

# CANVI GLOBAL EN EL MAR

## Més enllà de l'escalfament global

### Oceans estressats globalment a l'antropocè

14/12/2020 - Carles Pelejero i Eva Calvo

La petjada de les activitats humanes sobre el planeta és tan profunda que molts científics ja suggereixen que hem entrat en una nova època geològica, l'antropocè. D'entre aquestes activitats, les que venen acompanyades de grans emissions de diòxid de carboni (CO<sub>2</sub>) afecten d'una manera global tot el planeta i, sobretot, els oceans. Aquests, a banda d'escalfar-se, es tornen progressivament més àcids i menys oxigenats. En aquest article discutim l'abast d'aquests estressos globals sobre els oceans després de contextualitzar aquest desorbitat augment antropogènic de CO<sub>2</sub> i de veure com es distribueix. Acabem amb una discussió sobre possibilitats de mitigació a través dels oceans mateixos, tot recalçant la necessitat imperiosa i urgent d'atacar el problema, sobretot durant aquesta dècada que hem començat.

### L'augment desorbitat de CO<sub>2</sub> a l'atmosfera

Un dels exemples més gràfics i palpables per tal d'ajudar a copsar la magnitud del problema de les emissions antropogèniques de CO<sub>2</sub> és la comparació de les concentracions atmosfèriques d'aquest gas d'efecte d'hivernacle en les darreres dècades amb les del passat. De dades instrumentals modernes en tenim des que en Charles David Keeling, de manera pionera, va començar a fer-ne mesures, ara fa més de seixanta anys, a Mauna Loa, Hawaii, a 3.400 m d'altitud, tot iniciant el que ara es coneix com la corba de Keeling.

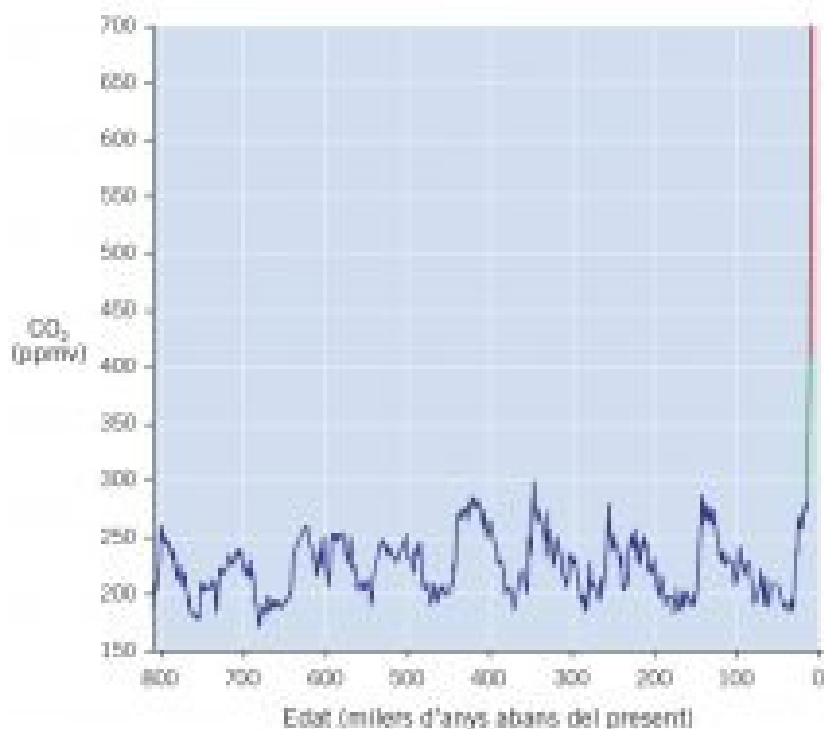


Figura 1. Concentració de CO<sub>2</sub> a l'atmosfera (en ppmv, parts per milió en volum) per als darrers 800.000 anys i fins a l'època preindustrial (en blau, mesures en testimonis de gel de l'Antàrtida; dades de Lüthi et al. [2008]), darrers segles i fins a l'actualitat (en verd, mesures en testimonis de gel i instrumentals; dades del projecte The Keeling Curve, de la Institució Scripps d'Oceanografia de la Universitat de San Diego de Califòrnia) i projeccions de futur fins a finals del segle XXI segons escenaris intermedis (en vermell). /Font: Els autors a partir de les fonts citades

La seva primera anàlisi, el març de l'any 1958, va donar 313 ppmv (parts per milió en volum). Des de llavors, les concentracions de CO<sub>2</sub> a dalt d'aquest cim –triat per a obtenir un valor mitjà de l'atmosfera, sense influència de zones industrials properes o de grans masses de vegetació– han augmentat de manera contínua i progressiva, tot seguint petits cicles anuals, i van travessar la barrera de les 400 ppm el maig de 2013. La mitjana durant l'any 2019 va ser de 411 ppm i, en els darrers anys, el CO<sub>2</sub> atmosfèric ha anat augmentant entre 2 i 3 ppm cada any.

Per a períodes anteriors a l'inici de la corba de Keeling, abans de l'any 1958, disposem d'uns testimonis valuosíssims en el gel que s'ha anat

acumulat durant centenars de milers d'anys a l'Antàrtida (Alley, 2014). A mesura que aquest gel es va compactant, l'aire hi queda atrapat en forma de petites bombolles, que preserven un registre extraordinari de la composició de l'atmosfera en el passat. En algunes zones de l'Antàrtida arribem a trobar acumulacions de més de tres quilòmetres de gel. Va ser a començament de la dècada dels vuitanta quan, a través de l'estudi d'aquests testimonis de gel, es va descobrir que, en la darrera època glacial, ara fa aproximadament 20.000 anys, la concentració de CO<sub>2</sub> a l'aire havia estat significativament inferior a l'actual (Delmas, Ascencio i Legrand, 1980). Després de pràcticament trenta anys d'estudi de nous testimonis de gel, es va aconseguir un registre continu del CO<sub>2</sub> atmosfèric per als darrers 800.000 anys, que incloïa un seguit de cicles glacial/interglacial (Lüthi et al., 2008). Recentment, s'ha aconseguir determinar les concentracions de CO<sub>2</sub> a través de l'anàlisi de gel antàrtic per a períodes anteriors, de fins a dos milions d'anys, però encara no disposem d'un registre continu que abrasi tant de temps (Yan et al., 2019).

«El CO<sub>2</sub> que absorbeixen els oceans intervé en una sèrie d'equilibris químics i provoca una progressiva acidificació de les seves aigües»

Tal i com es pot observar a la Figura 1, el registre continu de CO<sub>2</sub> atmosfèric per als darrers 800.000 anys mostra valors que oscil·len entre les 180 ppm durant els períodes glacials, freds, i les 280 ppm durant els interglacials, càlids. En aquest context, els valors actuals, ja superiors a 410 ppm, queden clarament fora d'escala en la variabilitat natural del CO<sub>2</sub> atmosfèric, com a mínim, per als darrers 800.000 anys. En funció dels models socioeconòmics del futur, de les polítiques energètiques i de l'augment de la població, la concentració de CO<sub>2</sub> a l'atmosfera prendrà diferents trajectòries, que podrien sobrepassar les 1.000 ppm a finals de segle segons els escenaris més pessimistes, o assolir valors inferiors a les 500 ppm segons els més optimistes (Fuss et al., 2014).

