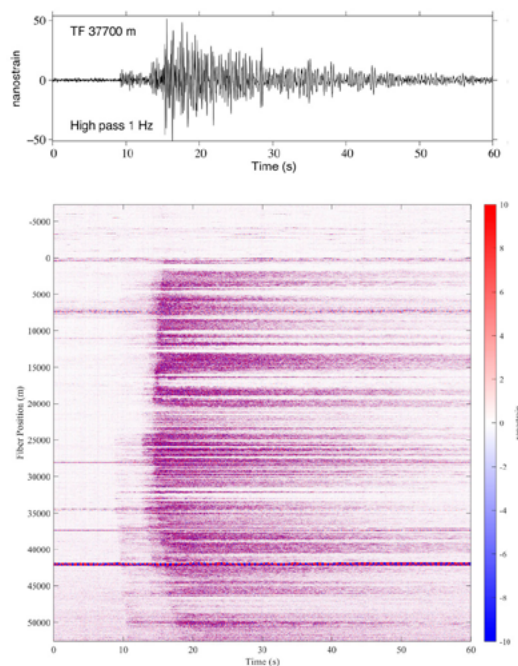


Figura 2. Un minut de registre amb DAS del terratrèmol de magnitud 3,1 ocorregut el 27 de juliol de 2020 a les Illes Canàries. A dalt: observacions en la posició 37,7 km del cable. A baix: observacions al llarg dels 60 km de fibra òptica. La posició 0 de la fibra marca l'entrada del cable a l'oceà. Font: Ugalde *et al.* (2021).

## Referències

- Sladen A., Rivet D., Ampuero J.P., *et al.* 2019. Distributed sensing of earthquakes and ocean-solid Earth interactions on seafloor telecom cables. *Nat. Comm.* 10: 1-8.
- Ugalde A., Becerril C., Villaseñor A., *et al.* 2021. Noise and signals observed using DAS on submarine fibers in the Canary Islands. *Seismol. Res. Lett.* (in press).
- Williams E.F., Fernández-Ruiz M.R., Magalhaes R., *et al.* 2019. Distributed sensing of microseisms and teleseisms with submarine dark fibers. *Nat. Commun.* 10: 1-11.
- Zhan Z. 2020. Distributed acoustic sensing turns fiber-optic cables into sensitive seismic antennas. *Seismol. Res. Lett.* 91: 1-15.

DOI: <https://doi.org/10.20350/digitalCSIC/14117>

## 6.11. Eines de prevenció i post-picades de meduses basades en estratègies de R+D+I

Ainara Ballesteros, Macarena Marambio, Josep-Maria Gili

Els cnidaris, grup animal al qual pertanyen les meduses, posseeixen cèl·lules urticants distintives denominades cnidòcits. Aquestes cèl·lules es distribueixen per tota l'epidermis i són més abundants en els tentacles. Les seves funcions estan relacionades principalment amb la captura de preses i la defensa contra depredadors, però també els permeten la fixació al substrat o la locomoció. Dins del cnidòcit es troba el nematocist, reconegut com la càpsula, que ocupa la majoria de la cèl·lula, on s'emmagatzema el verí juntament amb un túbul enrotllat, a vegades, espinós (figura 1). Davant un estímul químic i/o mecànic detectat pel cnidocil, s'obre l'opercle, iniciant-se el procés de descàrrega del verí docu-

mentat com un dels processos d'exocitosi més ràpids del regne animal (figura 2).

Els cnidòcits estan presents durant tot el cycle de vida de les meduses, des de les petites plànules fins als individus adults. Els cnidòcits es diferencien entre ells per la seva morfologia, característiques del túbul o patró d'espines. Mentre alguns tipus són molt comuns entre espècies, uns altres són característics d'alguns grups de cnidaris.

Encara que en la mar Mediterrània no habitin espècies de meduses amb un verí letal, la seva presència massiva i continuada en les costes genera un impacte socioeconòmic i ambiental negatiu. Les picades de les espècies de meduses

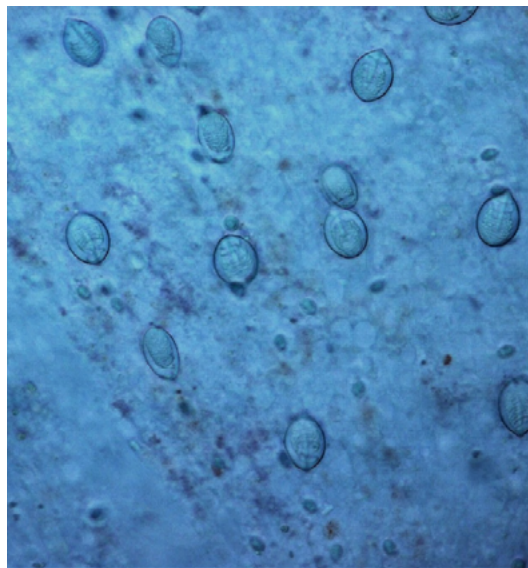


Figura 1. Nematocists identificats a la medusa *Pelagia noctiluca* considerada la més important de la mar Mediterrània. Observi's el túbul enrotllat a l'interior de la càpsula junt al verí.

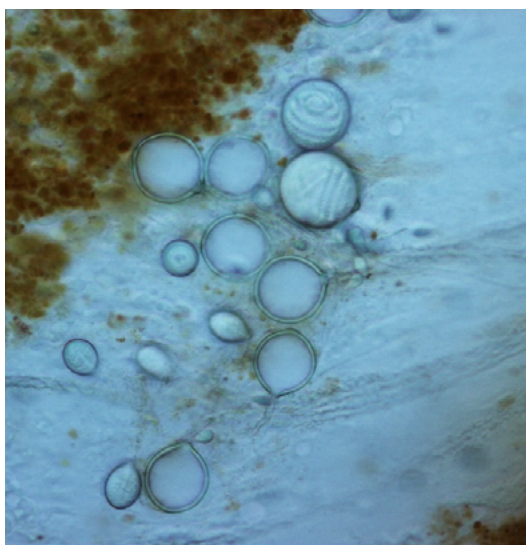


Figura 2. Nematocists de *Pelagia noctiluca* descarregats després de la seva activació. Observi's en els nematocists descarregats com la càpsula està buida a causa de l'expulsió del túbul, que serveix com a conducte per a la inoculació de verí.

més comunes en la mar Mediterrània, com *Pelagia noctiluca* o *Rhizostoma pulmo*, generen reaccions locals com a coïssor, edema, inflor i/o dermatitis, mentre que els símptomes sistèmics són molt poc freqüents. No obstant, la presència ocasional de *Physalia physalis*, pot desencadenar un quadre clínic més greu a causa de la seva alta toxicitat. Encara i així, durant l'època de bany, les picades de meduses representen el major nombre d'assistències totals ateses pels serveis de salvament en platges a Espanya.

### Protocolos de primers auxilis contra picades de meduses

La presència de meduses és cada vegada més freqüent en moltes zones del Mediterrani. Al mateix temps, s'han incrementat les incidències en platges, i són causa d'especial atenció de la comunitat científica, Administració pública i la societat per buscar solucions que minimitzin el problema i evitin una alarma social. A nivell científic, s'han iniciat projectes de recerca conjunts entre biòlogues marines, oceanògrafes i sanitaris, proporcionant a la societat eines de mitigació com la implementació de mesures preventives a nivell de platja i protocols de primers auxilis (Marambio *et al.* 2021).

Després del contacte accidental amb les meduses, pot produir-se l'adhesió en la pell de teixits o cnidòcits residuals. És per això que els protocols de primers auxilis es centren essencialment en l'aplicació de solucions esbandida eficaçes per a eliminar les restes de manera segura sense ocasionar un segon enverinament. Aquest pas, dins dels protocols de primers auxilis, està consensuat per la comunitat científica, no obstant, no existeix acord sobre quina substància és la ideal per a rentar l'àrea de picada. Mentre alguns investigadors apunten a l'ús del vinagre de manera universal (Doyle *et al.* 2017), altres grups de recerca demostren l'activació dels cnidòcits d'algunes espècies després de la seva aplicació alertant de la seva ineficiència (Ballesteros *et al.* 2021). Fins i tot, revisions sistemàtiques recomanen la re-avaluació de les substàncies comunament utilitzades per a la realització de protocols espècie-específic en el cas que siguin necessaris i encoratgen a buscar

nous compostos que sí que puguin ser utilitzats de manera universal.

### Sinergia entre centres de recerca públics i empreses privades

Moltes de les propostes per a solucionar l'impacte de les picades de meduses manquen d'un coneixement rigorós, tant de la biologia de les espècies com de les seves característiques anatòmiques i fisiològiques. La línia de recerca amb meduses que porta més de 20 anys a l'Institut de Ciències del Mar (ICM-CSIC) ha permès tenir uns coneixements sòlids i pluridisciplinaris sobre les diferents espècies de meduses i els seus cnidòcits, impulsant una estratègia de recerca, desenvolupament i innovació (R+D+I). Aquest fet ha sigut el motiu més important perquè les empreses de la indústria farmacèutica i cosmètica valorin positivament la possibilitat de poder desenvolupar projectes de caràcter industrial amb l'ICM-CSIC. Recentment, Projectes de Doctorat Industrial han facilitat la col·laboració entre empreses i centres de recerca, amb el propòsit de la cerca de noves eines preventives i post-picades que permetin mitigar els efectes de les picades de meduses en els usuaris de les platges. L'experiència d'aquests últims anys ens ha demostrat que la recerca bàsica sobre la biologia, fisiologia i ecologia de les espècies són un valor fonamental per a demostrar al teixit empresarial el potencial de realitzar projectes de caràcter aplicat i industrial.

### Referències

- Ballesteros A., Marambio M., Fuentes V., *et al.* 2021. Differing Effects of Vinegar on *Pelagia noctiluca* (Cnidaria: Scyphozoa) and *Carybdea marsupialis* (Cnidaria: Cubozoa) Stings-Implications for First Aid Protocols. *Toxins* 13: 509.
- Doyle T.K., Headlam J.L., Wilcox C.L., MacLoughlin E., Yanagihara A.A., *et al.* 2017. Evaluation of *Cyanea capillata* sting management protocols using ex vivo and in vitro envenomation models. *Toxins* 9: 215.
- Marambio M., Ballesteros A., López-Castillo L., Fuentes V., Gili J.M. 2021. Guía de identificación de medusas y otros organismos gelatinosos. Span. Natl. Res. Council., 44 pp.

DOI: <https://doi.org/10.20350/digitalCSIC/14118>

## 6.12. L'emergència de la *iEcology* i la culturòmica de la conservació per al desenvolupament sostenible dels oceans

Valerio Sbragaglia, Lucía Espasandín Soneira, Jeroen Steenbeek, Karen Soacha Godoy, Jaume Piera, Marta Coll

Els oceans són essencials per a la vida al planeta, però estan seriosament amenaçats pels efectes acumulatius de les pressions antropogèniques, incloses la pèrdua d'hàbitat, el canvi climàtic, les espècies exòtiques invasores, la contaminació i la recol·lecció no sostenible (IPBES 2019). La crisi de la biodiversitat marina en curs i sense precedents pot tenir efectes profunds sobre els serveis ecosistèmics i el benestar humà.

Malgrat els esforços recents, molts aspectes d'aquesta crisi continuen sense resoldre's per diverses raons, incloent-hi: (1) la manca de recursos per recollir la informació ecològica i socioeconòmica necessària; (2) les activitats de control restringides a través del temps i l'espai i (3) pel fet que molts impactes solen produir-se més ràpidament que la nostra capacitat de rastrejar-los i gestionar-los. A més, explorar la dimensió humana de la crisi de la biodiversitat és especialment difícil perquè les ciències socials encara no estan prou integrades en la recerca marina. Com a resultat, sovint ens falta la informació necessària per orientar els gestors a escales de decisió rellevants. És urgent superar aquestes mancances de coneixement i seguiment aprofitant mètodes de recerca i fonts de dades eficaços.

### Un nou enfocament de recerca

Durant l'última dècada, Internet i, en particular, les xarxes socials, s'han convertit en dipòsits importants d'informació cultural, coneixement i interaccions socials, en diversos formats

digitals i en quantitats sense precedents. Això ha afavorit l'aparició de dos nous enfocaments de recerca: la denominada *iEcology* (Jarić *et al.* 2020a) i la culturòmica de conservació (Ladle *et al.* 2016). Tot i que les dues aproximacions de recerca realitzen anàlisis quantitatives de grans volums de dades digitals, la *iEcology* té com a objectiu caracteritzar patrons i processos ecològics (per exemple, ocurrences d'espècies, canvis de rang distributiu; Jarić *et al.* 2020a) a partir de dades digitals que es van generar per a altres propòsits, mentre que la culturòmica de la conservació té com a objectiu caracteritzar i comprendre els problemes contemporanis de la conservació des de la perspectiva de les interaccions entre l'home i la natura (per exemple, actituds dels grups d'interès, comportament humà en el context de l'explotació dels recursos; Ladle *et al.* 2016). S'espera que l'expansió de la *iEcology* i la culturòmica de la conservació de l'àmbit terrestre a l'aquàtic tinguin un paper important en moltes accions de conservació, com ara la gestió d'àrees protegides, la pesca sostenible, les invasions biològiques, l'avaluació de l'estat de l'ecosistema i els impactes socio-econòmics (figura 1; Jarić *et al.* 2020b).

### Integració de *iEcology* i culturòmica de conservació amb ciència ciutadana

Un dels aspectes més interessants i desafiants de la *iEcology* i la culturòmica de la conservació per al desenvolupament sostenible dels oceans



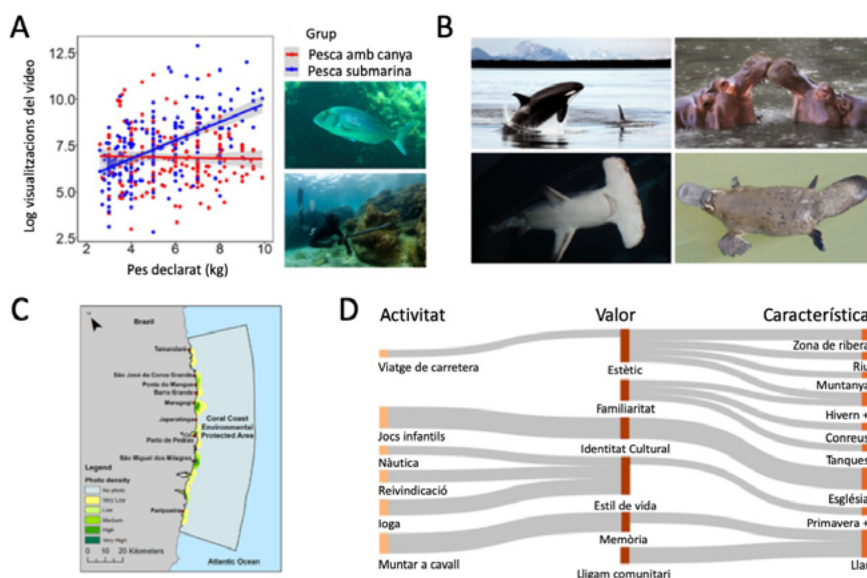


Figura 1. Exemples d'estudis de *iEcology* i culturòmica aquàtica segons Jarić *et al.* (2020b). A, participació social de pescadors submarins i pescadors amb canya dirigits al déntol (*Dentex dentex*), una espècie emblemàtica per a la pesca mediterrània, basat en vídeos publicats a YouTube; foto superior: déntol, foto inferior: pescador submari. B, espècies insignies aquàtiques potencials identificades en funció de la seva popularitat (freqüència relativa de cerca a Internet); es presenten espècies de primer ordre marines (orca, *Orcinus orca* i tauró martell, *Sphyrna mokarran*) i espècies d'aigua dolça (hipopòtam, *Hippopotamus amphibius* i ornitorinc, *Ornithorhynchus anatinus*). C, cartografia de punts d'interès de serveis d'ecosistemes culturals en una àrea marina protegida, basada en fotografies de xarxes socials. D, mapa conceptual de percepció del paisatge, basat en relacions estadístiques entre activitats, valors i característiques codificades a partir d'imatges i subtítols de paisatges a Instagram, de l'àrea de capçalera proposada i posteriorment aprovada de la presa Site C, Peace River, Columbia Britànica, Canadà. Vegeu Jarić *et al.* (2020b) per als estudis originals presentats en aquesta figura. Font: <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.3000935.g001>.

és la integració amb observatoris participatius (plataformes de ciència ciutadana) d'última generació (figura 2). Hi ha dos aspectes principals que fan que aquesta integració sigui urgent. En primer lloc, la ciència ciutadana pot proporcionar coneixements complementaris que poden ajudar a avançar en la comprensió dels processos i patrons de biodiversitat marina (Soacha Godoy *et al.* 2022). En segon lloc, els volums de dades digitals sense precedents i de ràpid creixement ofereixen un gran potencial científic quan s'analitzen amb l'ajut de l'aprenentatge automàtic per filtrar i interpretar contingut digital com ara text, imatges i vídeos (Toivonen *et al.* 2019).

Un pas fonamental perquè l'aprenentatge automàtic funcioni correctament és la producció de biblioteques d'aprenentatge amb supervisió humana. Aquesta tasca pot ser un repte, especialment en el context de les dades massives que provenen de diferents països. En aquest context, l'estandardització, la interoperabilitat i

el treball col·laboratiu dins dels observatoris de ciències ciutadanes poden ser una solució eficaç per afavorir processos de validació. Els serveis tecnològics que contribueixen a augmentar la disponibilitat de dades de ciència ciutadana segons els principis FAIR (troable, accessible, interoperable i reutilitzable per les sigles en anglès *Findability, Accessibility, Interoperability, and Reusability*) (Galiana *et al.* 2022) formen part de l'estratègia que promou el núvol europeu de ciència oberta (<https://eosc-portal.eu/>). Generar dades FAIR també es basa en un compromís i un reconeixement adequats de la comunitat de persones voluntàries i expertes que creen i validen les dades. Per exemple, la identificació d'espècies és un dels àmbits on es poden aplicar aquests enfocaments. El treball col·lectiu d'un gran nombre de voluntaris pot donar lloc a classificacions precises i, en conseqüència, contribuir al desenvolupament de biblioteques de formació eficaços per a l'operacionalització d'al-

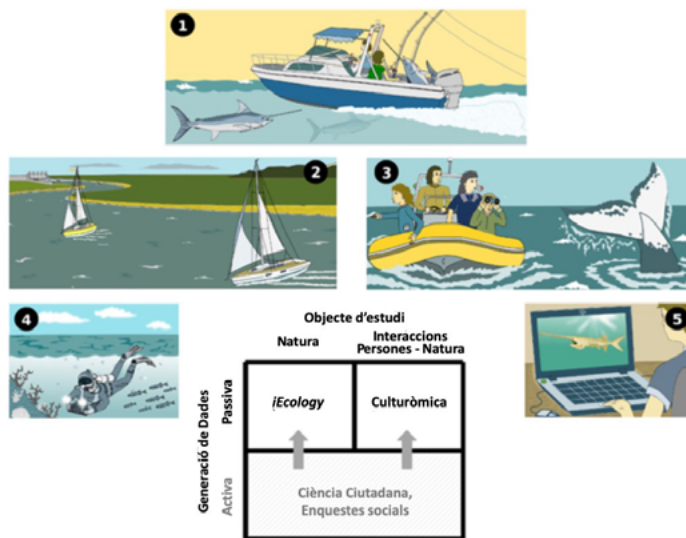


Figura 2. Diagrama conceptual de les diferències clau entre *iEcology*, culturòmica i altres aproximacions relacionades, com ara la ciència ciutadana i l'anàlisi d'enquestes socials segons Jarić *et al.* (2020b). Les diferències es basen en l'objecte d'estudi (interaccions persona-natura o la pròpia naturalesa) i el tipus de generació de dades (passiva o activa). Els conjunts de dades generades amb la ciència ciutadana, les enquestes socials i altres enfocaments també poden representar fonts de dades per a *iEcology* i culturòmica, tal com indiquen les fletxes. Els dibuixos il·lustren algunes aplicacions de la *iEcology* i la culturòmica per a la investigació aquàtica: 1, gestió de la pesca; 2, avaluació de l'impacte social; 3, detecció, cartografia i seguiment d'espècies amenaçades, rares i alienes; 4, estat de l'ecosistema i impactes antròpics; i 5, identificació d'espècies aquàtiques emblemàtiques i paraigües. Font: <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.3000935.s001>.

goritmes d'aprenentatge automàtic en el context de *iEcology* i la culturòmica de la conservació. A més, com que no hi ha estàndards predeterminats per a la moderació i el control de qualitat del contingut d'Internet, l'ús de repositoris de dades oberts revisats per experts, la consulta de les parts interessades, la ciència ciutadana i els algoritmes d'aprenentatge automàtic són enfocaments complementaris al contingut en línia de «revisió paritària». Això inclou la validació, la interpretació, la quantificació i la comprovació de fets i la correcció de biaixos de publicacions als mitjans, per tal de convertir les dades brutes d'Internet en informació quantificable utilitzable per a la seva captació científica.