## Com es distribueix aquest CO<sub>2</sub>?

Fonamentalment, el CO<sub>2</sub> que emetem els humans a l'atmosfera es distribueix en tres grans compartiments: atmosfera, continents i oceans (Figura 2). Durant el període 2009-2018, es calcula que el 44 % del CO<sub>2</sub> emès va anar a parar a l'atmosfera, el 29 % als continents a través de la seva fixació per les plantes terrestres, i el 23 % el van absorbir els mars i oceans, amb un 4 % restant que representa el desajust que existeix actualment entre el còmput de les emissions globals i el dels seus embornals (Friedlingstein et al., 2019). Aquests còmputs es fan de manera independent i, a causa de les incerteses que presenten, sovint emissions i embornals no coincideixen perfectament.

### «Els oceans i els ecosistemes marins es veuen afectats per múltiples estressos relacionats amb les activitats humanes»

Un desajust positiu, com en aquest cas, vol dir que o les emissions s'estan sobrevalorant, o les estimacions dels embornals són menors a les reals. Hem d'agrair, per tant, que no tot el CO<sub>2</sub> que emetem els humans a través de la crema de combustibles fòssils quedi acumulat a l'atmosfera i, en especial, que les plantes terrestres i les aigües dels oceans l'absorbeixin. En cas que no fos així, la

concentració de CO<sub>2</sub> a l'atmosfera seria significativament més alta, i accentuaria, per tant, l'efecte d'hivernacle i l'escalfament global del planeta. No obstant això, tal i com es comenta més endavant, el CO<sub>2</sub> que absorbeixen els oceans intervé en una sèrie d'equilibris químics i provoca una progressiva acidificació de les seves aigües que condicionen el desenvolupament de molts organismes marins.



Figura 2. Emissions anuals de CO<sub>2</sub> (mitjana del període 2009-2018) derivades de la crema de combustibles fòssils i de la desforestació, i els tres compartiments que actuen com a embornals: atmosfera, vegetació terrestre i oceans. / Font: Adaptada de Global Carbon Project (2019)

## Estressos globals relacionats amb l'augment de CO<sub>2</sub>

Avui dia, els oceans i els ecosistemes marins es veuen afectats per múltiples estressos relacionats amb les activitats humanes, amb impactes que es manifesten tant a escala local com global. Exemples d'aquestes pressions inclouen la sobrepesca, la contaminació, les tècniques de pesca destructives, l'eutrofització (augment de nutrients), la destrucció de l'hàbitat, les invasions d'espècies i el tràfic marítim, entre d'altres. A banda d'aquestes pressions, n'hi ha tres en especial que tenen una estreta relació amb les emissions de CO<sub>2</sub> i el canvi climàtic i que es manifesten, en general, d'una manera molt global a tots els mars i oceans: l'escalfament, l'acidificació i la desoxigenació (Gruber, 2011).

### Oceans més calents

Sense cap mena de dubte –i els informes del Grup Intergovernamental sobre el Canvi Climàtic (IPCC, en les seves sigles en anglès) cada vegada són més clars i contundents al respecte–, l'augment desorbitat de CO<sub>2</sub> a l'atmosfera està provocant l'escalfament global de la Terra. Es calcula que, des de l'inici de la industrialització, la temperatura global de la superfície de la Terra ja s'ha escalfat un grau centígrad, aproximadament. En el cas dels oceans, bona part de l'excés de calor que experimenta la Terra a causa de l'efecte d'hivernacle, al voltant del 90 %, queda retingut a les seves aigües, la superfície de les quals s'ha escalfat, de mitjana, uns 0,6-0,8 °C des de l'època preindustrial fins als anys 2010. Depenent dels escenaris d'emissions futures, les temperatures superficials marines podrien augmentar entre 0,7 °C i 2,6 °C més, de mitjana, a finals del segle XXI, segons els escenaris més optimistes o pessimistes, respectivament, tal i com recopila un informe específic recent de l'IPCC sobre els oceans i la criosfera (IPCC, 2019). En menor proporció, però ja ben mesurable instrumentalment, les aigües profundes dels oceans també estan experimentant escalfament, fins i tot per sota dels 4.000 m, especialment a la zona de l'oceà Austral.

### «Bona part de l'excés de calor que experimenta la Terra a causa de l'efecte d'hivernacle queda retingut a les aigües dels oceans»

Aquest escalfament de les aigües està impactant de manera important en ecosistemes com els esculls de corall tropicals i el coral·ligen de la Mediterrània, els boscos marins, com els alguers de posidònia o els boscos de kelp, i les espècies del fitoplàncton,

entre d'altres. Les onades de calor marines, per exemple, cada vegada més freqüents, provoquen episodis d'emblanquiment de corall i mortalitats massives d'espècies sèssils. A la Gran Barrera de Corall, a la costa nord-oriental d'Austràlia, per exemple, l'onada de calor marina del 2016 va provocar la mort d'una tercera part dels coralls més superficials (GBRMPA, 2017).

## Oceans més àcids

A banda de l'escalfament global de les aigües marines, des de fa aproximadament quinze anys s'ha estudiat amb intensitat una altra problemàtica global que també té la seva arrel en l'augment desorbitat del CO<sub>2</sub> atmosfèric. A mesura que aquest gas d'efecte d'hivernacle es dissol en l'aigua de mar, intervé en una sèrie de reaccions químiques, els equilibris entre l'àcid carbònic i els ions bicarbonat i carbonat, fet que resulta en un augment de la concentració de protons, és a dir, en un augment de l'acidesa o corrosivitat de les aigües. Es calcula que el pH de l'aigua superficial dels oceans ha disminuït, de mitjana, unes 0,1 unitats des de l'època preindustrial fins als anys 2010 (Pelejero, Calvo i Hoegh-Guldberg, 2010). Durant les darreres dècades, el pH està disminuint a velocitats d'entre 0,017 i 0,027 unitats per dècada i, depenent dels escenaris d'emissions futures, el pH superficial marí podria disminuir entre 0,04 i 0,29 unitats més, de mitjana, a finals del segle XXI, segons els escenaris més optimistes o pessimistes, respectivament (IPCC, 2019) (Figura 3).

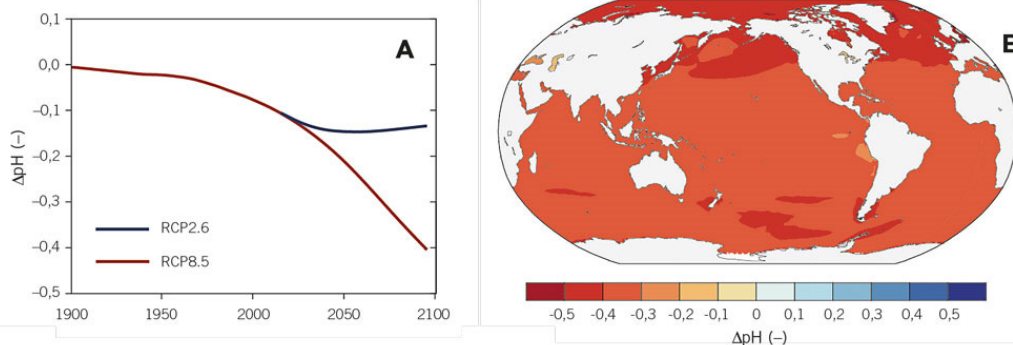


Figura 3. A) Simulació dels canvis passats i futurs del pH superficial global dels oceans, segons escenaris optimistes (RCP2.6) i pessimistes (RCP8.5). B) Canvis en el pH superficial dels oceans per a finals del segle XXI en relació amb el període 1850-1900 segons un escenari pessimista (RCP8.5). Vegeu Fuss et al. (2014) per a més informació sobre els escenaris d'emissions RCP (de l'anglès, representative concentration pathways). / Font: IPCC (2019, p. 470)

Aquest canvi en la química de les aigües comporta moltes repercussions per als organismes marins, sobretot per als que construeixen estructures de carbonat càlcic, com ara els coralls, bivalves, gasteròpodes, crustacis i les algues coccolitoforals. En condicions de major acidesa aquests organismes solen tenir més dificultat per construir les seves closques, estructures i esquelets que,

al seu torn, són també més propensos a deteriorar-se i dissoldre's. L'acidificació és un estrès global addicional al de l'escalfament i, sovint, tots dos interaccionen de manera sinèrgica en les afectacions dels organismes marins. Els coralls tropicals, per exemple, que ja es veuen afectats de manera molt significativa per l'escalfament global, quan a més hi afegim l'acidificació, que fa que les seves estructures siguin més fràgils i vulnerables, tenen menys opcions de recuperar-se, per exemple, després d'un esdeveniment d'emblanquiment (Figura 4).



Figura 4. L'acidificació, causada per la dissolució de diòxid de carboni en l'aigua, produeix un estrès afegit en els coralls i altres organismes que construeixen estructures de carbonat càlcic, que tenen menys capacitat per a regenerar-se després d'un procés d'emblanquiment com el de la imatge, a la Gran Barrera de Corall d'Austràlia. / Foto: The Ocean Agency / XL Catlin Seaview Survey

## Oceans menys oxigenats

Més darrerament, entre els últims cinc i deu anys, un tercer estrès global que està centrant també molta atenció de la comunitat científica marina és la progressiva desoxigenació de les aigües. Aquest fenomen també està estretament relacionat amb l'augment de CO<sub>2</sub> a l'atmosfera i el canvi climàtic. En part, és degut a l'escalfament de les aigües.

**«Alguns treballs apunten que, durant les darreres cinc dècades, el contingut d'oxigen dels oceans ha disminuït en un 2 %»**

Com més calenta és l'aigua, menys solubles hi són els gasos dissolts. En condicions de més temperatura, l'oxigen gas té més tendència a sortir de l'aigua cap a l'aire. A diferència de l'escalfament i l'acidificació, que es manifesten de manera més intensa a la superfície dels oceans, la problemàtica de la desoxigenació global, a mar obert, és més important en zones profundes; les capes més superficials solen estar ben oxigenades. També hi ha una dependència de la conca oceànica. L'oceà Atlàntic, per exemple, està més ben ventilat i, per tant, més ben oxigenat que l'oceà Índic o el Pacífic, que és el que mostra uns nivells més baixos d'oxigen, sobretot en les capes intermèdies. Els nivells d'oxigen en l'oceà Pacífic equatorial, entre uns 200 i 1.000 m de profunditat, són especialment baixos. Pel que fa als animals marins, en aquestes regions pobres en oxigen únicament hi trobem espècies adaptades a viure en aquestes condicions químiques, com ara determinades espècies de peixos demersals, o alguns cefalòpodes com el calamar gegant. L'escalfament de les aigües també resulta en una major estratificació de la columna d'aigua i menor ventilació, cosa que contribueix també en la progressiva desoxigenació. A més, unes condicions més calentes intensifiquen el metabolisme dels organismes marins, amb el consegüent increment de la demanda d'oxigen per a la respiració. En algunes zones costaneres, la producció excessiva de

matèria orgànica deguda a processos d'eutrofització també pot donar lloc, localment, a zones amb nivells baixos d'oxigen. Alguns treballs apunten que, durant les darreres cinc dècades, el contingut d'oxigen dels oceans ha disminuït en un 2 % (Schmidtko, Stramma i Visbeck, 2017). Depenent dels escenaris d'emissions futures, les concentracions d'oxigen dissolt a la columna d'aigua dels oceans podrien disminuir entre un 1,8 % i un 3,5 % més, de mitjana, a finals del segle XXI, segons els escenaris més optimistes o pessimistes, respectivament (IPCC, 2019) (Figura 5).

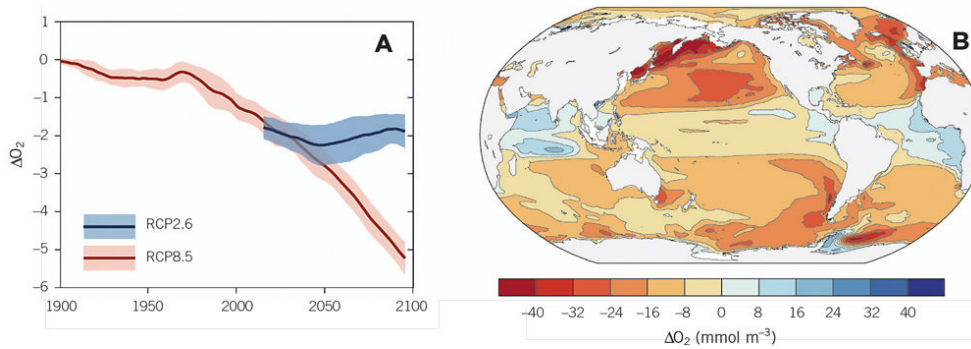


Figura 5. A) Simulació dels canvis passats i futurs en la concentració mitjana d'oxigen dissolt de la columna d'aigua entre 100 i 600 m de fondària, segons escenaris optimistes (RCP2.6) i pessimistes (RCP8.5). B) Canvis espacials en la concentració mitjana d'oxigen dissolt de la columna d'aigua entre 100 i 600 m de fondària per finals del segle XXI en relació amb el període 1850 – 1900 segons un escenari pessimista (RCP8.5). Vegeu Fuss et al. (2014) per a més informació sobre els escenaris d'emissions RCP (de l'anglès, representative concentration pathways). / Font: IPCC (2019, p. 470)