S'espera que la *iEcology* i la culturòmica de la conservació experimentin un desenvolupament massiu en la propera dècada i que tinguin un paper important en la guia del desenvolupament sostenible dels oceans. La integració funcional amb observatoris digitals de ciència ciutadana pot impulsar i reforçar aquest procés.

## Referències

- Galiana S., Quirós L., Berdalet E., *et al.* 2022. De la llibreta al núvol de dades: 70 anys de ciència marina. A: Pelegrí J.L., Gili J.M., Martínez de Albéniz M.V. (eds.), *L'oceà que volem: ciència oceànica inclusiva i transformadora*. Institut de Ciències del Mar, CSIC. Barcelona. pp. 186-189.
- IPBES. 2019. Summary for policy-makers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. IPBES Secretariat, Bonn.
- Jarić I., Correia R.A., Brook B.W., *et al.* 2020a. *iEcology*: Harnessing large online resources to generate ecological insights. *Trends Ecol. Evol.* 35: 630-639.
- Jarić I., Roll U., Arlinghaus R., *et al.* 2020b. Expanding conservation culturomics and *iEcology* from terrestrial to aquatic realms. *PLoS Biology* 18: e3000935.
- Ladle R.J., Correia R.A., Do Y., *et al.* 2016. Conservation culturomics. *Frontiers Ecol. Environ.* 14: 269-275.
- Soacha Godoy K., Piera J., Liñán S., *et al.* 2022. Contribució de la ciència ciutadana i els sistemes de monitoratge participatiu al coneixement i la conservació dels oceans. A: Pelegrí J.L., Gili J.M., Martínez de Albéniz M.V. (eds.), *L'oceà que volem: ciència oceànica inclusiva i transformadora*. Institut de Ciències del Mar, CSIC. Barcelona. pp. 217-219.
- Toivonen T., Heikinheimo V., Fink C., *et al.* 2019. Social media data for conservation science: A methodological overview. *Biol. Conserv.* 233: 298-315.

DOI: <https://doi.org/10.20350/digitalCSIC/14119>

## 6.13. Contribució de la ciència ciutadana i els sistemes de monitoratge participatiu al coneixement i la conservació dels oceans

Karen Soacha Godoy, Jaume Piera, Sonia Liñán, Carlos Rodero, Xavier Salvador, Raúl Bardají, Valerio Sbragaglia

L'oceà dicta el nostre clima, representa una gran part del nostre subministrament d'aliments, juga un paper essencial en l'ecologia global i acull una gran diversitat de vida i ecosistemes. No obstant això, el nostre coneixement sobre aquest ecosistema és relativament limitat; s'estima que s'ha explorat menys del 5% i, com a resultat, podria haver-hi al voltant d'1 milió d'espècies desconegudes per a la ciència (Ocean Literacy Network 2020). Hi ha una necessitat urgent d'augmentar el nostre coneixement dels oceans a un ritme més ràpid. La ciència ciutadana i els sistemes de monitoratge participatiu són part de les estratègies claus per reduir aquestes esclerxes de coneixement.

La ciència ciutadana és una pràctica col·laborativa de producció de nous coneixements per a la ciència i la societat (Vohland *et al.* 2021). La ciència ciutadana no és una pràctica nova. Tot i que la ciència ciutadana es troba en expansió gràcies a les TICs, no és una pràctica nova. Històricament, comunitats dedicades a la pesca i la navegació han contribuït amb la seva observació i coneixement a l'estudi de la vida marina i la comprensió de l'oceà. En l'actualitat, la col·laboració entre persones científiques i voluntaris per a produir coneixement sobre l'oceà, incloses les platges costaneres i els estuaris, es coneix com a ciència ciutadana marina (MCS per les sigles en anglès).

### Ciència ciutadana marina: context i contribució

Durant dècades, milers de voluntaris han participat en una àmplia gamma d'investigaci-

ons marines, contribuint especialment amb la recopilació de dades, resultant de l'observació de la vida marina, el mostreig d'espècies invasores, el seguiment de variables ambientals com la turbulència de l'aigua i els sediments i la recollida de residus marins. S'estima que actualment es desenvolupen prop de 500 projectes de ciència ciutadana marina a Europa, amb un creixement exponencial des de 1990. Una tendència que es veu reflectida a nivell mundial. En la majoria d'aquests projectes, la participació es dona en l'etapa de recopilació de dades (García-Soto *et al.* 2021). Les visions més col·laboratives en les que s'obre la investigació a la participació pública en més etapes són menys comuns, però extremadament necessàries per a generar un canvi transformador tant en la forma de construir coneixement com en la capacitat d'impactar en els socioecosistemes.

Els projectes de MCS se centren principalment en els entorns oceànics costaners, seguits de prop per les regions de la línia de costa de fàcil accés i poden durar des de pocs dies fins a dècades. Els mètodes més populars per recopilar dades són les enquestes de camp i el report d'observacions oportunistes. També es desenvolupen mètodes nous, com l'aportació per part de bussos de les temperatures de l'oceà registrades en els seus ordinadors de busseig i la instal·lació de sensors en taules de surf que permeten a les i els surfistes recopilar paràmetres de l'oceà en temps real (Earp *et al.* 2020). De la mateixa manera, la innovació tecnològica també ha permès ampliar l'espectre de participació, per exemple, amb sen-

## Les quatre preguntes de la ciència ciutadana marina

Què? Qui? Per què? On?

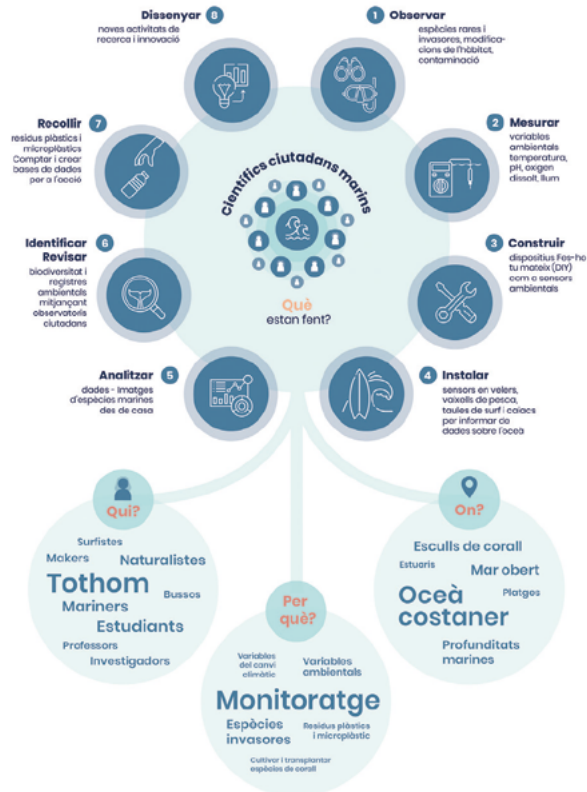


Figura 1. Les quatre preguntes de la ciència ciutadana marina: Què? Qui? Per què? On? L'espectre de participació en la ciència ciutadana marina (MCS) és ampli. Entusiastes i investigadors cada vegada més col·laboren recol·lectant dades, analitzant informació, construint dispositius de monitoratge i fins i tot dissenyant investigacions. Las 4ws de la MCS és una mirada panoràmica a la diversitat de perfils de participants, activitats que es realitzen, tipus de projectes i ecosistemes en què MCS ha vingut contribuint al coneixement de l'oceà. Imatge disponible a: <https://zenodo.org/record/5336311>

sors *Do-It-Yourself* (DIY) com la boia KdUINO, que mesura la transparència de l'aigua o la instrumentació d'embarcacions d'esbarjo per capturar variables oceanogràfiques com el *Patí Científic*. Una altra de les innovacions ha sigut la creació de projectes exclusivament virtuals. Persones de tot el món col·laboren des de casa, analitzant milions d'imatges del fons marí per investigar la distribució d'espècies marines d'importància comercial. A la vegada, visions com *iEcology* i *Culturomics* també utilitzen dades acumulades en fonts digitals generats passiva o involuntàriament per la gent (p. ex. YouTube) per quantificar patrons i processos en el món natural (Sbragaglia *et al.* 2022).

Un dels resultats d'aquesta participació ha sigut la contribució amb dades per a generar publicacions científiques. Un exemple d'això és la investigació d'Earp *et al.* (2020) en la qual es van identificar 44 projectes que havien contribuït amb dades a almenys 1483 articles de revistes revisats per parells. Una altra aportació a destacar és la documentació de la vida marina a través de les guies participatives de biodiversitat; alguns exemples són la guia *Seasearch* d'ascidis i esponges de Gran Bretanya i Irlanda i la recent Guia Marina Participativa del Barcelonès. En referència a les polítiques i gestió ambiental marina, que sovint requereixen d'evidències recolzades en grans bases de dades, la ciència ciutadana té un gran



potencial com a font eficient d'informació. Per exemple, al Regne Unit, el conjunt de dades de *Seasearch* que es remunta al 1984 ha contribuït a la designació de 38 zones de conservació marina i varies àrees marines protegides (Earp *et al.* 2020). El canvi climàtic ha estat una altra àrea en la qual MCS ha contribuït. La contribució al mostreig de variables associades al canvi climàtic és una altra àrea amb gran potencial, exemple d'això és el projecte de Biodiversitat Marina i Canvi Climàtic (MarClim) que proporciona contínuament dades per a detectar els canvis en la distribució geogràfica de les espècies i facilita assessorament per a la formulació de polítiques.

### Ciència ciutadana marina: reptes i oportunitats

La qualitat de les dades i el compromís a llarg termini de les i els participants es troben entre els reptes més comuns que enfronten els projectes de ciència ciutadana. En el cas de les dades, aquestes encara no estan plenament reconegudes per la comunitat científica, encara que la seva qualitat sigui comparable amb la d'investigacions científiques sense participació pública (Martin *et al.* 2016). Els sistemes marins també plantegen els seus propis desafiaments únics a l'hora de fer ciència ciutadana: la dificultat en l'accés a l'oceà els fa menys fàcils de seguir que un hàbitat terrestre, depenent del tipus de projecte i la logística implica l'ús de embarcacions i altres equips específics, i en alguns casos certes habilitats prèvies com és el de les activitats de busseig.

Superar aquests desafiaments requereix facilitar la participació des del disseny del projecte de ciència ciutadana. Per exemple, prioritzar l'observació en les àrees costaneres accessibles, centrant-se en espècies de mamífers, aus o altres costaneres, que es puguin observar amb més facilitat. Implementar estratègies que considerin el factor social, com les xarxes de participants (és a dir, xarxes de familiars, amics, etc.) també pot contribuir a augmentar la participació a llarg termini (Martin *et al.* 2016). Pel que fa a la qualitat de les dades, és important incrementar la utilització d'estàndards dins la comunitat de ciència ciutadana i promoure la interoperabilitat

entre plataformes d'observació. És necessari facilitar i promoure la publicació de dades obertes seguint els principis del *FAIR data*. Per a donar robustesa a la gestió d'aquestes dades és clau enfortir les infraestructures tecnològiques que aguanten la ciència ciutadana conegudes com observatoris participatius. Una forma de disminuir els buits de coneixement i augmentar la participació és enfortir la validació col·laborativa de les dades en aquests observatoris.

En conclusió, la ciència ciutadana marina té un gran potencial per reduir les mancances de coneixement sobre els oceans i contribuir a la conservació i gestió dels ecosistemes marins. La seva capacitat per generar informació en múltiples escales espacials i temporals, involucrar activament a una comunitat diversa i augmentar el coneixement dels oceans el converteix en un pilar per aconseguir un oceà sostenible.

### Referències

- Earp H.S., Liconti A. 2020. Science for the Future: The Use of Citizen Science in Marine Research and Conservation. In: Jungblut S., Liebich V., Bode-Dalby M. (eds), *YOUMARES 9-The Oceans: Our Research, Our Future*, Proceedings of the 2018 conference for YOUnG MARine REsearcher in Oldenburg, Germany, pp. 1-19. Springer International Publishing.
- García-Soto C., Seys J.J.C., Zielinski O., *et al.* 2021. Marine Citizen Science: Current state in Europe and new technological developments. *Frontiers Mar. Sci.* 8: 621472.
- Martin V.Y., Christidis L., Lloyd D.J., Pecl G. 2016. Understanding drivers, barriers and information sources for public participation in marine citizen science. *J. Sci. Commun.* 15(2): A02.
- Ocean Literacy Network. 2020. *Ocean Literacy: The Essential Principles and Fundamental Concepts of Ocean Sciences for Learners of All Ages Version 3*. Washington, DC: National Oceanic and Atmospheric Administration. Accessible a: <https://oceanliteracy.unesco.org>
- Sbragaglia V., Espasandín Soneira L., Steenbeek J., *et al.* 2022. L'emergència de la *iEcology* i la culturòmica de la conservació per al desenvolupament sostenible dels oceans. A: Pelegrí J.L., Gili J.M., Martínez de Albeniz M.V. (eds.), *L'oceà que volem: ciència oceànica inclusiva i transformadora*. Institut de Ciències del Mar, CSIC. Barcelona. pp. 214-216.
- Vohland K., Land-zandstra A., Ceccaroni L., Lemmens R., *et al.* (eds). 2021. *The Science of Citizen Science*. Springer International Publishing.

DOI: <https://doi.org/10.20350/digitalCSIC/14120>







# 7. Oceà inspirador i estimulante

Pedro Cermeño, Vanessa Balagué, Carine Simon

La paraula oceà prové d'Oceanus (grec: *Ókeanós*), el major dels Titans en la mitologia grega clàssica, on es creia que Oceanus era la personificació divina d'un riu gegantesc que envoltava el món. La història de la humanitat està plena de deïtats mitològiques relacionades amb l'aigua, déus de l'oceà i dels rius creats per civilitzacions antigues per a representar les fortaleses de la naturalesa i de les diferents facetes humanes. Durant mil·lennis, els oceans han estat una poderosa font d'inspiració per a filòsofs, artistes i comerciants, des dels grecs i romans fins als intrèpids mariners de l'edat mitjana. Avui dia, els oceans continuen sent font d'inspiració i curiositat alimentada pels avanços científics i la conscienciació social adquirida en els últims temps.

En aquest capítol «Oceà inspirador i estimulante», els autors aprofundeixen en la nostra relació lògica, però també artística i espiritual amb els oceans, com hem d'interactuar amb els oceans per a ser part d'ells, no els seus propietaris, com transmetre saviesa i passió pels oceans, com protegir-los i, finalment, posant el focus en el futur, adonar-nos que necessitem als oceans molt més del que ells ens necessiten a nosaltres.

La dècada de 2020, Dècada de les Ciències Oceàniques per al Desenvolupament Sostenible, ha de ser el punt de partida per a impulsar un canvi sobre la forma en què els humans ens relacionem amb els oceans. Hem d'adonar-nos que molts dels recursos vius i no vius que ens proporciona l'oceà són finits, que els oceans representen un embornal crucial del diòxid de carboni atmosfèric i altres gasos d'efecte d'hivernacle, o que els corrents oceànics actuen com una cinta transportadora de calor des de l'equador cap als pols, ajudant a fer de la Terra un planeta habitable.

La història dels oceans és la història de la vida. Com Gaia, la mare d'Oceanus per als antics grecs, hem d'aprendre a viure en harmonia amb els oceans. Ells ens van donar la vida de la mateixa manera que Gaia la va donar als oceans.

## 7.1. Una oportunitat per a un desenvolupament harmònic amb la natura

Josep L. Pelegrí

Al gener de 2021 va començar el Decenni de les Ciències Oceàniques per al Desenvolupament Sostenible, proclamat per les Nacions Unides i coordinada per la Comissió Oceanogràfica Intergovernamental. Aquesta Dècada dels Oceans, que s'estendrà fins a finals del 2030, té com a objectiu central promoure una gestió de les costes i els oceans basada en el coneixement científic, que faci dels oceans saludables un dels pilars per al progrés de tota la humanitat.

Sota el lema *la ciència que necessitem per a l'oceà que volem*, la Dècada dels Oceans parteix de la premissa que les ciències oceàniques han d'impulsar l'Agenda 2030 del Desenvolupament Sostenible. Això només serà possible mitjançant un procés reflexiu, inclusiu i transformador: que sorgeixi del coneixement científic i incorpori la participació d'organitzacions governamentals i civils, amb un abast transformador cap a tota la comunitat internacional i el propi planeta.

En aquest assaig, començaré recordant el rol principal dels oceans com a artífexs de la vida planetària i les possibilitats que l'oceà ens brinda com a font de recursos sostenibles. Acabaré reflexionant, des d'una perspectiva naturalista, sobre els principis de justícia social i evolució individual i col·lectiva que subjeuen en el concepte de desenvolupament sostenible.

### Els oceans: el nostre major recurs compartit

Els oceans regulen la vida del nostre planeta, tant la de cadascuna de les seves espècies, inclosa la humana, com la del propi planeta viu (Pelegrí 2021). El 97% de l'aigua en la superfície del planeta, que és la base de la vida, es troba en

els oceans. L'excés d'evaporació oceànica aporta el 34% de l'aigua que precipita sobre els continents, mantenint per tant la vida dels ecosistemes terrestres.

Els oceans també són els principals artífexs de la complexitat i resiliència del nostre planeta. Són els grans repositoris de l'energia solar i, juntament amb l'atmosfera, la distribueixen entre diferents regions. També acumulen la major part dels nutrients i minerals que, a escales que van de segons a mil·lennis, conformen el cicle de la vida, i són els principals reguladors dels gasos de tipus hivernacle que determinen les variacions naturals del nostre clima.

Els oceans són, a més, els grans connectors planetaris, amb el mateix rol de distribució de propietats que té el sistema circulatori de qualsevol ésser viu (Pelegrí 2008). Mantenen, a nivell global, un procés continu de producció primària i remineralització de matèria orgànica. Es tracta d'un cicle que es reinicia cada any i que permet un funcionament homeostàtic optimitzat que només requereix energia solar (Pelegrí 2019).

La resiliència dels oceans els converteix també en els grans reguladors de l'impacte antròpic planetari, que inclou tant el canvi global com el canvi climàtic. Per canvi global entenem els múltiples desajustaments que experimenta la naturalesa, des de l'escala local a la planetària, com a resultat de la contaminació, la degradació dels ecosistemes i la sobreexplotació dels recursos naturals.

Per canvi climàtic d'origen antròpic concebem essencialment l'augment de la temperatura del planeta causat per l'emissió de gasos amb efecte d'hivernacle, que resulta sobretot de la utilització de combustibles fòssils. Aquest incre-



ment de temperatura ve acompanyat de canvis de patrons climàtics, la pujada del nivell del mar i una major freqüència d'esdeveniments meteorològics extrems.

## Economia blava: marítima i sostenible

Canvi global i canvi climàtic són les dues cares d'una mateixa moneda: l'impacte antròpic planetari que s'acarnissa amb els col·lectius més vulnerables. A la desigualtat en l'accés a uns nivells bàsics de benestar, molt evident entre diferents comunitats i regions, se li suma la diferent capacitat per a desenvolupar mesures pal·liatives enfront de l'impacte antròpic.

Tot això contrasta amb la visió de l'oceà com un bé comú. L'oceà no només proporciona els seus essencials serveis ecosistèmics a tot el planeta, també és la major riquesa compartida de tota la humanitat, per això l'anomenem l'economia blava (UN 2021). Una economia que no només és un espai físic de recursos minerals i possibilitats logístiques al servei de totes les persones, és sobretot una nova manera de pensar i actuar amb la naturalesa.

Aquests recursos perdurables són la pesca sostenible i l'aqüicultura responsable, les energies renovables marines i eòliques, l'aigua potable, els recursos marins d'origen animal o vegetal, i la biotecnologia i recursos genètics (figura 1).

Inclouen també les activitats que giren al voltant de l'entorn costaner i marí, des del turisme ecològic fins al comerç de proximitat. A aquest patrimoni comú se li sumen els beneficis culturals, estètics i de salut física i emocional que proporciona un entorn natural sostenible. Tot això representa una oportunitat inigualable perquè un sens fi de recursos sostenibles estigui a l'abast de totes les persones, comunitats i nacions.

## Des-envolupar en harmonia

El concepte de desenvolupament sostenible sovint va associat a la idea de «ús» dels sistemes naturals per al benestar de la humanitat. El terme «sostenible» pressuposa una condició necessària: la forma d'utilització no ha d'alterar l'estabilitat temporal del sistema. Però és aquesta condició suficient? És la perspectiva utilitària del planeta coherent amb la sostenibilitat?

Des d'un punt de vista naturalista, la salut de qualsevol organisme no és possible sense el desenvolupament harmònic d'aquest organisme amb el seu ecosistema. Per tant, aplicat a la nostra relació amb el planeta, el concepte «ús» hauria de donar pas a la idea de «ser part». Això sorgeix del propi significat etimològic de l'expressió «desenvolupament sostenible».

Desenvolupament ve de desenvolupar, extreure alguna cosa que es guarda dins (en



Figura 1. La pesca representa el 17% de la proteïna consumida a nivell global i excedeix el 50% en molts dels països menys desenvolupats. Azwari Nugraha, proporcionada per l'autor.

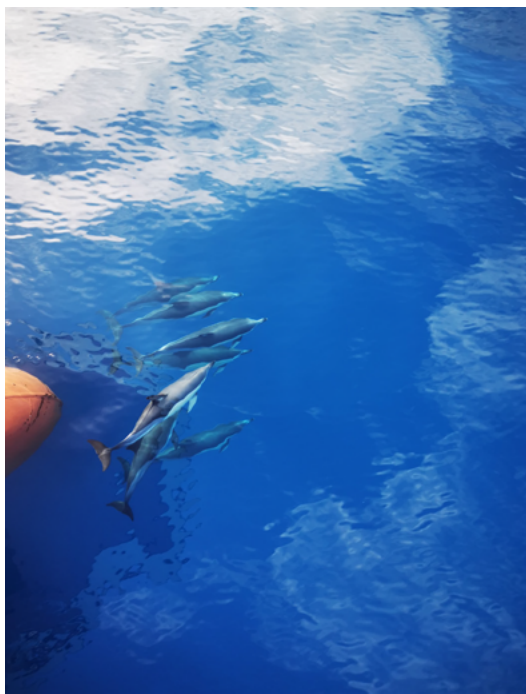


Figura 2. Un grup de dofins lliscant-se plàcidament enfront del V/O Sarmiento de Gamboa en aigües de l'aflorament del nord-oest africà. Anna Olivé, proporcionada per l'autora.

anglès *develop* també ve del francès *développer*: *des-envelopper*). Per tant, el desenvolupament ha de comportar necessàriament un creixement interior, l'evolució d'una potencialitat ja existent o latent.

Sostenible, d'altra banda, no ha de comportar la idea d'un estat permanent i immutable sinó més aviat el d'una evolució dinàmica i harmònica. Es tracta de mantenir des de la base (sostenible: *subs-tenere*) un sistema homeostàtic i resilient, organitzat amb un mínim d'entropia, que evoluciona cap a una major complexitat.

La naturalesa, amb els oceans com el seu component principal i essencial, emergeix com el millor exemple de desenvolupament sostenible. El nostre repte com a espècie és formar part d'aquest desenvolupament harmònic planetari. L'espècie humana pot aconseguir la seva màxima evolució si s'orienta cap a la intel·ligència vital del nostre planeta viu (Pigem 2017). Escoltar i

aprendre de la naturalesa, formar part d'ella en lloc de posseir-la. La nostra individualitat no ha de separar-nos de les nostres comunitats i les nostres comunitats no han de separar-se del planeta. Les nostres diferències no ens porten a competir, al contrari, ens complementen i aporten a la intel·ligència, complexitat i resiliència planetària.

Els objectius del desenvolupament sostenible no han de basar-se en l'ús utilitari de la naturalesa, ni tan sols si es tracta d'un ús sostenible. L'enfocament ha de ser formar part de la naturalesa en lloc de posseir-la (figura 2). Aquests objectius de desenvolupament són una oportunitat perquè tota la humanitat, sense excepció, assoleixi uns drets bàsics de benestar social, una cosa perfectament possible amb els recursos planetaris. Encara més, els objectius han d'impulsar-nos cap a una nova fase en la nostra evolució com a espècie, cap a un creixement interior –individual i col·lectiu– en harmonia amb la naturalesa.

Aquest assaig és l'adaptació d'un article publicat en *The Conversation* el 7 de juny de 2021 sota el títol «No podrem aconseguir un desenvolupament sostenible amb uns oceans malalts» (<https://theconversation.com/no-podremos-alcanzar-un-desarrollo-sostenible-con-unos-oceanos-enfermos-161139>).

## Referències

- Pelegrí J.L. 2008. A physiological approach to oceanic processes and glacial-interglacial changes in atmospheric CO<sub>2</sub>. *Sci. Mar.* 72: 185-202.
- Pelegrí J.L. 2019. Corrents i ecosistemes oceànics com a subsistemes d'un organisme planetari. *Treballs de la Societat Catalana de Biologia*, 69, 41-48.
- Pelegrí J.L. 2021. La humanidad está alterando los océanos, principales reguladores del cambio climático. *The Conversation*, 21 enero 2021. <https://theconversation.com/la-humanidad-esta-alterando-los-oceanos-principales-reguladores-del-cambio-climatico-150241>
- Pigem J. 2017. *Inteligencia Vital. Una Visión Postmaterialista de la Vida y la Conciencia*. Editorial Kairós, 192 pp.
- UN. 2019. *Diving into the blue economy*. United Nations Department of Economic and Social Affairs. <https://www.un.org/development/desa/en/news/sustainable/blue-economy.html>

DOI: <https://doi.org/10.20350/digitalCSIC/14122>

## 7.2. *Mission Starfish 2030*: una ciència integradora i engrescadora per recuperar els nostres oceans i rius en el marc de l'*Horizon Europe*

Sònia Sagristà, Elena Torrecilla

La Dècada de la Ciència Oceànica per al Desenvolupament Sostenible impulsada per les Nacions Unides arriba com un revulsiu per als nostres oceans i marcarà un punt d'inflexió per a la recerca marina (Salvo 2022). En aquest sentit, no és casualitat que el principal programa de finançament de la recerca i innovació europea –el *Horizon Europe*– hagi escollit els oceans per protagonitzar una de les cinc grans missions científiques per als pròxims set anys (2021-2027). Es tracta de l'anomenada «Missió Estrella de Mar 2030: Recuperem els nostres oceans i rius» (Lamy *et al.* 2020).

Les missions del programa *Horizon Europe* són una nova aproximació per adreçar els grans desafiaments socials als quals la recerca europea vol donar resposta. Amb un enfocament multidisciplinari i una voluntat transformadora, s'aposta per la cerca de solucions a problemàtiques concretes fixant objectius ambiciosos, inspiradors i mesurables en un temps acotat. Les missions europees i els reptes de recerca de l'Institut de Ciències del Mar (ICM) –vida, clima i perills<sup>(1)</sup>– comparteixen una mateixa visió integradora, on és la problemàtica, més que la disciplina de coneixement, el que es converteix en l'eix vertebrador de la recerca.

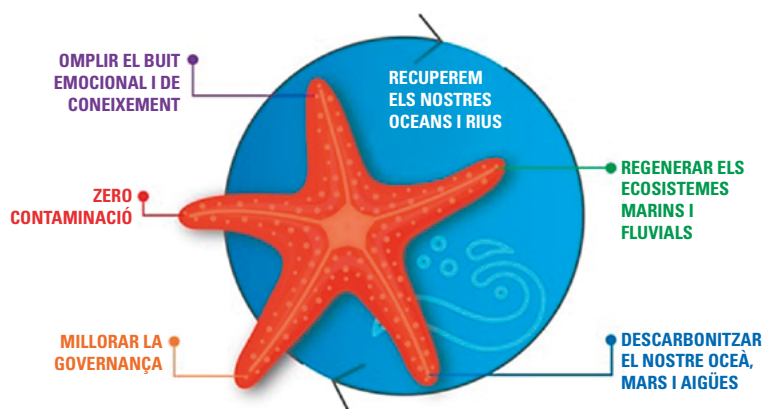
### *Mission Starfish 2030*: cinc objectius o àrees d'actuació

Inspirats per la forma de l'estrella de mar, la *Missió Starfish 2030* persegueix cinc objectius

interdependents: regenerar els ecosistemes, eliminar la contaminació, descarbonitzar els nostres oceans, renovar la governança, i omplir el buit emocional i de coneixement vers els nostres mars i rius. La missió té com a finalitat última garantir l'ús sostenible dels béns i serveis que els oceans i altres masses d'aigua ofereixen. Partint de quatre problemes identificats –canvi climàtic, el caràcter insostenible de la petjada humana, governança inadequada, i la manca de comprensió i connexió amb l'oceà–, la missió proposa els cinc objectius dels quals se'n deriven disset comeses concretes (figura 1).

Tres dels cinc objectius de la *Mission Starfish 2030* s'emmarquen en el terreny de la ciència experimental: regenerar els ecosistemes, eliminar la contaminació i descarbonitzar els nostres oceans. Les primeres accions descrites al Programa de Treball 2021-2022 (European Commission 2021) es centren en aquests tres objectius. Aquestes primeres accions preparatòries estan adreçades a identificar els projectes anomenats «Fars demostradors» (*Lighthouse demonstrators*, en anglès) que, seguint la metàfora, són iniciatives ambicioses que guiaran el desplegament d'un conjunt d'activitats.

A banda d'aquests tres objectius, tanmateix, el gran repte el presenten els altres dos objectius que sorgeixen d'una perspectiva eminentment social. Per una banda, cal reformular la governança de les nostres aigües i, per una altra, omplir el buit de connexió emocional i de coneixement vers els nostres mars i rius. És aquí



Objectiu	Comesa	
Omplir el buit emocional i de coneixement	1	Cada persona europea és ciutadana dels nostres oceans i rius
	2	L'observació marina i fluvial és millorada i es fa accessible a tothom per mitjà d'un doble digital de l'oceà i d'altres masses d'aigua
Regenerar els ecosistemes marins i fluvials	3	El 30 per cent de les aigües europees estan totalment protegides o en alt grau de protecció
	4	Regeneració activa d'un 20 per cent dels hàbitats degradats
	5	Renaturalitzar rius i altres masses d'aigües
	6	Acabar amb la sobrepesca
Zero contaminació	7	Zero deixalles marines (plàstics)
	8	Aturar l'eutrofització dels mars i rius europeus
	9	Cap vessament
	10	Reducció i regulació del soroll submarí
Descarbonitzar el nostre oceà, mars i aigües	11	Transport marí i fluvial climàticament neutre
	12	Suport a la transició energètica mitjançant energia oceànica renovable i de baix impacte
	13	Aqüicultura lliure de carboni
	14	Una pròspera biotecnologia blava
	15	Turisme blau climàticament neutre
Millorar la governança	16	Un sistema europeu de governança per a l'oceà i rius integrat i participatiu
	17	Lideratge europeu efectiu per la governança global de l'oceà

Figura 1. Els cinc objectius i 17 comeses de la Mission Starfish 2030. Font: Lamy *et al.* (2020).

on es troba el gran desafiament, no només per Europa, sinó també per la resta del món. Per renovar la governança de les nostres aigües, la *Mission Starfish 2030* assenyala dues comeses: construir un sistema europeu integrador i participatiu, i que Europa s'erigeixi amb un lideratge efectiu per la governança global de l'oceà. Per tal d'omplir el buit emocional i de coneixement, les dues comeses proposades en el document de

la missió són: en primer lloc, posar a disposició un sistema d'observació marina funcional i accessible per tothom a través de la creació d'una versió o model digital dels oceans (*digital twin*, en terminologia anglesa); i en segon lloc, aconseguir que cada persona europea esdevingui un ciutadà dels nostres mars i rius. Caldrà preguntar-se si aquestes quatre comeses seran suficients per assolir uns objectius tan ambiciosos.



## Un canvi estructural per a assolir una ciència marina integradora i transformadora

Per tal d'assolir els cinc objectius de la *Mission Starfish 2030*, s'assenyala necessari un canvi de base a la nostra societat. És a dir, una transformació estructural que requerirà una inversió econòmica valenta i una societat implicada en la cura dels nostres oceans. La ciutadania i el sector econòmic esdevenen actors cabdals en el futur de la ciència oceànica europea. Un futur, on sens dubte l'Institut de Ciències del Mar també hi jugarà un paper rellevant.

Els tres reptes de recerca de l'ICM –vida, clima i perills–, són el marc de treball idoni per poder contribuir als objectius marcats a la *Mission Starfish 2030* en termes de regenerar els ecosistemes, eliminar la contaminació i descarbonitzar els nostres oceans. De la mateixa manera, els valors institucionals de l'ICM de creativitat, cooperació i compromís social ens permeten abordar de forma natural la col·laboració amb els ens de governança, així com aconseguir una integració fluida de la ciutadania amb la nostra ciència.

El tarannà i expertesa de l'ICM ens posicionen de forma idònia davant les exigències que planteja la ciència marina d'excel·lència i transformadora dels pròxims anys a Europa. Ara bé, cal tenir present el canvi estructural que impliquen aquestes exigències. Es fa essencial una reflexió plena sobre la manera en què la ciència i coneixement que genera l'ICM pot contribuir a promoure una implicació profunda de la societat en la cura dels nostres oceans i en com pot incentivar una inversió valenta per dinamitzar l'economia blava. Si d'aquí a uns anys, en finalitzar l'*Horizon Europe* i la Dècada de la Ciència Oceànica per al Desenvolupament Sostenible, volem poder afirmar que hem construït el futur que ara imaginem pels oceans, no serà suficient haver generat coneixement d'excel·lència

científica. Cal una ciència oceànica integradora i transformadora. La recerca marina per un planeta saludable requereix anar més enllà de les disset comeses que proposa la *Mission Starfish 2030*.

El gran repte tant individual com col·lectiu per tots els que formem part de l'ICM serà haver estat els promotors d'una ciència marina estimuladora i engrescadora, que involucri i generi empatia amb les persones, que potenciï les aliances estratègiques i que es guanyi la confiança del teixit productiu. En els últims anys estem veient un esperit a l'ICM que aposta per una governança més col·lectiva i una gestió més integrada amb la recerca; uns grups de treball d'impacte transversal amb clara orientació a segells de qualitat; i uns comitès d'estratègia, cultura científica marina i de serveis científicotècnics que volen avançar en aquesta direcció. Que la cultura i recerca marina que genera l'ICM per un planeta saludable tingui un paper actiu en la *Mission Starfish 2030* és cosa de tots.

## Referències

- European Commission. Work Programme 2021-2022. Missions. 2021. European Commission Decision C(2021)4200 of 15 June 2021. [https://ec.europa.eu/info/funding-tenders/opportunities/docs/2021-2027/horizon/wp-call/2021-2022/wp-1-general-introduction\\_horizon-2021-2022\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/info/funding-tenders/opportunities/docs/2021-2027/horizon/wp-call/2021-2022/wp-1-general-introduction_horizon-2021-2022_en.pdf)
- Lamy P., Citores A., Deidun A., *et al.* 2020. Mission Starfish 2030: Restore our Ocean and Waters. Publications Office of the European Union, Luxembourg, 88 pp.
- Salvo V.S. 2022. *Ocean Decade*. Un decenni cap a la governança participativa dels oceans. A: Pelegrí J.L., Gili J.M., Martínez de Albéniz M.V. (eds.), *L'oceà que volem: ciència oceànica inclusiva i transformadora*. Institut de Ciències del Mar, CSIC. Barcelona. pp. 228-230.

(1) Els tres reptes de recerca de l'ICM són: Interaccions entre l'Oceà i el Clima (Clima), Conservació i Ús Sostenible de la Vida i els Ecosistemes Marins (Vida), i Comprensió i Mitigació dels Impactes Naturals i Antropogènics (Perills).

DOI: <https://doi.org/10.20350/digitalCSIC/14123>

## 7.3. *Ocean Decade*. Un decenni cap a la governança participativa dels oceans

Vanessa Sarah Salvo

Canvi climàtic, contaminació, trànsit marítim, sobreexplotació dels recursos i la destrucció dels hàbitats són algunes de les pressions que pateix el planeta blau. En 2016 la 1a Avaluació Integrada del Medi Marí a escala Mundial (UN 2016) va evidenciar la urgència de fer front a les amenaces que afecten els oceans convidant a una acció col·lectiva i contundent. En resposta a aquest repte, la Comissió Oceanogràfica Intergovernamental de la UNESCO (COI) (<https://ioc.unesco.org>) va decidir proposar la Dècada dels Oceans. El COI és l'organisme de les Nacions Unides responsable de donar suport a les ciències i els serveis oceànics mundials, tot impulsant les capacitats científiques i institucionals dels 150 Estats membres, amb la finalitat de protegir l'oceà. És a dir, afavorir l'assoliment dels 17 Objectius de Desenvolupament Sostenible de l'Agenda 2030, aconseguir les metes de l'Acord de París sobre el Canvi Climàtic (UNFCCC 2015) i aquelles del Marc de Sendai per a la Reducció del Risc de Desastres (UNISDR 2015). La proposta del COI va quedar registrada com a Resolució núm. XXIX-1<sup>(1)</sup> al juny 2017. Successivament, al desembre del mateix any, durant l'Assemblea General de Nacions Unides es va aprovar oficialment *el Decenni de les Nacions Unides de les Ciències Oceàniques per al Desenvolupament Sostenible 2021-2030* amb el lema «La ciència que necessitem per a l'oceà que volem».