## Com atacar el problema: acords internacionals

En la Conferència de les Nacions Unides sobre el Canvi Climàtic celebrada el 2015 a París es va arribar a un important acord internacional per tal de reduir les emissions de CO<sub>2</sub>, que va entrar en vigor a finals de l'any 2016. Aquest acord pretenia que els països desenvolupats es comprometessin a reduir progressivament les emissions amb l'objectiu de mantenir l'augment de la temperatura mitjana mundial per sota de 2 °C respecte als valors preindustrials, tenint en compte que, actualment, l'increment és ja d'1 °C. No obstant això, els compromisos adoptats fins al moment pels diferents països ens deixen encara lluny de l'objectiu de París. Amb posterioritat, un informe especial (IPCC, 2018) va alertar que aquest escalfament de 2 °C, malgrat ser un objectiu ambiciós, no era suficient per evitar el desencadenament de canvis irreversibles. En especial, i en relació amb els oceans, era vital limitar l'escalfament a 1,5 °C per reduir els riscos per a la biodiversitat marina, la pesca i els ecosistemes marins així com les seves funcions i els serveis ecosistèmics que ens proporcionen als humans.

Entre els efectes del canvi climàtic i els ecosistemes que corren més risc, es mencionaven la recent i alarmant disminució en l'extensió del gel marí de l'Àrtic i dels ecosistemes associats als esculls de corall tropicals. L'acord de París, per tant, és un bon acord internacional de partida per a atacar l'arrel del problema de tots aquests canvis globals que hem comentat, que són les desorbitades emissions antropogèniques de CO<sub>2</sub> però, idealment, caldria ser molt més dràstic amb la reducció d'emissions. De fet, tal i com es denuncia en informes i articles científics (vegeu Höhne et al., 2020; United Nations Environment Programme, 2019), en la darrera dècada s'ha fet ben poc en matèria de polítiques dels països per avançar en aquesta direcció.

## Possibles solucions en els oceans mateixos

De cara a reduir les emissions de CO<sub>2</sub> i altres gasos amb efecte d'hivernacle, de fet, als oceans mateixos hi podem trobar algunes de les solucions. Això és el que se suggereix, per exemple, en un informe recent que proposa una sèrie de camps d'acció amb base en els oceans per a la mitigació de les emissions (Hoegh-Guldberg, 2019). Els oceans ofereixen, per exemple, un gran potencial en energies renovables, a través de l'aprofitament de l'energia associada amb els corrents marins, les mareas i les ones, o amb la instal·lació de camps eòlics marins. No obstant això, cal tenir en compte que moltes d'aquestes estan encara en fase de recerca o pilot i que, per tant, cal fer un gran esforç de recerca i d'implementació. D'altra banda, és essencial reduir les emissions derivades del transport marítim, que avui dia representen aproximadament el 2-3 % de totes les emissions antropogèniques de CO<sub>2</sub>, i això es pot aconseguir augmentant l'eficiència energètica; és a dir, disminuint l'energia necessària per a moure els vaixells, o substituint els combustibles fòssils per d'altres combustibles que no produeixen emissions de carboni (per exemple, hidrogen, amoníac, o alguns biocombustibles). Pel que fa a la captació de carboni per part dels oceans, els anomenats boscos marins, que inclouen ecosistemes costaners com els boscos de kelp, alguers de posidònia (Figura 6), aiguamolls o manglars, són molt eficaços com a embornals de carboni (l'anomenat carboni blau), i capten, per hectàrea, deu vegades més de carboni que ecosistemes terrestres com, per exemple, els boscos tropicals (Mcleod et al., 2011).

### «El canvi en la química de les aigües comporta moltes repercussions per als organismes marins, sobretot per als que construeixen estructures de carbonat càlcic»

La protecció d'aquests ecosistemes, molt degradats per les activitats antròpiques i per l'escalfament global, és clau per a contribuir en la reducció de CO<sub>2</sub>, a banda del paper important que tenen aquests ecosistemes en la producció d'oxigen i en la protecció de la costa davant de temporals marins, ciclons i tsunamis i de la pujada del nivell del mar deguda al canvi climàtic. Relacionat també amb organismes marins, els cultius de macroalgues presenten gran potencial per a substituir compostos necessaris derivats del petroli o, fins i tot, com a possible complement alimentari per a reduir les emissions de metà dels remugants (Machado et al., 2016).



Figura 6. Els oceans poden jugar un paper important en la mitigació i reducció de les emissions de diòxid de carboni, bé com a potencial generador d'energia renovable o bé a través de la captació de carboni. Els boscos marins, com el de posidònia de la imatge, són efaços embornals de carboni. / Foto: Albert Kok – Public Domain

## Cal actuar urgentment

Aquesta dècada que ara comença és clau per mirar de revertir el problema o minimitzar-ne tant com es pugui els efectes. Tal com es diu al darrer informe sobre la bretxa d'emissions del programa de l'ONU pel medi ambient (United Nations Environment Programme, 2019), tenim molt poc marge de maniobra; no ens podem permetre una nova dècada com la darrera, sense prendre accions dràstiques, o serà impossible assolir l'objectiu d'escalfament màxim d'1,5 °C i, fins i tot, el de 2,0 °C (Höhne et al., 2020). Calen mesures urgents i concertades entre tots els països i tots els sectors. Cal ampliar i enfortir les polítiques actuals en matèria d'eficiència energètica, fomentar un transport i mobilitat amb les mínimes emissions de CO<sub>2</sub>, i estimular de manera ambiciosa una transició cap a energies renovables, essent sempre molt conscients de la limitació de recursos del planeta, que no es limita només als combustibles fòssils. Som la darrera generació capaç d'evitar canvis irreversibles i catastròfics, i la primera que ja comença a patir-ne els efectes. I no hauríem de perdre de vista que la problemàtica del canvi climàtic i el canvi global només es resoldrà amb una important transformació social. Tots hauríem de preguntar-nos quin és el món en què volem viure i el món que volem deixar a les futures generacions. És molt important que prenguem consciència de totes aquestes problemàtiques ambientals i de les afectacions que tenen a escala planetària, i que siguem conscients de la magnitud de la nostra petjada, ben equiparable als processos geològics del passat.