La Dècada pretén brindar una ocasió única per a ajuntar als actors de tot el món, en el marc d'una aliança per les ciències en resposta al declivi dels ecosistemes marins. Per tant, aquesta iniciativa persegueix donar un impuls al coneixement, a la innovació, a les noves

tecnologies, per a crear connexions intercanviant bones pràctiques, educant, formant i fomentant accions transformadores per a la sostenibilitat. Accions que han de definir-se col·lectivament per a identificar accions globals als problemes presents i futurs als quals s'enfronta l'oceà. La participació, col·laboració i co-creació són fonamentals per a conjuminar els coneixements multidisciplinaris necessaris en la cerca de solucions transformadores aplicables i adaptables als àmbits regionals, nacionals i locals.

L'objectiu és passar de l'*oceà que tenim*, afectat per l'acció humana, a l'*oceà que volem*, net i saludable, canvi assolible a través d'un camí col·laboratiu emmarcat en la *ciència que necessitem* (figura 1) que s'articula en tres pilars:

1. Definir els coneixements necessaris per a la sostenibilitat.
2. Generar dades i informació per a la comprensió de l'oceà (components i interaccions).
3. Crear les bases per a l'aprofitament dels coneixements identificats.

Grups d'experts multidisciplinaris i internacionals, que han retroalimentat la preparació de la Dècada, els seus objectius i resultats, van identificar un total de deu desafiaments als quals les ciències hauran d'enfrontar-se per a sostenir les ambicions pròpies de la Dècada. Aquests desafiaments han estat agrupats en àrees:

1. Coneixements i solucions.
2. Infraestructures bàsiques o eines necessàries per a aconseguir els objectius.
3. Fonaments per a garantir la inclusió i el canvi cultural necessari.

Els deu desafiaments no són fixos per a tot el període, poden evolucionar i canviar al llarg de la

Moving from the ocean we have to the ocean we want

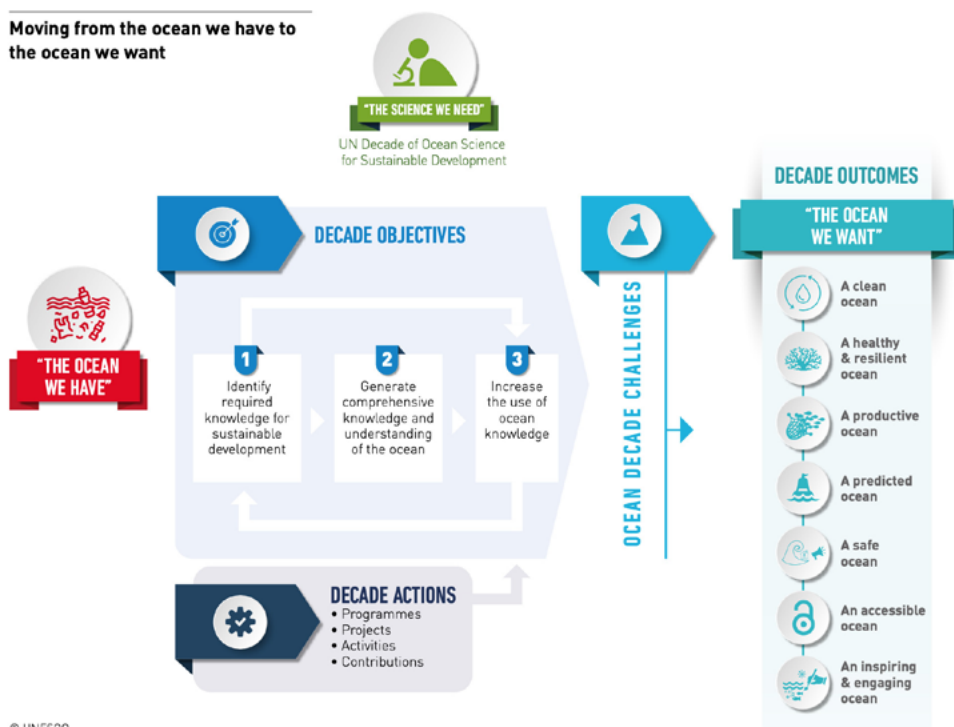


Figura 1. La Dècada de les Ciències Oceàniques.

Taula 1. Els set resultats esperats en la Dècada de les Ciències Oceàniques (COI-UNESCO 2020).

Nº	Resultat	Significat
1	Un oceà net	Es detecten, redueixen o eliminen les fonts de contaminació.
2	Un oceà saludable i resilient	S'entenen, protegeixen, restauen i gestionen els ecosistemes marins.
3	Un oceà productiu	Sustenta el subministrament d'aliments i una economia oceànica sostenible.
4	Un oceà predictable	Les condicions canviants són enteses per la societat, que està capacitada per a respondre-hi.
5	Un oceà segur	La vida i els mitjans de subsistència estan protegits dels perills relacionats amb l'oceà.
6	Un oceà accessible	Accés obert i equitatiu a les dades, la informació, la tecnologia i la innovació.
7	Un oceà inspirador i estimulant	La societat entén i valora la seva relació amb el benestar humà i el desenvolupament sostenible.

Dècada en raó de la capacitat dels actors involucrats a aconseguir els resultats esperats (taula 1).

## El canvi cap a la Cultura Oceànica

La participació, la cooperació i les ciències són les bases per a la planificació i gestió amb la finalitat d'aconseguir els objectius de la Dècada en el 2030. Això implica un canvi cultural en la societat perquè «no es pot estimar el que no es coneix, ni defensar el que no s'estima»<sup>(2)</sup>. És a

dir, són fonamentals la Ocean Literacy (<https://oceanliteracy.unesco.org>), o cultura oceànica, la capacitat en l'economia blava i la innovació, tasques que l'Institut de Ciències del Mar (ICM-CSIC) ve desenvolupant des de fa molts anys (Pelegrí 2022, Salazar *et al.* 2022). L'ICM-CSIC i la Unitat de Tecnologia Marina (UTM-CSIC) han rebut, el 8 de juny de 2021, el suport oficial de COI-UNESCO per al programa OC-NET<sup>(3)</sup> dedicat a les Ciutats Oceàniques i els seus reptes, a través de la col·laboració de

diversos actors, inclosa la ciutadania. Tenim un decenni per a reaprendre a relacionar-nos amb el planeta blau, beneficiant-nos de les seves riqueses i serveis protegint-lo sempre.

## Referències

- IOC-UNESCO. 2020. Decade of Ocean Science for Sustainable Development 2021-2030. Implementation Plan version 2 July 2020. COI-UNESCO. 61 pp.
- Pelegrí J.L. 2022. Una oportunitat per a un desenvolupament harmònic amb la natura. A: Pelegrí J.L., Gili J.M., Martínez de Albéniz M.V. (eds.), *L'oceà que volem: ciència oceànica inclusiva i transformadora*. Institut de Ciències del Mar, CSIC. Barcelona. pp. 222-224.
- Salazar J., Gili J.M., Vendrell B. 2022. Cultura oceànica: Cap a una societat científicament informada i compromesa amb l'oceà. A: Pelegrí J.L., Gili J.M., Martínez de Albéniz M.V. (eds.), *L'oceà que volem: ciència oceànica inclusiva i transformadora*. Institut de Ciències del Mar, CSIC. Barcelona. pp. 236-238.
- UN. 2016. The First Global Integrated Marine Assessment World Ocean Assessment I. 1st cycle of Regular Process for Global Reporting and Assessment of the State of the Marine Environment, including Socioeconomic Aspects. United Nations General Assembly. 1752 pp.
- UNFCCC. 2015. Decision 1/CP.21 Adoption of the Paris Agreement. Framework Convention on Climate Change. Conference of the Parties 21<sup>a</sup> Session Paris (France) 30 November- 13 December 2015. FCCC/CP/2015/10/Add.1. 40 pp.
- UNISDR. 2015. Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030. Adopted in the Third UN World Conference in Sendai (Japan) 18 March 2015. UNISDR/GE/2015 - ICLUX ES 1<sup>a</sup> edition. 40 pp.
- (1) Resolució adoptada per l'Assemblea de la COI en la seva 29a Sessió, París, 21-29 de juny de 2017, el 29 de juny de 2017.
- (2) Frase atribuïda a molts autors, entre ells Leonardo da Vinci.
- (3) <https://www.oceandecade.org/resource/166/Announcement-of-the-results-of-the-first-endorsed-Decade-Actions-following-Call-for-Decade-Actions-No-012020>
- DOI: <https://doi.org/10.20350/digitalCSIC/14124>



## 7.4. Una societat civil compromesa amb el medi marí

Carine Simon, Magda Vila, María Vicioso, Maravillas Abad, Josep L. Pelegrí

Tradicionalment, els centres de recerca han tingut el paper de generadors de coneixement, però no se'ls acostumava a demanar que fessin arribar aquesta informació a la societat civil. Afortunadament, això ha anat canviant i els centres de recerca, cada dia més, assumeixen el compromís de generar un coneixement que sigui transformador. Això és especialment important pels centres d'investigació en ciències marines, que estudien un medi sovint molt allunyat de la realitat quotidiana de gran part de la ciutadania.

Aquest és el cas de l'Institut de Ciències del Mar (ICM), que des de fa vàries dècades es dedica a explicar el comportament i la rellevància de l'entorn marí a la ciutadania, a través de nombrosos projectes culturals i activitats de divulgació i comunicació científica marina. Moltes d'aquestes accions es reflecteixen en la plataforma educativa ICM Divulga, creada l'any 2005 (<http://icmdivulga.icm.csic.es/>). No obstant això, en aquesta tasca de donar a conèixer l'estat i funcionament de l'entorn marí, els centres científics requereixen del compromís i la participació de tota la societat.

L'augment de la cultura científica marina és rellevant en un moment de canvi global i emergència climàtica com el que estem vivint actualment, una situació en la qual es perden hàbitats i biodiversitat a un ritme vertiginós, la contaminació i la sobrepesca són més la norma que l'excepció, les invasions d'espècies exòtiques són freqüents, i s'incrementa la temperatura del planeta a una velocitat alarmant, portant a l'augment del nivell del mar i a un major nombre de tempestes intenses. Davant d'aquesta situació, la ciutadania ha deixat de ser un espectador passiu, ben al contrari, ha començat a convertir-se en l'actor del seu propi canvi.

### Les associacions civils com a instrument envers el canvi

Amb la voluntat de transmetre la importància del patrimoni ambiental marí i per a informar sobre les repercussions que deriven de la seva alteració o pèrdua, durant els darrers anys s'ha multiplicat la resposta ciutadana en forma de petites empreses –des d'aquelles que es fonamenten en la producció i consum sostenible fins a d'altres centrades en l'educació i el coneixement del medi natural– així com mitjançant associacions civils sobre temàtiques relacionades amb el medi marí. L'associació Mar de Ciència (<http://mardeCiencia.org/>), nascuda l'any 2019, n'és un exemple. Mar de Ciència té l'objectiu d'apropar la realitat del medi marí a la societat a través dels principis de sostenibilitat, justícia social i respecte a la natura.

Mar de Ciència no tan sols busca divulgar i comunicar, vol també conscienciar sobre la necessitat que tenim, a escala individual i col·lectiva, de viure en connexió i harmonia amb la natura, i molt especialment amb l'entorn marí, que sovint veiem llunyà i aliè. L'associació sap que la ciència és necessària, però no suficient per assolir aquest repte, cal que la ciutadania es coordini en el desenvolupament, i en l'exigència, d'hàbits de comportament i consum responsables i sostenibles.

L'associació Mar de Ciència no només dona suport i promou la participació de la ciutadania en l'observació de l'entorn marí, sinó que sobretot porta a terme activitats culturals, educatives i de sensibilització. Com altres entitats civils, participa en projectes col·laboratius i obre espais per al debat obert i l'esperit



Figura 1. Graphic recording elaborat per la il·lustradora Clara Tanit durant una activitat divulgativa del projecte de sensibilització mediambiental Operació Mar-Net, Mar-Viu que va incloure una xerrada a càrrec de l'Eva Calvo (ICM-CSIC) i una taula rodona.

crític. En el seu curt recorregut, Mar de Ciència ha impulsat la creació d'un espai de trobada entre les diverses iniciatives i associacions que treballen des del territori per a fomentar el coneixement i el respecte envers l'oceà (Espai Mediterrani: <https://espaimediterrani.org/>). Aquest gran oceà que envolta el nostre planeta és un bé comú, de la mateixa manera que els boscos són un bé compartit entre totes les persones sense distinció de cap mena. Els oceans són probablement el millor exemple de com la justícia social i la natura són elements inseparables.

Mar de Ciència també organitza i participa en jornades divulgatives i de conscienciació, des de conferències, taules rodones, tallers i concursos de fotografia que promouen la reflexió, fins a la neteja de platges (figures 1 i 2). Juntament amb altres entitats civils dona suport a projectes de recerca i ciència ciutadana que tenen com a objectiu final el repensar la nostra relació amb l'entorn costaner i marí. La voluntat de l'associació és apropar i conscienciar a la societat, des d'una perspectiva científica, sobre els problemes ambientals relacionats amb el mar, per tal de fomentar futurs canvis d'actitud.

Com moltes altres iniciatives i associacions ciutadanes, Mar de Ciència s'expressa amb la seva acció diària en el seu entorn local, escoles i barri, i arriba més lluny gràcies a les xarxes socials, especialment mitjançant una web que vol donar veu al litoral català, amb articles que ens facin reflexionar, per exemple, sobre l'ús urbanístic desmesurat del litoral i els problemes ambientals que això comporta.

## La tasca cabdal de la societat civil

Les associacions civils som aquí per impulsar aquesta massa crítica necessària per al canvi. Una de les vies més clares d'acció consisteix a combinar coneixement (ciència) i sentits (art) per poder arribar a desenvolupar una noció de pertinença amb el nostre entorn natural. L'èxit serà possible compartint vivències i sensacions, que portin a la reflexió i interiorització dels estralls a causa del canvi global i l'emergència climàtica. Això implica, entre altres coses, compartir experiències diàries sobre la societat en la qual vivim i reflexionar sobre la que desitgem. Tot això va des del sosteniment del comerç de proximitat fins a conèixer millor quines són



Figura 2. Neteja de la platja del 12 de novembre de 2018 organitzada per l'associació *ICM Young Researchers* en col·laboració amb l'associació *Mar de Ciència*, a l'esquerra. Activitats amb infants barrejant coneixement i emoció, a la dreta.

les empreses que tenen polítiques justes envers les persones i el medi ambient, així com saber quines accions podem fer els ciutadans per mitigar l'impacte que té el canvi global sobre l'oceà.

La Dècada de la Ciència Oceànica per al Desenvolupament Sostenible (Salvo 2022) posa l'èmfasi en el fet que la transformació envers la sostenibilitat només serà possible amb la participació compromesa de la societat. Però és una transformació que mai ha de ser imposada, tot al contrari, ha de sorgir de la voluntat i el convenciment de que és un canvi necessari i possible. Quan una part suficientment important de la nostra societat ho accepti i actuï en conseqüència per aconseguir-ho, el camí ja serà clar, la inèrcia del canvi creixerà com una gran onada que es tornarà imparable. Aquesta combinació necessària de coneixement amb emoció, aquest complex binomi de ment i sentits, correspon a la societat civil (Balagué *et al.* 2022).

Les associacions civils estan cridades a ser un element clau per a fomentar el compromís i l'empoderament de totes les persones, de manera individual i col·lectiva, envers una societat més justa i en harmonia amb la natura.

## Referències

- Balagué V., Rierola A., Vicioso M. 2022. Rigorositat artística i creativitat científica. A: Pelegrí J.L., Gili J.M., Martínez de Albéniz M.V. (eds.), *L'oceà que volem: ciència oceànica inclusiva i transformadora*. Institut de Ciències del Mar, CSIC. Barcelona. pp. 245-247.
- Ocean Decade. 2021. United Nations Decade of Ocean Science for Sustainable Development. <https://www.oceandecade.org/>
- Salvo V.S. 2022. *Ocean Decade*. Un decenni cap a la governança participativa dels oceans. A: Pelegrí J.L., Gili J.M., Martínez de Albéniz M.V. (eds.), *L'oceà que volem: ciència oceànica inclusiva i transformadora*. Institut de Ciències del Mar, CSIC. Barcelona. pp. 228-230.

DOI: <https://doi.org/10.20350/digitalCSIC/14125>

## 7.5. El cor blau de la Terra: conèixer-lo per protegir-lo

Elena Martínez Batalla, María Vicioso

Existeix una relació directament proporcional entre el grau de desconeixement i el d'actuació de la societat a l'hora d'enfrontar-se a un problema. En el cas dels problemes ambientals, sovint la seva magnitud fa que, en comptes d'actuar, els ciutadans adoptin una actitud passiva i es quedin asseguts al sofà esperant que altres trobin una solució a allò que està passant i, creuen, els queda massa gran. Això passa, sobretot, quan el desastre queda lluny, si bé en el cas de l'oceà, les amenaces són malauradament globals.

Els ecosistemes marins produeixen una gran quantitat d'oxigen, són el reservori més gran de diòxid de carboni de la naturalesa i ofereixen refugi a una gran quantitat d'espècies, inclosa la humana. L'oceà ens proporciona recursos alimentaris, un lloc per viure —prop del 40% de la població mundial habita en zones costaneres— i actua com el nostre major aliat en la lluita contra el canvi climàtic ja que regula el clima que permet la vida a la Terra tal com la coneixem. Tanmateix, el desconeixement de l'espècie humana l'ha portada a posar els seus interessos per sobre dels d'aquests ecosistemes, i així ho demostra el fet que en sapiguem més de la Lluna i de Mart que del que els especialistes diuen que és el sistema que ens manté vius: l'oceà global.

«Un món sense l'oceà és un món sense nosaltres», ha expressat en alguna ocasió l'oceanògrafa Sylvia Earle, que va renunciar del seu càrrec com a directora científica de l'Administració Nacional dels Oceans i de l'Atmosfera (NOAA, de les seves sigles en anglès) «per no poder dir el que sabia». I el que sabem ara és que el 90% dels grans peixos que ens agrada menjar han pràcticament desaparegut en els últims cinquanta anys (Myers i Worm 2003) perquè som prou hàbils

per capturar-los però no per entendre que, si els consumim abans que puguin reproduir-se, no podrem fer el mateix amb la seva descendència. Així mateix, tenim constància que la meitat dels esculls coral·lins d'arreu del món han desaparegut en l'última meitat de segle i que, si res canvia, l'altra meitat podria desaparèixer mentre els nostres fills viuen, entre moltes altres coses. No obstant això, seguim asseguts al sofà.

Les dades del paràgraf anterior tiren per terra la idea que es tenia abans que l'oceà, com que és molt gran, és també molt resistent i el podem explotar sense límits. Per tant, només ens queda actuar. Actuar per salvar el que segons Earle és el «sistema circulatori» del planeta on vivim, «el cor blau de la Terra». Un sistema que ha absorbit més del 90% de l'excés de calor derivat de l'emissió de gasos d'efecte hivernacle i capturat de l'atmosfera més d'un 30% del diòxid de carboni emès fins ara, la qual cosa ha provocat la seva acidificació.

### Conèixer per protegir

Per tot això, cal actuar per assegurar la sostenibilitat de l'oceà, és a dir, el seu futur més enllà de la generació actual. I això passa, primer, per conèixer-lo, ja que ningú és capaç de protegir allò que desconeix. En aquest sentit, la divulgació i l'educació científica són essencials per a crear una societat que tingui a l'abast el coneixement per prendre decisions de forma crítica, informada i sempre des del rigor i el compromís, sigui fent recerca o transmetent a les generacions més joves la importància de protegir aquest cor blau.