### Referències

- Alley, R. B. (2014). *The two-mile time machine: Ice cores, abrupt climate change, and our future* (Updated Edition). Princeton: Princeton University Press.
- Delmas, R. J., Ascencio, J.-M., & Legrand, M. (1980). Polar ice evidence that atmospheric CO<sub>2</sub> 20,000 yr BP was 50% of present. *Nature*, 284, 155–157. <https://doi.org/10.1038/284155a0>
- Friedlingstein, P., Jones, M. W., O'Sullivan, M., Andrew, R. M., Hauck, J., Peters, G. P., ... Zaehle, S. (2019). Global carbon budget 2019. *Earth System Science Data*, 11, 1783–1838. <https://doi.org/10.5194/essd-11-1783-2019>
- Fuss, S., Canadell, J. G., Peters, G. P., Tavoni, M., Andrew, R. M., Ciais, P., ... Yamagata, Y. (2014). Betting on negative emissions. *Nature Climate Change*, 4, 850–853. <https://doi.org/10.1038/nclimate2392>
- GBRMPA. (2017). Final report: 2016 coral bleaching event on the Great Barrier Reef. Townsville: GBRMPA (Great Barrier Reef Marine Park Authority). Consultat en <http://elibrary.gbrmpa.gov.au/jspui/bitstream/11017/3206/1/Final-report-2016-coral-bleaching-GBR.pdf>
- Global Carbon Project. (2019). Global carbon budget 2019. Consultat en [https://www.globalcarbonproject.org/carbonbudget/19/files/GCP\\_CarbonBudget\\_2019.pdf](https://www.globalcarbonproject.org/carbonbudget/19/files/GCP_CarbonBudget_2019.pdf)
- Gruber, N. (2011). Warming up, turning sour, losing breath: ocean biogeochemistry under global change. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 369(1943), 1980–1996. <https://doi.org/10.1098/rsta.2011.0003>
- Hoegh-Guldberg, O. (Coord.). (2019). *The ocean as a solution to climate change: Five opportunities for action*. Washington, DC: World Resources Institute. Consultat en [https://www.ourdynamicplanet.com/wp-content/uploads/2019/09/HLP\\_Ocean\\_Solution\\_Climate\\_Change.pdf](https://www.ourdynamicplanet.com/wp-content/uploads/2019/09/HLP_Ocean_Solution_Climate_Change.pdf)
- Höhne, N., Den Elzen, M., Rogelj, J., Metz, B., Fransen, T., Kuramochi, T., ... Dubash, N. K. (2020). Emissions: World has four times the work or one-third of the time. *Nature*, 579, 25–28. <https://doi.org/10.1038/d41586-020-00571-x>
- IPCC. (2018). *Global Warming of 1.5 °C*. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5 °C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. V. Masson-Delmotte, P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, ... T. Waterfield (Eds.). IPCC. Consultat en [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/06/SR15\\_Full\\_Report\\_High\\_Res.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/06/SR15_Full_Report_High_Res.pdf)
- IPCC. (2019). *IPCC special report on the ocean and cryosphere in a changing climate*. H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, ... N. M. Weyer (Eds.). Consultat en [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)
- Lüthi, D., Le Floch, M., Bereiter, B., Blunier, T., Barnola, J.-M., Siegenthaler, U., ... Stocker, T. F. (2008). High-resolution carbon dioxide concentration record 650,000–800,000 years before present. *Nature*, 453, 379–382. <https://doi.org/10.1038/nature06949>
- Machado, L., Magnusson, M., Paul, N. A., Kinley, R., de Nys, R., & Tomkins, N. (2016). Dose-response effects of *Asparagopsis taxiformis* and *Oedogonium* sp. on in vitro fermentation and methane production. *Journal of Applied Phycology*, 28, 1443–1452. <https://doi.org/10.1007/s10811-015-0639-9>
- McLeod, E., Chmura, G. L., Bouillon, S., Salm, R., Björk, M., Duarte, C. M., ... Silliman, B. R. (2011). A blueprint for blue carbon: Toward an improved understanding of the role of vegetated coastal habitats in sequestering CO<sub>2</sub>. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 9(10), 552–560. <https://doi.org/10.1890/110004>
- Pelejero, C., Calvo, E., & Hoegh-Guldberg, O. (2010). Paleo-perspectives on ocean acidification. *Trends in Ecology & Evolution*, 25(6), 332–344. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2010.02.002>
- Schmidtko, S., Stramma, L., & Visbeck, M. (2017). Decline in global oceanic oxygen content during the past five decades. *Nature*, 542, 335–339. <https://doi.org/10.1038/nature21399>
- United Nations Environment Programme. (2019). *Emissions gap report 2019*. Nairobi: UNEP.
- Yan, Y., Bender, M. L., Brook, E. J., Clifford, H. M., Kemeny, P. C., Kurbatov, A. V., ... Higgins, J. A. (2019). Two-million-year-old snapshots of atmospheric gases from Antarctic ice. *Nature*, 574, 663–666. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1692-3>

### Carles Pelejero

Professor d'investigació ICREA a l'Institut de Ciències del Mar de Barcelona (ICM-CSIC) (Espanya). Coordinador del Grup de Recerca en Biogeoquímica Marina i Canvi Global de la Generalitat de Catalunya. Membre del Grup d'Experts en Canvi Climàtic de Catalunya. La seva recerca, que abraça disciplines com la paleoclimatologia, la paleoceanografia i la química marina, se centra a entendre i quantificar els canvis en el clima i el medi marí, tant actualment com en el passat. [carles.pelejero@icrea.cat](mailto:carles.pelejero@icrea.cat)

### Eva Calvo

Científica titular de l'Institut de Ciències del Mar de Barcelona (ICM-CSIC) (Espanya). Membre del Grup de Recerca en Biogeoquímica Marina i Canvi Global de la Generalitat de Catalunya i del Grup d'Experts en Canvi Climàtic de Catalunya. La seva recerca inclou l'estudi dels climes del passat i la relació amb les variacions de CO<sub>2</sub> atmosfèric, així com la resposta i influència dels oceans en la variabilitat climàtica i l'impacte sobre els ecosistemes marins. [ecalvo@icm.csic.es](mailto:ecalvo@icm.csic.es)

# Microalgues tòxiques i canvi global

## Per què se n'han incrementat les proliferacions al litoral mediterrani?

14/12/2020 - Magda Vila, Jordi Camp i Elisa Berdalet

L'oceà i el continent conflueixen en una línia molt estreta però d'una gran rellevància per a la salut, el lleure i l'economia de la nostra societat. La costa mediterrània ha experimentat un gran canvi durant els darrers cinquanta anys que es posa de manifest en una alteració en les espècies de microalgues que hi viuen. Ara les proliferacions de dinoflagel·lades són un component habitual de les comunitats d'organismes microscòpics d'aquest ecosistema modificat pels éssers humans i pel canvi climàtic. L'increment en la freqüència de detecció de proliferacions de microalgues tòxiques ha estat clau per agafar consciència d'aquest canvi.

## Microalgues marines i mobilitat en un món globalitzat

En un planeta globalitzat i altament comunicat com és aquest en què vivim, el desplaçament humà des d'una punta del món a l'altra es realitza en poques hores. Les mercaderies, tot i que solen tardar una mica més, en qüestió de dies, setmanes o mesos acaben en indrets ben allunyats d'on van ser embarcades. En aquest vaivé de persones i mercaderies, sovint transportem, de manera accidental i involuntària, alguns organismes vius, tant els que podem veure a ull nu com els microscòpics (Hallegraeff, 1998). En aquest article ens centrarem a mostrar com microorganismes marins, concretament les microalgues, estan modificant la seva distribució geogràfica, sovint expandint-se cap a latituds més altes, i la relació que això té amb l'escalfament global i amb les activitats humanes.

### «L'impacte humà es tradueix en increments en la quantitat i qualitat de nutrients abocats als rius i al mar»

El problema es fa més aparent quan algunes d'aquestes espècies produeixen toxines que poden afectar la salut humana o l'ecosistema marí. En l'ecosistema terrestre, la pandèmia de COVID-19 que vivim actualment és un bon exemple de dispersió ràpida d'un patògen a partir d'un focus allunyat dels molts indrets que ha arribat a afectar. Aquesta redistribució d'organismes és un fet habitual en un planeta globalitzat. No obstant això, la problemàtica tan sols es posa de manifest quan s'expandeixen espècies que tenen repercussions negatives en la salut de les persones, l'ecosistema o l'economia.

Retornant a l'ecosistema aquàtic, les microalgues són els principals productors primaris de l'oceà. Les més conegudes formen part del fitoplàncton, que, com el seu nom indica <sup>1</sup>, són el conjunt d'organismes fotosintètics que no tenen la capacitat de moviment suficient per superar l'energia física del mar i, per tant, són arrossegats pels corrents marins i les onades. Entapissant el fons marí, o més globalment, proper, entre o sobre els grans de sorra, hi trobem el fitobentos.<sup>2</sup> Les microalgues marines, siguin planctòniques o bentòniques, estan experimentant en les darreres dècades una redistribució geogràfica de les seves espècies. Ens centrarem en el cas de la Mediterrània, aquesta mar semitancada envoltada per terres densament poblades, globalment considerada oligotròfica i amb un escàs forçament de marea.

## Pressions humanes sobre la costa i proliferacions de dinoflagel·lades

La dinàmica estacional del fitoplàncton en les latituds temperades presenta un període òptim, a finals d'hivern i principis de primavera, en què les microalgues proliferen i assoleixen abundàncies elevades. Amb l'agitació hivernal de la columna d'aigua ascendeixen nutrients de les aigües profundes a les capes superficials i, coincidint amb l'increment de llum i temperatura, es produeix un creixement de les comunitats de microalgues, principalment diatomees. Durant la primavera, les diferents comunitats planctòniques es van succeint tot consumint els nutrients de les capes superficials fins a gairebé exhaurir-los. El sol escalfa la superfície del mar i es forma la termoclina, una estructura de densitat que separa les capes superficials de les més profundes. Aquesta barrera física no permet l'arribada de més nutrients del fons. Per això, durant l'estiu, trobem una baixa abundància de microalgues planctòniques en les aigües mediterrànies superficials, fet que les fa clares i transparents. A la tardor es produeix un altre pic de producció, més moderat, quan torna a coincidir un nivell elevat d'irradiància amb un increment de nutrients originat pel trencament de la termoclina i la barreja de la columna d'aigua.



Figura 1A: Exemples de transformacions del litoral producte de l'acció humana: Urbanització d'Empuriabrava (Castelló d'Empúries, Girona), construïda a primera línia de mar en una zona d'aiguamolls. Les zones humides costaneres han estat pràcticament esborrades de l'ecosistema litoral mediterrani. / Foto: Jordi Camp

La pressió que exercim els humans sobre la costa és rellevant. I en una mar semitancada i tan poblada com la Mediterrània, l'efecte humà és encara més notable. El turisme fa que, durant els mesos d'estiu, algunes poblacions costaneres multipliquin la seva població entre deu i cent vegades. L'impacte humà es tradueix en increments en la quantitat i qualitat de nutrients abocats als rius i al mar que no sempre poden ser del tot eliminats pels sistemes de sanejament. D'aquesta manera, les aigües costaneres esdevenen més riques en

nutrients per efecte de la pressió humana del continent sobre la franja litoral. Els organismes fotosintètics (productors primaris) utilitzen aquests nutrients d'origen antròpic i creixen.

La urbanització de la zona costanera ha portat a una impermeabilització del sòl (Figura 1A). Les zones d'aiguamolls han estat pràcticament esborrades de l'ecosistema litoral, han estat pavimentades, i allò que en dècades passades actuava com un filtre natural de les aigües riques en nutrients que aporta el continent, ara són carrers i rieres pavimentades que no filtren, sinó que aboquen al mar costaner tot el que els arriba (Camp et al., 1998). Són meres canalitzacions d'aigua enriquida que fan que l'aigua del mar, a primera línia de costa, esdevingui més rica en nutrients. Els productors primaris utilitzen aquests nutrients i creixen.

### «En confinar les aigües marines costaneres en ports, hem creat unes condicions òptimes per al creixement de microalgues formadores de “marees roges”»

La cimentació o rigidesa de la costa també té un efecte important al mar. D'una banda, la construcció d'embassaments en les lleres fluvials ha reduït molt significativament l'aportació contínua de sediments a la zona costanera, sediments que, anys enrere, eren transportats per corrents costaners i distribuïts al llarg de la costa de manera que abastien de sorra les platges. En les platges urbanes també s'ha trencat el ritme de la natura, ja que els sistemes de dunes i llacunes costaneres han estat substituïts per passejos marítims i edificis a tocar de platja. Els temporals d'hivern que s'emporten la sorra de les platges deixen una platja erosionada, que no pot ser restablerta amb la sorra del sistema dunar perquè aquest no existeix, ni pels sediments que transporten els rius perquè s'han vist molt reduïts. Part de la sorra que s'ha emportat el mar queda acumulada en els espigons, que, construïts perpendicularment a la línia de costa, tallen la circulació costanera.

Així doncs, cal fer grans moviments de sorres per recuperar unes platges que d'altra manera es recuperarien soles. Així, any rere any, els governs destinen una part dels pressupostos per dur a terme diversos projectes de regeneració de platges. Es tracta d'actuacions costoses tant des del punt de vista econòmic com de l'ecològic, que resulten efímeres, fins l'arribada del proper temporal. La previsió en un escenari de canvi climàtic és que aquests siguin més freqüents i intensos, tal com ens va fer recordar a començament de 2020 el temporal Glòria.