Des de l'Institut de Ciències del Mar (ICM) cerquem fomentar la cultura oceànica (Salazar *et*



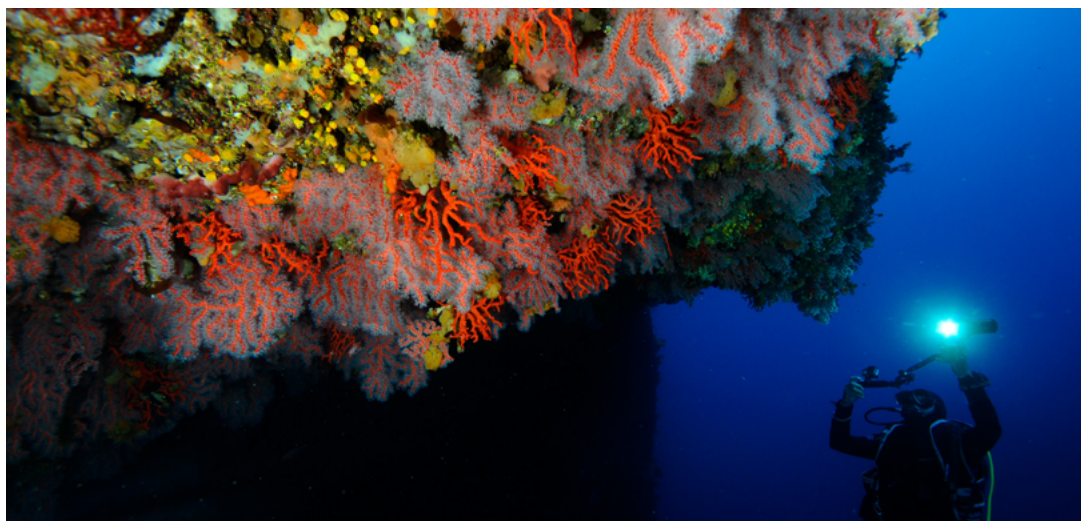


Figura 1. El desconeixement de l'oceà ha portat l'espècie humana a posar els seus interessos per sobre de la salut dels ecosistemes marins i tot just se'n comencen a veure les conseqüències (foto: J. Garrabou).

al. 2022), entesa com el coneixement, per part de la societat, de la influència mútua entre l'oceà i la humanitat des de les primeres etapes de l'aprenentatge, incloent-hi els coneixements sobre l'oceà als currículums escolars de manera transversal en les diferents disciplines en comptes de com un «tema a part». Perquè l'oceà interconnecta el món, i és així com creiem que ha de conèixer-se.

No obstant això, també volem que aquesta cultura oceànica mobilitzi una joventut que és cada vegada més activista, està més preocupada pel futur que els espera, té la consciència més desperta i està més disposada a promoure accions relacionades amb la protecció.

Finalment, no ens podem oblidar del públic adult, al qual també cal facilitar l'accés al coneixement, ja que pot formar part de projectes de ciència ciutadana i acabar convertint-se en una part activa de la recerca i la conservació marina. Al cap i a la fi, tots els segments de la societat sumen per a assolir l'objectiu final, que és que la ciència i l'oceà formin part de la cultura social compartida.

Amb aquest objectiu, l'ICM evoluciona com un centre pròxim al seu entorn, que va més enllà de compartir els resultats de la recerca amb la societat i comença a escoltar i a generar espais per a donar lloc a una conversa que vol enriquir a totes les parts. Volem que el món es posi les «ulleres blaves», aquesta perspectiva des de la qual s'entén el vincle de l'oceà amb la vida.

## Encara hi som a temps

Cal un canvi, i aquest canvi s'ha de produir ara. Encara hi som a temps. No hi ha excusa, disposem del coneixement i la tecnologia necessaris. Només ens falta la voluntat, aquella amb què ha d'arribar l'esperança que podem trobar un lloc permanent dins un sistema natural com ho és la Terra on viure, i viure bé.

«No tothom pot fer-ho tot, però tothom pot fer alguna cosa per marcar la diferència», deia Earle, per a qui «un món sense l'oceà és un món sense nosaltres». Per tant, només ens queda protegir-lo. I per això ens cal una gran dosi d'interès, aquella que ens faci aixecar del sofà i ens impulsi a canviar els nostres hàbits de consum i, per extensió, la nostra manera d'interaccionar amb el sistema natural que ens manté vius.

## Referències

- Myers R.A., Worm B. 2003. Rapid worldwide depletion of predatory fish communities. *Nature* 423(6937): 280-283.
- Salazar J., Gili J.M., Vendrell B. 2022. Cultura oceànica: cap a una societat científicament informada i compromesa amb l'oceà. A: Pelegrí J.L., Gili J.M., Martínez de Albéniz M.V. (eds.), *L'oceà que volem: ciència oceànica inclusiva i transformadora*. Institut de Ciències del Mar, CSIC. Barcelona. pp. 236-238.

DOI: <https://doi.org/10.20350/digitalCSIC/14126>

## 7.6. Cultura oceànica: cap a una societat científicament informada i compromesa amb l'oceà

Janire Salazar, Josep-Maria Gili, Begoña Vendrell

Conèixer i comprendre les relacions entre l'oceà i nosaltres i nosaltres amb l'oceà és l'essència de l'*ocean literacy* (cultura oceànica en català). Té l'objectiu de formar individus que siguin *ocean literate* (que tinguin coneixements sobre l'oceà, podríem traduir en català) i, per tant, capaços de prendre decisions informades i responsables envers els recursos marins i la sostenibilitat de l'oceà i, per extensió, del món.

Aquest concepte va aparèixer als Estats Units en el context d'un esforç interdisciplinari, i la seva formulació comptà amb la presència de representants dels sectors científic, educatiu i polític. L'objectiu era, després d'anys en què, tradicionalment, l'oceà quedava exclòs de la cultura científica o no estava adequadament representat als currículums oficials de l'educació formal, produir un marc de referència consensuat pels diferents sectors més directament implicats en la millora de la cultura oceànica i que dotés aquest concepte de contingut específic. Aquest esforç s'allargà des de l'any 2002 fins al 2005, en què sorgí la publicació amb la declaració dels set principis essencials (figura 1) i 45 conceptes fonamentals que tota persona hauria de conèixer i comprendre per ser considerada com a *ocean literate* (Ocean Literacy Network 2013).

Malgrat que el coneixement marí pot adquirir-se a través de múltiples i diferents fonts i maneres, tenir un marc de referència com el publicat el 2005, que actualment ja està acceptat internacionalment, permet donar context als esforços divulgatius i educatius. Aquest aspecte possibilita que sigui utilitzable per diferents agents i que es puguin inclús produir indicadors

d'avaluació per poder identificar i assolir objectius i, en definitiva, desenvolupar estratègies per aconseguir fites locals i globals envers la cultura oceànica.

L'adequació del marc de la *ocean literacy* va ser reconegut per l'Organització de les Nacions Unides per l'Educació, la Ciència i la Cultura (UNESCO) i ja forma part de les agendes polítiques de molts països que treballen per millorar el coneixement marí.

### El paper dels centres de recerca marina en la consecució de la cultura oceànica

Tradicionalment, el coneixement marí no ha estat igualitari i s'ha vist relegat a certs sectors de la població (principalment personal científic i

- 1 LA TERRA TÉ UN GRAN OCEÀ AMB DIFERENTS CARACTERÍSTIQUES.
- 2 L'OCEÀ I LA VIDA A L'OCEÀ CONFIGUREN LES CARACTERÍSTIQUES DE LA TERRA.
- 3 L'OCEÀ TÉ UNA INFLUÈNCIA CABDAL EN EL TEMPS METEOROLÒGIC I EL CLIMA.
- 4 L'OCEÀ VA FER LA TERRA HABITABLE.
- 5 L'OCEÀ MANTÉ UNA GRAN DIVERSITAT DE VIDA I D'ECOSISTEMES.
- 6 L'OCEÀ I ELS HUMANS ESTAN INEXTRICABLEMENT INTERCONNECTATS.
- 7 L'OCEÀ ROMAN ÀMPLIAMENT INEXPLORAT.

Figura 1. Els set principis essencials de la cultura oceànica. Font: Elaboració pròpia a partir de Ocean Literacy Network (2013).



Figura 2. La gymkhana dels mars i oceans és un exemple de recurs desenvolupat a l'ICM que permet treballar i millorar la cultura oceànica dels més de 400 participants, entre alumnat i professorat, amb més de 72 tallers teòrico-pràctics i la implicació de personal de l'ICM.

naturalista, al sector de la pesca i membres de les tripulacions de vaixells). L'extensió del coneixement a la resta de sectors s'ha pogut realitzar, parcialment, a través de la literatura i del saber popular principalment, aquest darrer sovint generat en localitats costaneres i amb moltes dificultats per a estendre's més enllà del territori local.

Com a resultat, malgrat tenir un paper cabdal al planeta, l'oceà no ha estat tan present a l'educació formal com potser hauria d'haver estat i això ha provocat grans mancances tant de coneixement com de competències actitudinals que impliquin accions sostenibles i responsables envers l'oceà.

Els centres de recerca i les universitats on es produeix ciència marina, tenen un rol decisiu en els processos de transferència de coneixement. Com a espais on es genera saber científic, és vital que formin part de les estratègies per aconseguir els objectius en matèria de cultura oceànica. Capacitar de manera adient als centres perquè puguin desenvolupar activitats amb metodologies adequades i produir recursos educatius i divulgatius atractius i efectius, és cabdal per avançar cap a una cultura oceànica universal i de qualitat.

### L'experiència i perspectives de futur de l'Institut de Ciències del Mar

A l'Institut de Ciències del Mar (ICM) hi ha una llarga tradició en la creació i desenvolupament de continguts i activitats divulgatives i educatives. Entre els principals recursos generats

destaquen els diaris de campanya que, amb un component marcadament divulgatiu i caràcter vivencial, apropen el coneixement acompanyat per l'emoció que desperta l'exploració oceànica (Balagué *et al.* 2022). També destaca el projecte El Mar a Fons (<https://elmarafons.icm.csic.es>) que s'inicià al 2010 i amb el qual es creà un gran repositori de continguts didàctics, jocs educatius, un llibre il·lustrat, protocols d'activitats d'investigació i tallers presencials, entre d'altres (figura 2), disponibles de forma pública i gratuïta al web. Aquests i molts més exemples poden trobar-se al portal divulgatiu de la institució, ICM Divulga (<http://www.icmdivulga.icm.csic.es>).

Els objectius educatius i divulgatius futurs a l'ICM no només exigeixen seguir oferint recursos i metodologies que permetin la comprensió dels ecosistemes marins en un entorn canviant, sinó també anar avançant cap a millores dels processos de transferència i intercanvi amb altres actors. Un exemple d'això és la participació de l'ICM en el projecte europeu *Responsible Research in Biosciences* (ResBios)<sup>(1)</sup>. En aquest projecte, gràcies a l'aprenentatge mutu dels participants, on es troben experts de diferents àmbits del coneixement que formen part d'institucions amb trets diferencials, però també comuns, s'estableixen accions amb l'objectiu de consolidar-les institucionalment i de permetre millorar la recerca i innovació en clau RRI (*Responsible Research and Innovation*, de les seves sigles en anglès). En aquest marc, l'ICM ja està treballant amb centres educatius per formar una xarxa

d'escoles marines que permeti debatre i aprendre sobre les millors pràctiques educatives per vetllar per una cultura oceànica universal i de qualitat. Amb aquesta xarxa, des de l'ICM s'està creant un espai comú on diferents actors trobin un espai cohesionat on trobar recursos i bones pràctiques. En el primer curs escolar 2020-2021, malgrat les dificultats afegides per la crisi de la COVID-19, s'ha pogut avançar ja en aquesta direcció desenvolupant una acció formativa pilot a partir de la qual s'han recopilat nombroses peticions i bones pràctiques dels centres participants que permetran construir aquesta primera comunitat tot tenint en compte els diferents punts de vista i la casuística de cada centre.

Des de l'àmbit de la cultura oceànica a nivell de ciutadania, també s'està treballant des de l'ICM per escoltar cada cop més a la societat, per passar de ser un centre on principalment les accions divulgatives consistien en una transmissió investigador/a-ciutadania a un centre on es puguin anar creant espais i accions bidireccio-

nals, per poder escoltar i integrar les inquietuds, limitacions i també oportunitats emergides des de la societat en la recerca marina.

## Referències

- Balagué V., Cardelús C., Gili J.M., *et al.* 2022. El mar explicat des de les campanyes oceanogràfiques. A: Pelegrí J.L., Gili J.M., Martínez de Albéniz M.V. (eds.), *L'oceà que volem: ciència oceànica inclusiva i transformadora*. Institut de Ciències del Mar, CSIC. Barcelona. pp. 239-241.
- Ocean Literacy Network. 2013. *Ocean Literacy: The Essential Principles and Fundamental Concepts of Ocean Sciences for Learners of All Ages Version 2*. Washington, DC: National Oceanic and Atmospheric Administration. Recuperat de: <http://oceanliteracy.wp2.coexploration.org>

(1) ResBios és un projecte finançat pel programa de la Comissió Europea H2020 SwafS: ResBios RESponsible research and innovation grounding practices in BIOsciences, Grant Agreement N°872146.

DOI: <https://doi.org/10.20350/digitalCSIC/14127>



## 7.7. El mar explicat des de les campanyes oceanogràfiques

Vanessa Balagué, Clara Cardelús, Josep-Maria Gili, Carine Simon, Maria Vicioso, Magda Vila

Els oceans ocupen gairebé tres quartes parts de la superfície del nostre planeta i afecten molts aspectes de la nostra vida, com ara la producció pesquera o la regulació del clima, a més del benestar i oci de les persones. No obstant això, aquesta importància no es trasllada de manera proporcional als continguts curriculars que els estudiants tractaran al llarg de la seva etapa educativa i és, habitualment, desconeguda per gran part de la societat.

### Seguiment de campanyes oceanogràfiques en temps real

Una forma atractiva d'apropar la recerca marina és a través del seguiment en temps real d'una campanya oceanogràfica. Per això, els equips científicotècnics de l'Institut de Ciències del Mar (ICM) que s'embarquen en les expedicions escriuen un diari de campanya on s'expliquen aspectes científics de l'oceà, com es viu a terme aquesta ciència i com es viu en un vaixell oceanogràfic (Simó 2017). En algunes campanyes es convida de manera específica els centres educatius, amb l'objectiu de posar-los en contacte directe amb el personal científic i tècnic i perquè, guiats pels seus professors, puguin aplicar els continguts curriculars a les ciències marines d'una forma vivencial i transversal. A vegades, el personal de l'ICM implicat complementa el diari amb recursos didàctics teòrics que es completen amb activitats educatives, propostes experimentals i amb la possibilitat de realitzar preguntes al personal científicotècnic embarcat, ja sigui a través de la web o amb connexions en

temps real. Aquesta metodologia també es complementa amb la realització de xerrades en centres educatius, formació del professorat o visites guiades als vaixells oceanogràfics. Els diaris de campanya, així com les preguntes dels escolars i les respostes del personal embarcat, queden a la disposició del públic, acostant els continguts a la ciutadania d'una forma amena i rigorosa.

L'origen d'aquest treball el trobem a partir de l'any 2000 en una sèrie de campanyes oceanogràfiques (Antàrtida 2000 i 2003, Hawaii 2001 i Àrtic 2004) els diaris de les quals van ser publicats a la web del AGAUR (Agència de Gestió d'Ajuts Universitaris i de Recerca). Posteriorment, aquests quaderns es van continuar publicant en la vigent web de Recerca en Acció (<http://www.recercaenaccio.cat/>) de la Fundació Catalana per a la Recerca i la Innovació (FCRI) i en l'actualitat s'estan recuperant per a introduir-se a DIGITAL.CSIC, el repositori del *Consejo Superior de Investigaciones Científicas* que preserva i difon en accés obert els resultats de recerca del CSIC (figura 1).

### El mar arriba a les aules

A partir de 2004, des de l'ICM i a través de la web ICM Divulga (<http://icmdivulga.icm.csic.es/expedicions/>), s'ha realitzat el seguiment de 34 campanyes oceanogràfiques, convertint-se, des de 2015, en una tasca essencial de les nostres expedicions, sent pioners en aquesta iniciativa. Set de les 18 campanyes realitzades des de 2015 (figura 1) han estat seguides de manera específica per 38 centres escolars (29 escoles i nou insti-

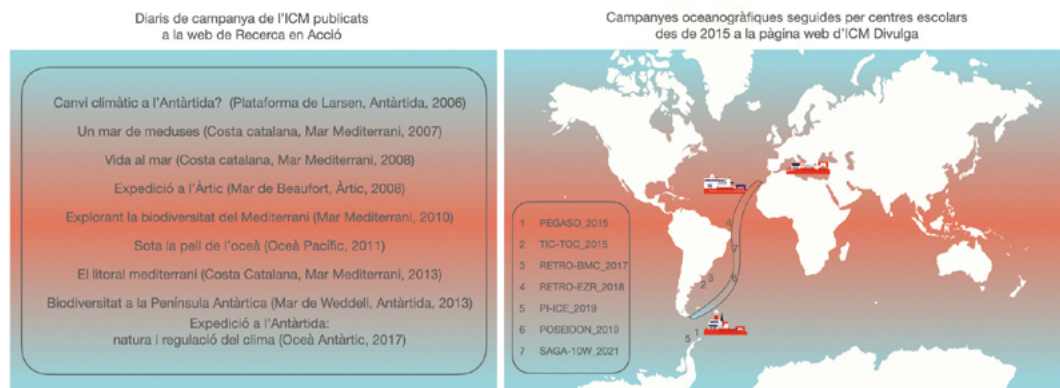


Figura 1. Relació de les campanyes oceanogràfiques de l'ICM publicades a la web de la Fundació Catalana per a la RECERCA i la Innovació i les seguídes pels centres escolars a la web ICM Divulga des de 2015. Il·lustracions dels vaixells oceanogràfics: SHOOK Studio per al projecte Petits Oceanògrafs.

tuts que comprenen 17 localitats, principalment de Catalunya), arribant a un total de 2.227 estudiants i involucrant a 88 persones dels equips científicotècnics de l'ICM (figura 2).

Els nivells educatius participants en el seguiment inclouen les etapes d'educació infantil, primària i secundària íntegrament, encara que des dels centres es dirigeix principalment als cursos compresos entre 4t de primària i 2n de l'ESO. En alguns casos, el seguiment s'ha dut a terme des d'escoles d'alta complexitat o des de les aules d'acollida, valorant-se pels professors com una alternativa educativa molt potent per a aquest tipus d'alumnat.

A través de la divulgació de campanyes oceanogràfiques es tracten diferents temes científics, des d'una perspectiva vivencial, transversal i interdisciplinària (Pedrós-Alió 2017). Els continguts abasten disciplines com les ciències de la vida i de la Terra (física, química, biologia,

geologia, ciències marines, astronomia), la geografia i història, la nàutica, l'art o el llenguatge. D'altra banda, també es comenten assumptes relacionats amb la logística i els sistemes de comunicació propis d'un vaixell oceanogràfic o de les bases antàrtiques, així com les diferents professions de les persones vinculades a la campanya. Finalment, s'aborden temes des d'una perspectiva psicològica o social que inclouen qüestions relacionades amb les col·laboracions científiques, el treball en equip o la convivència, i qüestions de rellevància actual com ara la contaminació marina, l'emergència climàtica o el paper de la dona en la ciència.