Figura 1B: Port i platges de Cambrils, a Tarragona. La construcció de ports i espigons incrementa el volum d'aigües confinades, que són un hàbitat idoni per a les proliferacions de dinoflagel·lades. / Foto: Jordi Camp

Els ports i espigons (Figura 1B), però, tenen un altre paper. En confinar les aigües per donar recer a les embarcacions, creen masses d'aigua amb elevats temps de residència que permeten el creixement i acumulació de microalgues. Aigües tranquil·les, poc profundes, riques en nutrients i amb un temps de residència elevat són condicions idònies per al creixement de les dinoflagel·lades, un grup d'organismes del fitoplàncton que produeix proliferacions i discoloracions de l'aigua, conegudes popularment com a marees roges i científicament anomenades proliferacions d'algues nocives. D'altra

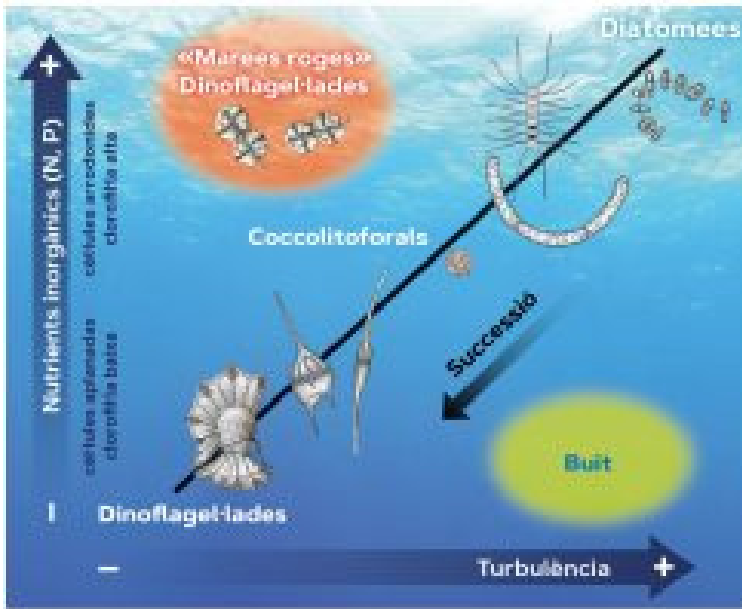
banda, les dinoflagel·lades són el grup d'organismes del fitoplàncton que tenen més representants d'espècies nocives o tòxiques.

### «Fa trenta anys, *Ostreopsis* era un gènere rar a la Mediterrània, detectat molt esporàdicament i en escasses abundàncies»

Segons el mandala de l'ecòleg Ramon Margalef (Margalef, 1978; Margalef, Estrada i Blasco, 1979; Figura 2), les dinoflagel·lades formadores de marees roges proliferen quan coincideixen elevats nutrients i baixa agitació de l'aigua. Tal com hem explicat més amunt, les entrades de nutrients solen estar relacionades amb l'agitació de la columna d'aigua que fa aflorar els nutrients del fons; per tant, és poc habitual trobar nutrients elevats en aigües tranquil·les. Aquestes circumstàncies es donen, de manera natural, en badies o prop de desembocadures de rius. Però els humans, confinant les aigües marines costaneres en ports, hem creat unes condicions òptimes per al creixement d'aquestes microalgues formadores de marees roges. El fet és que, quan es van implementar els programes de monitoratge d'espècies tòxiques a la Mediterrània en els anys noranta, ens vam trobar que les dinoflagel·lades formadores de proliferacions hi estaven molt ben representades. Això no va deixar de sorprendre'ns perquè, segons Margalef, la Mediterrània no tenia les característiques apropiades perquè hi poguessin tenir lloc les marees roges.

La nostra hipòtesi (Vila, Garcés, Masó i Camp, 2001) fou que l'ús recreatiu de la costa afavoreix les proliferacions de dinoflagel·lades; la construcció de ports –actualment n'hi ha uns cinquanta al llarg de la costa catalana, és a dir, trobem un port cada 8-10 km lineal de costa– genera cossos d'aigua semitancats amb notables concentracions de nutrients, temps de residència de l'aigua elevats (uns vint dies), baixa turbulència i baixa advecció en comparació amb aigües no confinades que afavoreixen aquestes proliferacions.

Les dinoflagel·lades tenen estratègies de comportament (natació, migració vertical activa i agregació) i produeixen compostos tòxics, ambdós aspectes implicats a reduir la depredació per part del zooplàncton (vegeu Selander et al., 2015; Smayda, 1997). Addicionalment, les concentracions de nutrients inorgànics i les seves relacions estequiomètriques indiquen que les zones caracteritzades per una elevada densitat humana tenen nivells més elevats d'amoni i fosfats i més limitació de silicats. Per tant,



afavoreixen el creixement de les dinoflagel·lades, en relació amb les diatomees, que necessiten el silicat per a construir les seves cobertes (frústuls) cel·lulars.

Figura 2. El mandala de Ramon Margalef és una representació esquemàtica que exposa com la successió estacional dels principals grups de fitoplàncton depèn de la concentració de nutrients i la turbulència o agitació de l'aigua. / Font: Adaptació visual del mandala de Margalef (1978)

Finalment, els ports són entorns ideals on els organismes que tenen formes de resistència (quists o llavors) poden romandre confinats en el sediment fins que les condicions mediambientals els indueixin a germinar (Anderson i Wall, 1978). La taxa de creixement activa d'una petita part de la població que germina es veu amplificada pel comportament de natació i agregació, per la reducció de la depredació per part del zooplàncton i pels factors físics favorables indicats anteriorment que propicien les proliferacions de dinoflagel·lades en els ports. Per tant, una costa amb molts

ports facilita la colonització i l'establiment de les noves espècies, al·lòctones, que hi arriben. Aquest és el cas, concretament, de les espècies del gènere *Alexandrium* (Vila et al., 2001), algunes de les quals són productores de toxines (saxitoxines) que produeixen simptomatologies paralitzants en persones que han ingerit mol·luscs bivalves contaminats amb aquests organismes (Berdalet et al., 2016).

## Platges entapissades per microalgues

Fa uns 20 o 25 anys es van començar a detectar proliferacions d'unes dinoflagel·lades bentòniques del gènere *Ostreopsis* en diferents platges mediterrànies durant els mesos d'estiu. En aquell moment, aquest gènere era conegut en àrees tropicals per formar part del grup de microorganismes (microbiota) acompanyant d'una dinoflagel·lada tòxica del gènere *Gambierdiscus*, causant d'una intoxicació alimentària tropical coneguda com a ciguatera (Friedman et al., 2017). L'increment de temperatura de l'aigua del mar sembla ser el factor desencadenant de l'establiment de diverses espècies tropicals a la Mediterrània, que en determinats casos substitueixen les comunitats natives. És el que es coneix com a tropicalització de la Mediterrània (Bianchi, Caroli, Guidetti i Morri, 2018).



Figura 3 (D'esquerra a dreta): Fins fa uns anys, no era habitual trobar dinoflagel·lades bentòniques del gènere *Ostreopsis*, més pròpies de zones tropicals, a les aigües de la Mediterrània. L'augment de la temperatura del mar sembla ser el factor desencadenant perquè aquestes espècies s'hi estiguin establint. En les imatges: A) Coloració de l'aigua durant una proliferació de la dinoflagel·lada bentònica *Ostreopsis*. / Foto: Elisa Berdalet. B) Aspecte del llit d'una platja poc fonda entapissat per una proliferació d'*Ostreopsis*. / Foto: Magda Vila.