Tota aquesta informació pot consultar-se a la pàgina web d'ICM Divulga, des d'on es realitza la difusió i seguiment de les campanyes, i els continguts complets poden descarregar-se des de DIGITAL.CSIC. Aquesta difusió es reforça amb notícies puntuals en els canals de Twitter o

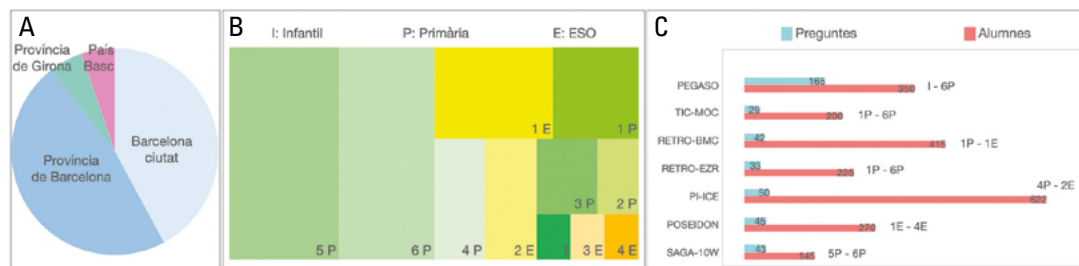


Figura 2. Resultats del seguiment de les campanyes oceanogràfiques pels centres escolars (ICM Divulga des de 2015) segons la seva localització (A), els nivells educatius que han participat (B) i el nombre d'alumnes i les preguntes realitzades segons els nivells educatius en cada campanya (C). Atès el personal embarcat implicat en els diaris, en diversos projectes es va limitar el nombre màxim de preguntes a 50.

Instagram de l'ICM. Els centres escolars també fan difusió a través de les seves plataformes amb l'objectiu de canalitzar aquesta experiència a tota la comunitat educativa. Algunes d'aquestes iniciatives han rebut premis, com la web SotaZero que va rebre el Premi eLearning Awards 2004 (European Schoolnet de la Unió Europea) pel diari de campanya antàrtica ANT XXI/2 (2003-2004). Finalment, la majoria de centres utilitzen els treballs escolars al voltant de les campanyes oceanogràfiques per a exposar-los en les seves jornades de portes obertes, i veuen aquesta activitat com un valor afegit als seus projectes educatius.

### Educació i sensibilització mitjançant els diaris de campanya

Aquesta experiència s'ha valorat com un recurs pedagògic valuós ja que possibilita, gràcies a la complicitat entre les comunitats docent i científica, introduir l'estudi del mar a les aules, habitualment oblidat en els continguts curriculars educatius, sota una perspectiva «no-formal» (Gasol 2004). En moltes ocasions, els estudiants s'han convertit en uns expedicionaris més, desenvolupant fins i tot experiments científics paral·lels als proposats durant l'expedició. Es concreta a més com un instrument transversal aplicable a tots els nivells de l'etapa educativa, especialment de vuit a 14 anys. Una de les experiències més gratificants dels diaris de campanya és poder compartir «en directe i des d'alta mar», a través de les preguntes, les vivències i els resultats entre l'equip embarcat i els participants, promovent la curiositat, el diàleg, la reflexió, l'esperit crític i l'interès per la ciència i els seus mètodes en una etapa clau per al desenvolupament escolar i personal, alhora que visibilitza la figura dels professionals que estu-

dien el mar, especialment el paper de les dones en l'oceanografia actual. Es valora també molt favorablement la preocupació que l'alumnat ha manifestat per l'estat dels oceans. La sensibilitat ambiental ha de tractar-se eficaçment des dels primers nivells educatius. Una joventut que conegui el mar des de la seva etapa formativa aprendrà a respectar-lo, perfilant-se com a actors actius implicats en la seva conservació.

El resultat del seguiment de campanyes oceanogràfiques sempre ha estat positiu, tant per als centres educatius com per al personal investigador, que gaudeix de l'oportunitat de donar a conèixer el seu treball i la recerca que es duu a terme a l'ICM, fomentant l'aprenentatge simultani entre l'equip científicotècnic, les escoles i la societat.

Agraïments: Elisabetta Broglio va ser la impulsora del seguiment de campanyes oceanogràfiques des d'ICM Divulga en els seus inicis. Volem agrair a tot el personal científic i tècnic que ha dedicat una estona del seu valuós temps en campanya a escriure els diaris, contestar preguntes o revisar textos, amb rigor científic i entusiasme pel seu treball i la divulgació. Les campanyes, els resultats de les quals es presenten en aquest treball, han estat finançades pel Ministeri de Ciència, Innovació i Universitats. El projecte de la FECYT Petits Oceanògrafs (<https://petitsocanografs.icm.csic.es>) inclou el seguiment de campanyes oceanogràfiques dins dels seus objectius i cinc de les campanyes presentades han estat seguides específicament per escoles participants en aquest projecte.

### Referències

- Gasol J. M. 2004. Des de la torre d'ivori del científic. Suplement GUIX 12.
- Pedros-Alíó C. 2017. Bajo la piel del océano. Plataforma Editorial. 265 pp.
- Simó R. 2017. Mar, gel i cel (diari antàrtic). Edició Núvol.  
[http://icmdivulga.icm.csic.es/icmdivulga/icm/mar\\_gel\\_i\\_cel.pdf](http://icmdivulga.icm.csic.es/icmdivulga/icm/mar_gel_i_cel.pdf)

DOI: <https://doi.org/10.20350/digitalCSIC/14128>

## 7.8. Observadors del Mar: ciència ciutadana marina com a motor transformador

María Vicioso, Paula López, Sandra Espeja, María García, Gemma Agell, Macarena Marambio, Joaquim Garrabou

El món, com l'oceà, és global i interconnectat. Davant la crisi social, sanitària i climàtica actual a la qual ens enfrontem, es fa evident la interrelació de la humanitat, en un context en el qual només de manera col·lectiva aconseguirem afrontar els reptes del present i avançar cap a un futur més sostenible i just per a les persones i els ecosistemes. Així com els corrents oceànics transfereixen calor cap als pols de la Terra i distribueixen els nutrients essencials per a la vida en els oceans, els corrents i iniciatives socials constitueixen una potència transformadora capaç de travessar fronteres i canviar realitats.

La ciència ciutadana es presenta en aquest context com un d'aquests corrents que travessen els conceptes establerts i es posicionen com a palanques de canvi. La ciència ciutadana és un terme ampli que es refereix a la participació del públic no especialitzat en les activitats de recerca científica mitjançant el seu esforç intel·lectual o coneixement, amb les seves eines o recursos, segons defineix el Llibre blanc de la Ciència Ciutadana (Serrano Sanz *et al.* 2014). La definició de Caren Cooper, reconeguda impulsora de ciència ciutadana en ecologia, és no obstant això més precisa a l'hora d'evocar el seu impacte real: «la ciència ciutadana és el moviment que ens repta a repensar com es genera el coneixement, qui el genera, on ocorre i a qui serveix». D'aquesta manera, les pràctiques de ciència ciutadana s'estableixen com un canvi de paradigma en el qual la recerca científica no sols ocorre entre les parets de l'acadèmia ni la desenvolupen científics i científiques, sinó que ocorre en molts

més espais i amb molts més col·lectius de manera simultània, impulsant nous diàlegs i xarxes col·laboratives.

### Transformar la societat amb ciència

Les iniciatives en ciència ciutadana poden proveir d'eines, formació i implicació d'altres comunitats, a més de la científica, des d'on explotar els beneficis mutus de compartir el coneixement tradicional. Té el potencial de poder consolidar-se com un instrument de transformació social en democratitzar la generació de coneixement fent-ho de manera col·lectiva i oberta, fomentant una societat capaç de prendre decisions informades.

L'oceà i els mars proporcionen recursos i espai vital a més d'un terç de la població mundial i alhora són objecte d'importants impactes, conseqüència del canvi climàtic i les activitats humanes. En aquest context, les iniciatives de ciència ciutadana, a més de constituir-se com una font de coneixement que amplia les escales temporal i espacial habituals, són un canal de sensibilització social enfront de problemàtiques ambientals, que fomenta i incrementa la cultura oceànica o *Ocean Literacy* (Salazar *et al.* 2022), necessària perquè l'oceà sigui reconegut i valorat pel seu paper essencial per a la humanitat i per a la sostenibilitat del planeta. És i serà la manera de bastir ponts entre diversos agents científics, polítics i socials, enriquint una conversa que serveixi per a establir mesures de conservació més eficaces, amb major acceptació i calat social.





Figura 1. La ciència ciutadana marina estableix canals de participació i comunicació entre diferents agents claus per a la conservació marina. Autor: Jordi Regàs.

No obstant això, pot topar-se amb obstacles en la seva implementació. A diferència dels ecosistemes terrestres, amb una major trajectòria en la unió de ciutadania amb vocació naturalista que col·labora reportant observacions (com a projectes d'observacions d'ocells o papallones, que compten amb llarg recorregut), en els ecosistemes marins, amb un accés més restringit, i al qual la ciutadania difícilment pot contribuir més enllà de les zones costaneres, la ciència ciutadana marina té molt camí encara per recórrer (García-Soto *et al.* 2017).

## Observar el mar amb la ciutadania

Observadors del Mar és un d'aquests camins traçats gràcies a l'esforç col·laboratiu i constant. Neix de la necessitat de les persones de comunicar el que veien en el mar, de reunir l'experiència d'amants del mar, habitants de la costa i col·lectius com els pescadors o bussejadors, testimonis dels canvis en els ecosistemes marins i costaners. Des de 2012, Observadors del Mar s'estableix com una plataforma de projectes que reuneix les aportacions de la població entorn

de problemàtiques marines com les alteracions en la biodiversitat i els hàbitats; l'evolució de poblacions d'espècies vulnerables o amenaçades; els efectes del canvi climàtic sobre el medi marí; l'arribada i expansió d'espècies exòtiques o la presència d'escombraries marines, i les posa a la disposició de la comunitat científica i la societat. Comença de la mà d'investigadors i investigadores de l'Institut de Ciències del Mar, qui validen i aporten rigor a la informació recopilada, als qui ràpidament es van sumar equips d'altres centres marins del CSIC com el Centre d'Estudis Avançats de Blanes (CEAB) i l'Institut Mediterrani d'Estudis Avançats (IMEDEA), qui avui dia co-coordinen el projecte; així com altres centres de recerca i universitats. Observadors del Mar ha continuat la seva evolució, perseverant al llarg dels anys, amb etapes de més i menys recursos, mantenint sempre viva la confiança en el seu potencial transformador. Avui dia, compta amb més de 90 persones en els equips científics, més de 3.000 observadors i observadores, i més de 300 entitats diverses com a universitats, oenegés i clubs de busseig. Ha establert aliances amb la Fundació Biodiversitat –en el marc del

projecte INTEMARES– i amb la Fundació Marilles a Balears, i estableix canals de transferència de coneixement a les administracions per a enfortir la conservació marina amb la col·laboració de la ciutadania. A les portes del seu desè aniversari, Observadors del Mar es posiciona com una plataforma de ciència ciutadana marina de referència a Espanya i continua generant sinèrgies, participant activament en el creixement d'aquesta comunitat que comparteix l'objectiu comú de treballar per un oceà més saludable.

En la Dècada de les Ciències Oceàniques per al Desenvolupament Sostenible (Salvo 2022), establerta per les Nacions Unides per al període 2021-2031, es marca com a repte l'expansió del sistema d'observació de l'oceà; distribuir dades, coneixement i tecnologia; i canviar la relació de la humanitat amb l'oceà (Barbière *et al.* 2020). La ciència ciutadana marina i Observadors del Mar contribueixen a superar aquests reptes i aconseguir un oceà transparent, amb dades, tecnologies i eines d'accés obert; i inspirador, on la societat entengui i valori el vincle de la humanitat amb l'oceà.

## Referències

- Barbière J., Rigaud J., Soriano P., Bonotto E., Lindoso V. (eds). 2020. The Science we Need for the Ocean We Want: The United Nations Decade of Ocean Science for Sustainable Development (2021-2030). 2020. IOC Brochure 2020-4 (IOC/BRO/2020/4). 20 pp.
- García-Soto C., van der Meer G., Busch J., *et al.* 2017. Advancing Citizen Science for Coastal and Ocean Research. Position Paper 23 of the European Marine Board, Ostend, Belgium, V., Kellett, P., Delany, J., McDonough, N. (eds.), ISBN: 978-94-92043-30-6. 112 pp.
- Salazar J., Gili J.M., Vendrell B. 2022. Cultura oceànica: cap a una societat científicament informada i compromesa amb l'oceà. A: Pelegrí J.L., Gili J.M., Martínez de Albéniz M.V. (eds.), L'oceà que volem: ciència oceànica inclusiva i transformadora. Institut de Ciències del Mar, CSIC. Barcelona. pp. 236-238.
- Salvo V.S. 2022. *Ocean Decade*. Un decenni cap a la governança participativa dels oceans. A: Pelegrí J.L., Gili J.M., Martínez de Albéniz M.V. (eds.), L'oceà que volem: ciència oceànica inclusiva i transformadora. Institut de Ciències del Mar, CSIC. Barcelona. pp. 228-230.
- Serrano Sanz F., Holocher-Ertl T., Kieslinger B., *et al.* 2014. White Paper on Citizen Science for Europe. Societize Consortium.

DOI: <https://doi.org/10.20350/digitalCSIC/14129>

## 7.9. Rigorositat artística i creativitat científica

Vanessa Balagué, Anna Rierola, María Vicioso

La recerca de metàfores comunes per entendre el món que ens envolta ve d'antic. Al llarg de la història de la humanitat hi ha nombrosos exemples on disciplines aparentment tan allunyades com l'astronomia, la filosofia o la poesia han permeabilitzat les seves fronteres a favor de la construcció de nou coneixement i pensament. A partir del segle XVII però, el progrés científic se centra en l'ús de la raó i de les disciplines exclusivament acadèmiques, i sota les visions cartesiana i mecanicista newtoniana es tendeix a l'especialització, a la fragmentació del coneixement i al rebuig dels sabers no reglats. Malgrat l'herència del pensament clàssic i modern, l'actual context de canvi global que acompanya l'inici del segle XXI ens obliga a repensar-nos com a individus i com a col·lectiu, en un planeta on natura i societat estan intra- i interconnectades, fent necessari un retorn al solapament entre els diferents àmbits del coneixement. La ciència, la filosofia i l'art tornen a dialogar, difuminen els límits i negocien noves pràctiques creatives d'investigació (Hustvedt 2020).

### Canvi de paradigma en l'art i la ciència contemporanis

Durant l'últim terç del segle XX es produeix un gran canvi de paradigma en l'art contemporani: l'hegemonia de les Belles Arts entra en crisi i comença un període on la recerca i l'experimentació en les metodologies i els procediments es posen al centre dels projectes artístics i al servei de les idees que l'artista vol transmetre, missatges generalment lligats als moviments socials i polítics del moment. També canvien les formes d'expressió artística: el suport plàstic i

material ja no és imprescindible i apareixen nous llenguatges com l'art d'acció, les arts sonores i visuals o la *performance*. L'art ja no es fonamenta només en la inspiració i la seva finalitat ja no és només el gaudi o l'emoció, sinó que és un acte intel·lectual, amb una funció social transformadora, i es basa en la recerca, l'experimentació i en el treball rigorós.

Un altre canvi de paradigma també apareix en el món científic en la mateixa època, lligat a fenòmens com el moviment ecologista o l'era espacial. Els científics i les científiques es troben en la necessitat de transmetre els coneixements adquirits cap la societat i apareixen, en paral·lel a la recerca científica, la divulgació i la comunicació de la ciència, en part com a estratègia per iniciar mecanismes com la protecció ambiental o traslladar qüestions de salut pública, però també amb la voluntat de tenir una societat més culta i més massa crítica per participar en la construcció dels eixos vertebradors del nostre futur. Per fer-ho es recorre en un inici a formats clàssics com el documental, la xerrada o l'article divulgatiu, però poc a poc els científics fan ús de nous formats per arribar a nous públics. En l'últim congrés de Comunicació Social de la Ciència (Burgos, 2019) es van mostrar formes d'explicar els conceptes abstractes de la ciència a través de les arts escèniques, el cinema, el joc, la música, la literatura, les exposicions no convencionals o l'*street art*. La finalitat de la ciència, doncs, no es limita només a descobrir, entendre i explicar les troballes entre els col·legues de professió, sinó també a compartir el coneixement amb una societat cada cop més participativa i amb la voluntat d'estar ben informada.



Figura 1. Diàlegs entre música, dansa, art i ciència en la inauguració de l'exposició *Bosc Ancestral* d'Anna Rierola (2017) al Centre Mediterrani d'Investigacions Marines i Ambientals (CMIMA).

De forma molt general es pot concloure que el rigor i la creativitat són valors compartits entre ciència i art. Per il·lustrar-ho amb dos exemples molt concrets: les llibretes d'artista de Fina Miralles són veritables llibretes de laboratori, mentre que no es pot negar l'estètica visual i conceptual, ni la capacitat inspiradora de teories científiques recents com Gaia de James Lovelock o la Simbiogènesi de Lynn Margulis. Més enllà d'aquests exemples, les preguntes, els conflictes, les idees, la curiositat, el rigor, la creativitat i la recerca són els motors que propicien tant en l'art com en la ciència contemporanis la transformació i la construcció del coneixement i del pensament (Tafalla 2011).

### Art&Science i *Bosc Ancestral*

Actualment, de la cerca per crear sabers globals, sorgeix el moviment *Art&Science* (*ArtSci*): un nou corrent col·laboratiu que aplega una comunitat d'artistes, científics, tecnòlegs, programadors, filòsofs i agents culturals on es generen aliances enriquidores per dur a terme projectes interdisciplinaris. Hi ha científics que han trobat en l'art una forma de representar les seves dades i lligar-les a un missatge ambiental, polític o social, o bé artistes que troben en la ciència el seu motor d'inspiració, el material de partida i el suport teòric dels seus treballs. Centres com el CCCB o l'Arts Santa Mònica, o festivals com el Sónar, l'Eufònic, Llum BCN o l'Ars Electronica, s'han convertit en aparadors d'aquestes noves interaccions (Kourochkina 2021).

Dins d'aquestes sinergies neix *Bosc Ancestral*, la primera obra de gran format sorgida de la col·laboració entre l'artista visual focalitzada en imatges científiques Anna Rierola,<sup>(1)</sup> l'assessoria científicotècnica de l'Institut de Ciències del Mar i el Servei de Microscòpia Electrònica i Òptica de l'ICM-CSIC.<sup>(2)</sup> L'exposició (figura 1) es va acompanyar de panells divulgatius i un cicle de conferències entorn als protagonistes del mural: els microorganismes marins i el seu paper crucial en el planeta.<sup>(3)</sup> Aquesta exposició temporal va donar lloc al 2019 a un mural exterior de 60 metres que recobreix la façana de la seu de l'ICM i esdevé una identitat visual del centre, una finestra més per a la ciutat i els seus visitants (figura 2). Emmirallant el mar de la platja del Somorrostro de Barcelona, mostra que en la invisibilitat i immensitat marina hi ha l'essencialitat dels processos que sustenten la vida a la Terra i és aquesta consciència la que ens ha d'ajudar a deixar enrere l'era de l'Antropocè.

### Diàlegs interdisciplinaris i heterogenis, motors de transformació social

Els mars i oceans són motor de canvi i de vida. Tot el que passa a la terra està connectat amb el mar: l'intercanvi d'energia, de matèria i d'informació. En l'actual context de canvi global, és crucial que la ciutadania entengui i conegui aquests processos, doncs només des del coneixement es poden activar els sistemes de sensibilització i d'acció col·lectiva. Arribar a tothom no és fàcil i passa per explorar nous formats de disseminació del coneixement, tot col·





Figura 2. *Bosc Ancestral* d'Anna Rierola (2019), mural creat a partir d'imatges de microscòpia electrònica de microorganismes marins cedides per l'Institut de Ciències del Mar, i de nanomaterials i polímers sintètics, cedides per l'Institut Català de Nanociència i Nanotecnologia.

laborant amb professionals d'altres camps. Una opció és l'establiment de residències artístiques en centres de recerca científica, fomentant la cocreació, més enllà de l'assessoria o la cessió de dades; o la promoció d'espais de debat i reflexió comuna, amb una participació heterogènia pel que fa a les disciplines, a les generacions i als actors socials i culturals, on des del respecte mutu,

es puguin seguir trobant metàfores comunes per entendre i explicar el món i la nostra forma d'estar-hi i d'habitar-lo. L'aposta d'un institut de recerca d'excel·lència com l'ICM per seguir impulsant aquest tipus de col·laboracions rigoroses i creatives amb artistes i pensadors, és fonamental per retroalimentar-nos i eixamplar els canals de transmissió i els públics receptors dels nostres missatges i valors (figura 2).

Agraïments: Agraïm a José Manuel Fortuño, responsable del Servei de Microscòpia Òptica i Electrònica de l'Institut de Ciències del Mar, la seva mirada única per captar la bellesa amagada dins l'oceà invisible i per cedir les imatges que componen *Bosc Ancestral*.

Agraïm l'assessorament científic per a l'elaboració del contingut divulgatiu que va acompanyar l'exposició *Bosc Ancestral* a Elisa Berdalet, Clara Cardelús, Lluïsa Cros, José Manuel Fortuño, Esther Garcés, Josep M. Gasol, Ramon Massana, Carles Pedrós-Alió, Rafel Simó i Dolors Vaqué.

## Referències

- Hustvedt S. 2020. La dona que mira els homes que miren les dones. Assajos sobre feminisme, art i ciència. Edicions 62, Barcelona. 407 pp.
- Kourochkina T. 2021. Un recorrido por la Barcelona ArtSci. La Vanguardia. <https://www.lavanguardia.com/cultura/culturas/20210211/6240279/recorrido-barcelona-artsci.html>
- Tafalla M. 2011. Problemes filosòfics que planteja l'estètica de la natura. Actes del Primer Congrés Català de Filosofia. Edició de l'Institut d'Estudis Catalans i la Societat Catalana de Filosofia, pp. 580-592.
- (1) <http://www.annarierola.com/ancestral-forest-mural/>
- (2) <https://www.icm.csic.es/en/service/electron-and-optical-microscopy>
- (3) <http://icmdivulga.icm.csic.es/bosc-ancestral/?lang=ca>

DOI: <https://doi.org/10.20350/digitalCSIC/14130>



# Índex d'autors

Abad, Maravillas  
Abelló, Pere  
Acinas, Silvia G.  
Afán, Isabel  
Agell, Gemma  
Aguzzi, Jacopo  
Alcaraz, Miquel  
Alonso, Belén  
Ambroso, Stefano  
Arín, Laura

Baena, Patricia  
Bahamon, Nixon  
Balagué, Vanessa  
Ballabrera, Joaquim  
Ballesteros, Ainara  
Bardají, Raúl  
Bartolomé, Rafael  
Berdalet, Elisa  
Bernal, Ainhoa  
Biel, Marina  
Blázquez, Mercedes  
Bramanti, Lorenzo  
Bravo, Andrea G.

Cabrera-Brufau, Miguel  
Calbet, Albert  
Calvo, Eva  
Camp, Jordi  
Cardelús, Clara  
Carreras, Marc  
Casas, David  
Castellón, Arturo  
Cermeno, Pedro  
Chang, Paul  
Coll, Marta  
Colmenero, Ana I.  
Company, Joan B.  
Corbera, Guillem  
Cornejo-Castillo, Francisco M.  
Cossu, Federico

SCT, ICM, CSIC, labnutri@cmima.csic.es  
GR ECRMV, ICM, CSIC, pabello@icm.csic.es  
GR EMM, ICM, CSIC, sacinas@icm.csic.es  
EBD, CSIC, isabelafan@ebd.csic.es  
CEAB, CSIC, gemma@ceab.csic.es  
GR FVEM, ICM, CSIC, jaguzzi@icm.csic.es  
ICM, CSIC, miquel@icm.csic.es  
GR MC, ICM, CSIC, belen@icm.csic.es  
GR EREBOC, ICM, CSIC, ambroso@icm.csic.es  
GR EPSO, ICM, CSIC, larin@icm.csic.es

GR EREBOC, ICM, CSIC, baena@icm.csic.es  
GR FVEM, ICM, CSIC, n.bahamon@icm.csic.es  
GR EMM, ICM, CSIC, vbalague@icm.csic.es  
GR OFT, ICM, CSIC, joaquim@icm.csic.es  
GR EREBOC, ICM, CSIC, ballesteros@icm.csic.es  
GR EMBIMOS, ICM, CSIC, bardaji@icm.csic.es  
GR BCSI, ICM, CSIC, rafael@cmima.csic.es  
GR EPSO, ICM, CSIC, berdalet@icm.csic.es  
GR ECRMV, ICM, CSIC, bernal@icm.csic.es  
GR EREBOC, ICM, CSIC, marinabel@icm.csic.es  
GR FVEM, ICM, CSIC, blazquez@icm.csic.es  
LECOB, philebo@gmail.com  
GR EMM, ICM, CSIC, andrea.bravo@icm.csic.es

GR EPSO, ICM, CSIC, cabrera@icm.csic.es  
GR EPSO, ICM, CSIC, acalbet@icm.csic.es  
GR BMAC, ICM, CSIC, ecalvo@icm.csic.es  
GR PBL, ICM, CSIC, jcamp@icm.csic.es  
GR EMM, ICM, CSIC, ccardelus@icm.csic.es  
PIV, UdG, marc.carreras@udg.edu  
GR MC, ICM, CSIC, davidcasas@icm.csic.es  
UTM, CSIC, arturoc@utm.csic.es  
GR EPSO, ICM, CSIC, pedrocermen@icm.csic.es  
CSAR (NOAA STAR), USA, paul.s.chang@noaa.gov  
GR FVEM, ICM, CSIC, mcoll@icm.csic.es  
GR ECRMV, ICM, CSIC, colmenero@icm.csic.es  
GR FVEM, ICM, CSIC, batista@icm.csic.es  
GR EREBOC, ICM, CSIC, guillemcorb@gmail.com  
GR BMAC, ICM, CSIC, fmcornejo@icm.csic.es  
GR OFT, ICM, CSIC, cossu@icm.csic.es



Dall'Osto, Manuel	GR BMAC, ICM, CSIC, dallosto@icm.csic.es
de Juan, Silvia	GR ECRMV, ICM, CSIC, sdejuan@icm.csic.es
del Río, Joaquín	SARTI-MAR, UPC, joaquin.del.rio@upc.edu
Demestre, Montserrat	GR ECRMV, ICM, CSIC, montse@icm.csic.es
Díez, Susana	UTM, CSIC, sdiez@utm.csic.es
Donoso, Silvia	DBMO, ICM, CSIC, donoso@icm.csic.es
Durán, Ruth	GR PBLO, ICM, CSIC, rduran@icm.csic.es
Emelianov, Mikhail	GR OFT, ICM, CSIC, mikhail@icm.csic.es
Ercilla, Gemma	GR MC, ICM, CSIC, gemma@icm.csic.es
Espasandín Soneira, Lucía	GR FVEM, ICM, CSIC, luciaes293@gmail.com
Espeja, Sandra	Fundación Marilles, sandra.espeja@marilles.org
Estrada, Marta	GR EPSO, ICM, CSIC, marta@icm.csic.es
Estrada, Ferran	GR MC, ICM, CSIC, festrada@icm.csic.es
Figuerola, Blanca	GR EREBOC, ICM, CSIC, figuerola@icm.csic.es
Flo, Eva	GR PBL, ICM, CSIC, evaflo@icm.csic.es
Fortuño, José Manuel	SCT, ICM, CSIC, jmanuel@icm.csic.es
Gabarró, Carolina	GR OFT, ICM, CSIC, cgabarro@icm.csic.es
Galí, Martí	GR BMAC, ICM, CSIC, mgali@icm.csic.es
Galiana, Savitri	GR LPGSSO, ICM, CSIC, galiana@icm.csic.es
Galimany, Eve	GR ECRMV, ICM, CSIC, galimany@icm.csic.es
Garcés, Esther	GR PBL, ICM, CSIC, esther@icm.csic.es
García, María	CEAB, CSIC, maria@ceab.csic.es
García, José Antonio	GR FVEM, ICM, CSIC, jagarcia@icm.csic.es
García, Xavier	GR LPGSSO, ICM, CSIC, xgarcia@icm.csic.es
García-Comas, Carmen	GR EPSO, ICM, CSIC, cgcomas@icm.csic.es
García-de-Vinuesa, Alfredo	GR ECRMV, ICM, CSIC, agvinuesa@icm.csic.es
García-Ladona, Emilio	GR OFT, ICM, CSIC, emilio@icm.csic.es
García-Olivares, Antonio	GR EMBIMOS, ICM, CSIC, agolivares@icm.csic.es
Garrabou, Joaquim	GR EREBOC, ICM, CSIC, garrabou@icm.csic.es
Gasol, Josep M.	GR EMM, ICM, CSIC, peggasol@icm.csic.es
Gili, Josep-Maria	GR EREBOC, ICM, CSIC, gili@icm.csic.es
Giménez, Joan	GR FVEM, ICM, CSIC, joan.gimenez@icm.csic.es
Giner, Caterina R.	GR EPSO, ICM, CSIC, caterina@icm.csic.es
Gomariz, Spartacus	SARTI-MAR, UPC, spartacus.gomariz@upc.edu
González Haro, Cristina	GR OFT, ICM, CSIC, cgharo@icm.csic.es
González-Gambau, Verónica	GR OFT, ICM, CSIC, vgonzalez@icm.csic.es
Grieco, Giuseppe	ISMAR-CNR, giuseppe.grieco@cnr.it
Grinyó, Jordi	GR EREBOC, ICM, CSIC, grinyo@icm.csic.es
Güell, Queralt	GR BMAC, ICM, CSIC, queraltguell@icm.csic.es
Guerrero, Elena	GR EREBOC, ICM, CSIC, eguerrero@icm.csic.es
Guillén, Jorge	GR PSLO, ICM, CSIC, jorge@icm.csic.es
Gutt, Julian	AWI, Julian.Gutt@awi.de
Hoareau, Nina	GR OFT, ICM, CSIC, nhoareau@icm.csic.es



Isern-Fontanet, Jordi Isla, Enriqué	GR OFT, ICM, CSIC, jiser@icm.csic.es GR PSLO, ICM, CSIC, isla@icm.csic.es
Jelenak, Zorana	CSAR (NOAA STAR), Zorana.Jelenak@noaa.gov
Lin, Wenming Liñán, Sonia Lloret, Maribel Logares, Ramiro López, Paula	NUIST, wenminglin@nuist.edu.cn GR EMBIMOS, ICM, CSIC, slinan@icm.csic.es SCT, ICM, CSIC, maribel@cmima.csic.es GR EMM, ICM, CSIC, logares@icm.csic.es GR EREBOC, ICM, CSIC, plopez@icm.csic.es
Makarova, Eugenia Marambio, Macarena Marco-Herrero, Elena Marrasé, Cèlia Martínez Batalla, Elena Martínez de Albéniz, Maria Victoria Masmitja, Ivan Massana, Ramon Mir-Arguimbau, Joan Montseny, Maria	GR OFT, ICM, CSIC, makarova@icm.csic.es GR EREBOC, ICM, CSIC, marambio@icm.csic.es COC, IEO, CSIC, elena.marco@ieo.es GR EPSO, ICM, CSIC, celia@icm.csic.es UDC, ICM, CSIC, elenamb@icm.csic.es SG, <i>Scientia Marina</i> , ICM, CSIC, marivi@icm.csic.es GR MC, ICM, CSIC, masmitja@icm.csic.es GR EMM, ICM, CSIC, ramonm@cmima.csic.es GR ECRMV, ICM, CSIC, joanmir@icm.csic.es GR EREBOC, ICM, CSIC, montseny@icm.csic.es
Navarro, Joan	GR FVEM, ICM, CSIC, joan@icm.csic.es
Olivar, M. Pilar Olivé Abelló, Anna Olmedo, Estrella Orúe-Echevarría, Dorleta	GR ECRMV, ICM, CSIC, polivar@icm.csic.es GR OFT, ICM, CSIC, aolive@icm.csic.es GR OFT, ICM, CSIC, olmedo@icm.csic.es GR OFT, ICM, CSIC, dorleta.orue@gmail.com
Palanques, Albert Palomera, Isabel Pedrós-Alió, Carlos Pelegri, Josep Lluís Pelejero, Carles Peters, Francesc Piera, Jaume Piferrer, Francesc Pita, Lucía Polverari, Federica Portabella, Marcos Puga, Maria Gracia Puig, Pere Pujol, Núria	GR PBLO, ICM, CSIC, albertp@icm.csic.es ICM, CSIC, palomera@gmail.com CNB, CSIC, cpedros@cnb.csic.es GR OFT, ICM, CSIC, pelegri@icm.csic.es GR BMAC, ICM, CSIC i ICREA, pelejero@icm.csic.es GR EPSO, ICM, CSIC, cesc@icm.csic.es GR EMBIMOS, ICM, CSIC, jpiera@icm.csic.es GR BR, ICM, CSIC, piferrer@icm.csic.es GR BMAC, ICM, CSIC, lpita@geomar.de JPL (NASA), federica.polverari@jpl.nasa.gov GR OFT, ICM, CSIC, portabella@icm.csic.es DBMO, ICM, CSIC, mgracia@icm.csic.es GR PSLO, ICM, CSIC, ppuig@icm.csic.es UTM, CSIC, npujol@utm.csic.es
Quirós, Lucía	GR LPGSSO, ICM, CSIC, quiros@icm.csic.es
Rabaneda, Albert S. Ramírez, Francisco Ramón, Montserrat	GR OFT, ICM, CSIC, arabaneda@icm.csic.es GR FVEM, ICM, CSIC, ramirez@icm.csic.es GR ECRMV, ICM, CSIC, mramon@icm.csic.es

Raya, Vanessa  
 Recasens, Laura  
 Reñé, Albert  
 Rierola, Anna  
 Rodero, Carlos  
 Rodríguez, Pablo  
 Romera-Castillo, Cristina  
 Rotllant, Guiomar  
 Ruiz-González, Clara

GR ECRMV, ICM, CSIC, vraya@icm.csic.es  
 GR ECRMV, ICM, CSIC, laura@icm.csic.es  
 GR PBL, ICM, CSIC, albertrene@icm.csic.es  
 Artista visual, ar@annarierola.com  
 GR EMBIMOS, ICM, CSIC, rodero@icm.csic.es  
 UTM, CSIC, pablo@utm.csic.es  
 GR BMAC, ICM, CSIC, crisrc@icm.csic.es  
 GR FVEM, ICM, CSIC, guio@icm.csic.es  
 GR EMM, ICM, CSIC, clararg@icm.csic.es

Sabatés, Ana  
 Sagristà, Sònia  
 Saiz, Enric  
 Sala, Maria Montserrat  
 Salat, Jordi  
 Salazar, Janire  
 Sallarés, Valentí  
 Salvador, Xavier  
 Salvador, Joaquín  
 Salvo, Vanessa Sarah  
 Sampedro, Nagore  
 Sánchez, Pilar  
 Sánchez, Pablo  
 Sans, Joel  
 Santín, Andreu  
 Santos-Bethencourt, Ricardo  
 Sanz-Sáez, Isabel  
 Sapp, Joe  
 Sardà, Francesc  
 Sbragaglia, Valerio  
 Schartup, Amina T.  
 Sebastián, Marta  
 Segura-Noguera, Mariona  
 Simarro, Gonzalo  
 Simó, Rafel  
 Simon, Carine  
 Soacha Godoy, Karen  
 Solé, Jordi  
 Sorribas, Jordi  
 Soto, Sara  
 Steenbeek, Jeroen  
 Stoffelen, Ad

GR ECRMV, ICM, CSIC, anas@icm.csic.es  
 OSR, ICM, CSIC, ssagrista@icm.csic.es  
 GR EPSO, ICM, CSIC, enric@icm.csic.es  
 GR EMM, ICM, CSIC, msala@icm.csic.es  
 ICM, CSIC, salat@icm.csic.es  
 GR EREBOC, ICM, CSIC, jsalazar@icm.csic.es  
 GR BCSI, ICM, CSIC, vsallares@icm.csic.es  
 GR EMBIMOS, ICM, CSIC, xsalvador@icm.csic.es  
 GR OFT, ICM, CSIC, jsalvador@icm.csic.es  
 OSR, ICM, CSIC, vsalvo@icm.csic.es  
 GR PBL, ICM, CSIC, nagore@icm.csic.es  
 GR ECRMV, ICM, CSIC, pilar@icm.csic.es  
 GR EMM, ICM, CSIC, pablosanchez@icm.csic.es  
 UTM, CSIC, joel@utm.csic.es  
 GR EREBOC, ICM, CSIC, santin@icm.csic.es  
 GR ECRMV, ICM, CSIC, rsantos@icm.csic.es  
 GR EMM, ICM, CSIC, isanz@icm.csic.es  
 CSAR (NOAA STAR), USA, joe.sapp@noaa.gov  
 ICM, CSIC, francisco.sarda@gmail.com  
 GR FVEM, ICM, CSIC, sbragaglia@cmima.csic.es  
 SIO, USA, schartup@hsph.harvard.edu  
 GR EMM, ICM, CSIC, msebastian@icm.csic.es  
 GR EPSO, ICM, CSIC, mariona@icm.csic.es  
 GR PSLO, ICM, CSIC, simarro@icm.csic.es  
 GR BMAC, ICM, CSIC, rsimo@icm.csic.es  
 GR OFT, ICM, CSIC, csimon@icm.csic.es  
 GR EMBIMOS, ICM, CSIC, soacha@icm.csic.es  
 DDTO, FCT, UB, jordi.sole@ub.edu  
 UTM, CSIC, sorribas@utm.csic.es  
 SCT, ICM, CSIC, sarasoto@icm.csic.es  
 EII, Jeroen.steenbeek@gmail.com  
 KNMI, Ad.Stoffelen@knmi.nl

Talone, Marco  
 Tamames, Javier  
 Torrecilla, Elena  
 Trindade, Ana  
 Turiel, Antonio

GR OFT, ICM, CSIC, talone@icm.csic.es  
 CNB, CSIC, jtamames@cnb.csic.es  
 GR BMAC, ICM, CSIC, torrecilla@icm.csic.es  
 GR OFT, ICM, CSIC, atrindade@icm.csic.es  
 GR OFT, ICM, CSIC, turriel@icm.csic.es

Ugalde, Arantza  
Umbert, Marta  
Urgeles, Roger

GR BCSI, ICM, CSIC, a.ugalde@cmima.csic.es  
GR OFT, ICM, CSIC, mumbert@icm.csic.es  
GR LPGSSO, ICM, CSIC, urgeles@icm.csic.es

Vallès-Casanova, Ignasi  
Vallina, Sergio  
Vaqué, Dolors  
Vendrell, Begoña  
Vicioso, María  
Vigo, Maria  
Vila, Magda  
Villanueva, Roger  
Viure, Laia

GR OFT, ICM, CSIC, valles@icm.csic.es  
COG, IEO, CSIC, sergio.vallina@oceanglobe.org  
GR EMM, ICM, CSIC, dolors@icm.csic.es  
Escola Sant Gregori, bvendrell@santgregori.org  
UDC, ICM, CSIC, mvcasanal@icm.csic.es  
GR FVEM, ICM, CSIC, mvigo@cmima.csic.es  
GR EPSO, ICM, CSIC, magda@icm.csic.es  
GR ECRMV, ICM, CSIC, roger@icm.csic.es  
GR EPSO, ICM, CSIC, laiviure@icm.csic.es

## Institucions i grups de recerca

AWI, Alfred Wegener Institute, Alemanya  
CEAB, Centre d'Estudis Avançats de Blanes, CSIC, Espanya  
CNB, Microbiome Analysis Laboratory. Centro Nacional de Biotecnología, CSIC, Espanya  
COC, Centro Oceanográfico de Cádiz, IEO, Espanya  
COG, Centro Oceanográfico de Gijón, IEO, Espanya  
CSAR (NOAA STAR), Center for Satellite Applications and Research, NOAA, USA  
CSIC, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Espanya  
DBMO, Departament de Biologia Marina i Oceanografia, ICM, Espanya  
DDTO, FCT, Departament de Dinàmica de la Terra i l'Oceà, Facultat de Ciències de la Terra, UB, Espanya  
DGM, Departament de Geociències Marines, ICM, Espanya  
DOFT, Departament d'Oceanografia Física i Tecnològica, ICM, Espanya  
DRMR, Departament de Recursos Marins Renovables, ICM, Espanya  
EBD, Estación Biológica de Doñana, CSIC, Espanya  
EII, Ecopath International Initiative, Espanya  
GR BCSI, Grup de Recerca Barcelona Center for Subsurface Imaging, ICM, Espanya  
GR BMAC, Grup de Recerca Biogeoquímica Marina, Atmosfera i Clima, ICM, Espanya  
GR BR, Grup de Recerca Biologia de la Reproducció, ICM, Espanya  
GR ECRMV, Grup de Recerca Ecologia i Conservació del Recursos Marins Vius, ICM, Espanya  
GR EMBIMOS, Grup de Recerca EnvironMental and SustainaBility Participatory InforMatiOn Systems, ICM, Espanya  
GR EMM, Grup de Recerca Ecologia de Microorganismes Marins, ICM, Espanya  
GR EPSO, Grup de Recerca Ecologia del Plàncton i Salut dels Oceans, ICM, Espanya  
GR EREBOC, Grup de Recerca Ecologia i Resiliència dels Ecosistemes Bentònics en un Oceà en Canvi, ICM, Espanya  
GR FVEM, Grup de Recerca Funcionament i Vulnerabilitat dels Ecosistemes Marins, ICM, Espanya  
GR LPGSSO, Grup de Recerca Laboratori de Processos Geològics del Sòl i Subsòl Oceànics, ICM, Espanya  
GR MC, Grup de Recerca Marges Continentals, ICM, Espanya  
GR OFT, Grup de Recerca Oceanografia física i tecnològica, ICM, Espanya  
GR PBL, Grup de Recerca Processos Biològics Litorals, ICM, Espanya  
GR PBLO, Grup de Recerca Processos Biològics Litorals i Oceànics, ICM, Espanya

GR PSLO, Grup de Recerca Processos Sedimentaris Litorals i Oceànics, ICM, Espanya  
 ICM, Institut de Ciències del Mar, CSIC, Espanya  
 ICREA, Institució Catalana de Recerca i Estudis Avançats  
 IEO, Instituto Español de Oceanografía, CSIC, Espanya  
 ISMAR-CNR, Istituto di Scienze Marine, Itàlia  
 JPL, Jet Propulsion Laboratory, NASA, USA  
 KNMI, Royal Netherlands Meteorological Institute, Holanda  
 LECOB, Observatoire Oceanologique Banyuls sur Mer, CNRS-Sorbonne Université, França  
 NASA, National Aeronautics and Space Administration, USA  
 NOAA, National Oceanic and Atmospheric Administration, USA  
 NUIST, Nanjing University of Information Science & Technology, Xina  
 OSR, Oficina de Suport a la Recerca, ICM, Espanya  
 PIV, UdG, Politècnica IV, Universitat de Girona, Espanya  
 SARTI-MAR, Universitat Politècnica de Catalunya, Espanya  
 SCT, Serveis Científicotècnics, ICM, Espanya  
 SG, Serveis Generals, ICM, Espanya  
 SIO, Scripps Institution of Oceanography, USA  
 UB, Universitat de Barcelona, Espanya  
 UDC, Unitat de Divulgació i Comunicació, ICM, Espanya  
 UTM, Unitat de Tecnologia Marina, CSIC, Espanya



# Índex temàtic

3Rs, principi de les	108-110	biomassa	142-144
acidificació	50-52, 136-138	bioremediació	20-23
activitat antropogènica	21-26	biota antàrtica	71-73
activitats culturals, educatives		biotecnologia blava	20-23
i de sensibilització	231-233, 236-238, 239-241, 242-244, 245-247	bivalves	111-113
additius	36-37	boia oceanogràfica	180-182, 201-203
ADN	20-23, 50-52, 105-107, 136-138, 145-147	bomba	
aerosols	124-126	biològica del carboni	47-49, 151-153
albedo	93-95	microbiana de carboni	56-58
Albert Figueras	9-13	bones pràctiques oceàniques	228-230
Albert Palanques	9-13	<i>Bosc Ancestral</i>	245-247
algicultura	102-104	brossa marina	33-35
alquenones	164-165	bucle microbià	102-104
amenaces de l'oceà	228-230	Buenaventura Andreu	9-13
Andrés Maldonado	9-13	cables submarins	210-211
Antàrtida	156-157	<i>Calanus helgolandicus</i>	148-150
Antropocè	36-37, 65-67, 245-247	calibració	180-182
antropofonia	30-32	campanyes	186-189, 198-200, 207-209, 236-238, 239-241
àrees protegides marines	114-116	canvi	
Argo	201-203, 204-206	climàtic	27-29, 30-32, 62-64, 68-70, 71-73, 84-86, 96-98, 111-113, 156-157, 222-224, 225-227, 228-230, 234-235
art i ciència	245-247	global	50-52, 80-83, 136-138, 222-224, 231-233, 245-247
atmosfera	124-126	captació de calor	44-46
AUV, vehicle submergible autònom	198-200, 204-206	carbó antropogènic	44-46
avaluacions de risc	80-83	Carles Bas	9-13
balanç d'energia	124-126	Cenozoic	164-165
Barcelona Mar de Ciència	15-17	Centre Mediterrani d'Investigacions Marines i Ambientals	9-13
barreja vertical	96-98	cianobacteris	145-147
base antàrtica	190-191	cicle hidrològic	40-43
batimetria	130-132	ciència	
benestar animal	108-110	ciutadana	214-216, 217-219, 231-233, 234-235, 242-244
bentos	71-73	i societat	231-233
Biennal Ciutat i Ciència 2021	15-17	inclusiva	9-13
big-data	186-189	per a la sostenibilitat	222-224, 228-230, 231-233, 242-244
biodiversitat	105-107		
bioètica	108-110		
biofonia	30-32		
biogeoquímica	50-52, 161-163		
biomagnificació	27-29, 36-37		

cinta transportadora oceànica global	44-46	culturòmica	214-216
circulació		dades	
oceànica	156-157, 201-203	al núvol	186-189
termohalina	93-95, 133-135	FAIR	207-209, 214-216, 217-219
ciutadania oceànica	225-227	obertes	207-209, 217-219
clorofil·la	96-98, 142-144, 145-147	Dècada	
co-creació	228-230, 245-247	de la Ciència Oceànica per al	
co-gestió	77-79, 120-121	Desenvolupament Sostenible	228-230
col·leccions científiques	192-193, 194-195	de l'Oceà	9-13, 222-224, 228-230
Comissió Europea	225-227	programa <i>Ocean Cities</i>	15-17, 228-230
Comitè Extern d'Assessorament		desenvolupament harmònic	222-224
Científic	15-17	desplaçaments de comunitats	148-150
complexitat	40-43, 222-224	diàleg	231-233, 236-238, 239-241, 242-244, 245-247
compromís	15-17, 108-110, 120-121, 161-163, 196-197, 214-216, 217-219, 225-227, 228-230, 231-233, 234-235	diaris de campanya	236-238, 239-241
conductivitat-temperatura-profunditat (CTD)	133-135	<i>digital object identifier</i> (DOI)	207-209
coneixement		diòxid de carboni	158-160
científic	9-13, 47-49, 65-67, 87-89, 236-238, 242-244, 245-247	dispersió microbiana	53-55
tradicional	242-244	dispersòmetre	127-129, 180-182
connectivitat	53-55	dissolució	158-160
connexió amb l'oceà	225-227, 242-244, 245-247	divulgació científica	242-244
consciència planetària	40-43	Dolors Blasco	9-13
Consell Social	15-17	dones oceanògrafes, visibilitat	196-197, 236-238, 239-241
conservació	74-76, 192-193, 214-216, 217-219	ecologia microbiana aquàtica	53-55
marina	65-67, 80-83	economia blava	20-23, 222-224
contaminants	20-23, 36-37	ecosistemes	15-17, 27-29, 33-35, 36-37, 47-49, 50-52, 53-55, 56-58, 59-61, 74-76, 114-116, 161-163, 225-227, 228-230, 234-235, 236-238, 242-244
orgànics	21-26	marins vulnerables	74-76
convecció profunda	99-101	conservació i ús sostenible	9-13, 15-17, 80-83, 105-107, 111-113, 161-163, 222-224, 225-227
Conveni de Minamata	27-29	eines òmiques	105-107
cor blau	234-235	embarcacions	217-219
coral del mar	30-32	emergència climàtica	40-43, 156-157, 231-233
coralls	30-32, 59-61, 74-76, 77-79	emoció	222-224, 225-227, 231-233, 239-241, 245-247
Cornide de Saavedra	186-189, 190-191	Enrique Macpherson	9-13
corrents	194-195, 201-203, 204-206	Enrique Tortosa	9-13
oceànics	40-43, 93-95	entropia	40-43, 222-224
costa	177-179	equilibri químic	158-160
creativitat	225-227, 231-233, 245-247	radiatiu	93-95
crinoïdeus	68-70	erosió	168-170
crisi climàtica	124-126, 242-244		
cultura			
científica marina	231-233		
oceànica	228-230, 236-238, 239-241, 242-244		

erupció volcànica	168-170	gel	44-46
escalfament global	124-126	generació i transmissió de coneixement	221-247
escenaris d'impacte	174-176	genòmica	105-107
esllavissades		geofonia	30-32
sedimentàries	168-170	gestió	
submarines	171-173	científica	190-191, 194-195, 214-216
espais de debat i diàleg	15-17, 196-197, 231-233, 242-244, 245-247	costanera	177-179
espècies		de dades	192-193, 207-209
carismàtiques	65-67	de recursos	161-163
clau	65-67	pesquera	161-163
indicadores	65-67	glacial/interglacial	164-165
paraigües	65-67	governança	77-79, 225-227, 228-230, 242-244
estequiometria	145-147	hàbitats bentònics	68-70
estratègies		hàbits de consum	231-233, 234-235
d'adaptació	87-89	homeòstasi	222-224
reproductores	62-64	ICM Divulga	231-233, 236-238, 239-241, 242-244, 245-247
estratificació tèrmica	99-101	ICTS	
estructures tridimensionals	111-113	BAEs	9-13
<i>European Research Council</i>	15-17	FLOTA	9-13
evolució		<i>iEcology</i>	214-216
com a espècie	222-224	igualtat de gènere	196-197
costanera	87-89	impacte pesquer	68-70
geològica	127-129	indicadors bio-ecològics	117-119
Excel·lència Severo Ochoa	9-13, 15-17	innovacions biològiques	59-61
experimentació animal	108-110	insolació	96-98
exploració	154-155	Institut d'Aqüicultura Torre de la Sal	9-13
factories microbianes	59-61	Institut de Biologia Aplicada	9-13
falles sísmiques	168-170	Institut de Ciències del Mar	9-13, 15-17
fibra òptica	210-211	Instituto de Ciencias Marinas de Andalucía	9-13
fisiologia oceànica	40-43	Instituto de Investigaciones Pesqueras	9-13
fitoplàncton	15-17, 40-43, 99-101, 145-147, 156-157	Instituto de Investigaciones Mariñas	9-13
flota	190-191, 194-195, 198-200	Instituto Español de Oceanografía	9-13
fluxos		interaccions	
continentals	154-155	fiscobiològiques	62-64, 133-135
turbidítics	130-132	oceà-clima	15-17
fons		interdisciplinar	236-238, 239-241, 245-247
marins	130-132	interoperabilitat	186-189, 207-209, 214-216
mòbils	168-170	investigació i innovació responsable	236-238
fotosíntesi	9-13, 56-58, 151-153, 222-224	isòtops	158-160
Francisco García del Cid	9-13	Jordi Sorribas	9-13
funció ecosistèmica	68-70	José Maria Albareda	9-13
fusió del gel	156-157	Josefina Castellví	9-13
Gaia	40-43	Josep Lluís Pelegrí	9-13
gasos efecte hivernacle	93-95	Juan José Dañobeitia	9-13
		justícia social	222-224, 231-233

Lagrangiana	201-203	nutrients	96-98, 102-104, 142-144
larves de peixos	62-64	objectiu del desenvolupament	
litoral	154-155	sostenible (ODS)	222-224, 225-227, 228-230, 231-233, 242-244
maërl	68-70	observadors del mar	242-244
marcadors epigenètics	105-107	oceà	
marges continentals	127-129	Àrtic	156-157
Marta Estrada	9-13	Austral	44-46, 71-73
masses d'aigua	142-144, 201-203	global	44-46, 156-157, 234-235
matèria orgànica		<i>Ocean Cities</i>	15-17, 228-230
dissolta	151-153	Oficina de Suport a la Recerca	15-17
particulada	114-116, 151-153, 154-155, 161-163, 234-235, 236-238, 242-244	paleoceanografia	164-165
mecanismes de mitigació	15-17	Panell Intergovernamental de	
Mediterrani nord-occidental	62-64	Canvi Climàtic (IPCC)	161-163
medusa	177-179, 212-213	participació ciutadana	217-219
picades, prevenció	212-213	patrimoni ambiental	231-233
mercuri	27-29	perfil sísmic	127-129
metabolisme planetari	40-43, 133-135, 180-182	pesca	117-119
metacomunitats	53-55	artesanal	77-79
metadades	186-189, 192-193, 207-209	fantasma	77-79
metalls		tradicional	120-121
pesants	21-26	pesqueres demersals	114-116
traça	21-26	pH	158-160
metilmercuri	27-29	plàncton	47-49, 139-141
microalgues	145-147	planeta	
microescala	139-141	saludable	15-17
<i>Micromonas pusilla</i>	136-138	viu	40-43, 222-224
microorganismes	20-23, 50-52, 136-138	Plasticè	36-37, 68-70, 99-101, 133-135, 136-138, 156-157, 168-170
heteròtrofs	102-104	plastiglomerats	36-37
marins	20-23	plataforma	
microplàstics	33-35, 50-52	autònoma	214-216
microscòpia electrònica	145-147	continental	74-76
microzooplàncton	148-150	polinies	44-46
missió		pràctiques col·laboratives	242-244
SMOS (Soil Moisture and Ocean		primers auxilis	212-213
Salinity)	133-135	processos	
Starfish 2030	225-227	marins	71-73
mitigació del bycatch	77-79	sedimentaris	127-129
models de proliferació	177-179	producció primària	96-98, 102-104
monitoratge	198-200, 204-206, 210-211, 217-219	productes naturals	111-113
a llarg termini	99-101	Programa <i>Horizon Europe</i>	15-17, 225-227
de la salut dels oceans	65-67, 80-83	Projecte ResBios	236-238
no invasiu	114-116	proliferació d'algues	96-98
moviment <i>ArtScience</i>	245-247	nocives	56-58
		protecció	
		animal	108-110
		dels oceans	245-247



qualitat de l'aigua	154-155	sobreexplotació	114-116, 117-119, 120-121
radiació lluminosa	142-144	societat civil	231-233
Ramon Margalef	9-13	sofre	124-126
reciclatge de matèria orgànica	151-153	sonda GPS de caiguda lliure	180-182
recursos		sonso	120-121, 145-147
educatius	225-227, 236-238, 239-241	soroll	
marins	117-119	de fons	30-32
Redfield, estequiometria	145-147	subaquàtic	30-32
regulador climàtic	44-46	sostenibilitat	117-119
remineralització	96-98, 145-147	suport científic tècnic	190-191
residus marins	33-35	taxonomia	136-138
resiliència	47-49, 62-64, 148-150, 177-179, 222-224, 234-235	tecnologies de seguiment	80-83
de les platges	87-89	tectònica	130-132
respiració	148-150	telecomunicacions	186-189, 210-211
restauració	111-113, 114-116	temperatura	139-141
bentònica	74-76	terratrèmol	174-176, 210-211
d'ecosistemes	161-163	testimonis de sediment	127-129, 192-193
retroalimentacions climàtiques		transcriptòmica	105-107
complexes	148-150	transició	
riscos	171-173	energètica	84-86
geològics marins	168-170	evolutiva	59-61
naturals i antropogènics	15-17	transport	
robòtica marina	114-116	marítim	84-86
Rosa Flos	9-13	renovable	33-35, 53-55, 71-73, 84-86, 130-132, 133-135, 142-144, 151-153, 225-227
salinitat	127-129, 133-135	trencament del talús	171-173
salut		tsunami	171-173
dels oceans	84-86	turbulència marina	139-141
planetària	40-43, 59-61, 239-241	UNESCO	9-13, 15-17, 36-37, 102-104, 111-113, 161-163, 222-224, 225-227, 228-230, 236-238, 242-244
satèl·lit	164-165	Unitat de Tecnologia Marina	9-13, 190-191, 204-206, 207-209
sediments		V/O García del Cid	9-13, 30-32, 174-176, 186-189, 190-191
costaners	21-26	V/O Hespérides	9-13
marins	171-173, 192-193, 217-219	V/O Sarmiento de Gamboa	9-13, 190-191, 198-200
segregat de carboni	50-52, 151-153	vaixells oceanogràfics	186-189, 190-191, 198-200, 201-203, 207-209, 236-238, 239-241
sensibilització ambiental	231-233, 234-235, 239-241, 245-247	variabilitat en el reclutament	62-64
sensors		vents	96-98
oceanogràfics	198-200, 201-203, 204-206, 210-211	atmosfèrics	93-95
remots	80-83		
serveis ecosistèmics	111-113		
simbiogènesi	47-49		
simbiosi marina	59-61		
sísmica	192-193, 210-211		
sistema			
CRISPR-CAS9	20-23		
Global d'Observació de Mercuri	27-29		

extrems	180-182	visualització de dades	207-209
vessament de rius	99-101	voluntariat	214-216
vida			
flux	40-43	xarxa	
procés	40-43	escoles marines	236-238, 239-241
substància	40-43	tròfica	139-141
vigilància i alerta marina	174-176	tròfica marina	47-49
visibilitat	196-197		



Els investigadors i tecnòlegs dels centres de recerca i tecnologia tenim la gran fortuna de treballar en temàtiques que, a més d'interessants i creatives, poden contribuir efectivament envers un desenvolupament integral de l'espècie humana. La Dècada de la Ciència Oceànica per al Desenvolupament Sostenible fa palès aquest repte en un moment on l'impacte antròpic, sigui en forma de canvi global o canvi climàtic, ens urgeix a prendre un nou rumb, a cercar nous models per a relacionar-nos entre nosaltres i amb la natura. La Dècada dels Oceans posa el focus en l'oportunitat, sorgida de la grandesa i complexitat dels oceans, que tenen les ciències oceàniques per a tornar-se inclusives i transformadores envers un futur compartit de justícia social, sostenibilitat ambiental i evolució humana individual i col·lectiva.



2021 Dècada de les Nacions Unides  
de la Ciència Oceànica  
2030 per al Desenvolupament Sostenible



**Institut  
de Ciències  
del Mar**



GOBIERNO  
DE ESPAÑA  
MINISTERIO  
DE CIENCIA  
E INNOVACIÓN



**CSIC**  
CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS

EDITORIAL  
**CSIC**

ISBN: 978-84-00-10969-1