*Ostreopsis* secreta una substància mucosa i enganxosa que la manté ancorada, de forma laxa, a les macroalgues (Figura 3). Aquesta habilitat li permet mantenir-se a la platja, prop de la superfície i proliferar de manera relativament ràpida, fent un dens entapissat de microalgues i mucíl·lag que recobreix el fons marí. A causa de l'agitació de l'onatge o d'altres factors, *Ostreopsis* es desprèn de la macroalga i es troba nedant per la columna d'aigua o surant en superfície, i d'aquesta manera es forma el que els francesos anomenen flors d'aigua. Aquestes proliferacions s'han relacionat amb mortalitats massives de fauna marina amb poca o nul·la mobilitat (eriçons, musclos), potser degudes a la limitació d'oxigen associada a la gran capa mucilaginosa que pot arribar a recobrir el llit marí, o bé a la producció de certes substàncies tòxiques (Giussani et al., 2016; Shears i Ross, 2009). Efectivament, *Ostreopsis* produeix ovatoxines que són anàlegs de la palitoxina.

La palitoxina s'ha relacionat amb casos letals d'intoxicació alimentària a l'oceà Índic en persones que havien consumit aliments marins contaminats amb aquests compostos. Aquestes toxines entren a la xarxa tròfica quan la fauna s'alimenta de macroalgues recobertes per *Ostreopsis*, i es transmeten fins a nivells tròfics superiors, incloent-hi els éssers humans (Berdalet et al., 2017). A la Mediterrània, determinades toxines associades a *Ostreopsis* s'han detectat en fauna marina diversa; no obstant això, no sembla que la



intoxicació alimentària sigui, fins a aquest moment, un problema a la Mediterrània. En canvi, les proliferacions massives d'*Ostreopsis* en aquesta àrea s'han associat amb irritacions respiratòries lleus (rinorrea, febre, malestar general, irritació dels ulls i del nas, etc.) en banyistes i persones exposades a l'aerosol marí en diverses platges d'Algèria, Espanya, França, Itàlia i Grècia (Vila, Abós-Herràndiz, Isern-Fontanet, Àlvarez i Berdalet, 2016).



Figura 3 (D'esquerra a dreta): C) Cèl·lula d'*Ostreopsis* al microscopi òptic. / Foto: Magda Vila. D) Aspecte d'una proliferació bentònica dominada per *Ostreopsis* al microscopi electrònic de rastreig. S'observa la xarxa de filaments que les cèl·lules secreten. / Foto: Magda Vila i José Manuel Fortuño

Un mecanisme similar, l'exposició a aerosols, s'ha confirmat com a causa de símptomes d'irritació respiratòria durant la proliferació de *Karenia brevis* al golf de Mèxic (Fleming et al., 2011). En aquest cas, l'enorme inversió científica feta durant dècades d'estudis entre diverses institucions ha proporcionat un coneixement sòlid que ja s'ha materialitzat en l'adequada gestió dels riscos ecològics i per a la salut al golf de Mèxic. Tanmateix, a la Mediterrània, si bé aquests símptomes s'han intentat relacionar amb la presència de toxines en l'aerosol, els esforços encaminats a fer-ne la demostració empírica han donat escasses evidències (Ciminiello et al., 2014).

S'ha plantejat la hipòtesi que la irritació no fos causada per les mateixes toxines sinó per algun altre component o fragment de la cèl·lula que desencadenés algun tipus de reacció, o inclús s'ha especulat que pogués estar produït per algun dels microorganismes (bacteris o virus) associats a *Ostreopsis* (Bellés-Garulera et al., 2016; Casabianca et al., 2013). Per altra banda, els banyistes que tenen ferides a la pell han sofert també irritacions cutànies que s'han resolt amb l'aplicació d'antibiòtics tòpics. Tot plegat fa pensar que hi ha més d'un factor que contribueix en els diferents efectes indesitjables de les proliferacions d'*Ostreopsis*.

## Reflexions finals

És evident que la costa mediterrània ha canviat molt en els darrers cinquanta anys. Un hàbitat natural de platges i espadats s'ha vist substituït per un hàbitat artificial de ports i espigons, que han confinat no només embarcacions, sinó també aigües i microalgues. I un canvi d'hàbitat representa un canvi d'espècies. Els aiguamolls han estat reduïts a la mínima expressió i s'han multiplicat les urbanitzacions a primera línia de costa, la qual cosa ha modificat en gran manera els fluxos de sediments i nutrients al mar. Finalment, amb l'escalfament global, s'ha incrementat la temperatura del mar, i hi han arribat i s'hi han establert algunes espècies invasores. Per tant, les comunitats d'espècies de microalgues que hi havia fa cinquanta anys s'han vist modificades o bé s'han «enriquit», en algun cas, per proliferacions de dinoflagel·lades tòxiques.

### «L'oceà i el continent conflueixen en una línia molt estreta però d'una gran rellevància per a la salut, el lleure i l'economia de la nostra societat»

Actualment, les proliferacions planctòniques del gènere *Alexandrium* són recurrents a la Mediterrània i, des dels anys noranta, es controlen setmanalment amb programes de monitoratge que garanteixen la seguretat alimentària dels productes que arriben a les llotges i a les peixateries. Pel que fa al bentos, l'evolució ha estat més lenta pel gran desconeixement que hi havia sobre *Ostreopsis* anys enrere. Fa trenta anys, aquest organisme era un gènere rar a la Mediterrània, detectat molt esporàdicament i en escasses abundàncies. Ara ha esdevingut un problema de salut pública i ambiental, que cada any mobilitza científics i administracions i que preocupa els veïns de les platges afectades per aquestes proliferacions massives. Si ens centrem en els països de què es disposa de més informació (Mangialajo et al., 2011), el que va començar sent una proliferació massiva en alguna platja concreta durant els primers anys, ha acabat sent una expansió amb múltiples focus que afecta moltes platges, primer d'Itàlia i França i, des de fa cinc anys, de Catalunya. Queden moltes llacunes quant a la nostra comprensió sobre la toxicitat d'*Ostreopsis*. No obstant això, el coneixement de la dinàmica de les seves proliferacions i la coordinació entre científics i gestors mediambientals i de la salut ha permès gestionar de manera adequada el fenomen i minimitzar els riscos ecològics i per a la salut.

Durant el darrer mig segle hem transformat el litoral amb accions directes sobre la costa com són la construcció de ports i espigons, però també terra endins, amb la construcció de passejos marítims i urbanitzacions a primera línia de costa, canalitzacions de les lleres dels rius, i la construcció d'embassaments. De resultes de l'activitat humana també s'ha incrementat el CO<sub>2</sub> atmosfèric i la temperatura global del planeta. Aquestes accions humanes, directes o indirectes, són una resposta plausible al perquè en les darreres dècades s'han incrementat les proliferacions de microalgues a les costes mediterrànies.

L'oceà i el continent conflueixen en una línia molt estreta però d'una gran rellevància per a la salut, el lleure i l'economia de la nostra societat. Mantenir un litoral en un bon estat ecològic només es podrà aconseguir si l'activitat que es realitza en el continent també manté els estàndards de sostenibilitat. Per tenir un litoral en bon estat, cal repensar el món on volem viure i actuar en conseqüència.

#### Notes

1. Plàncton ve de la paraula grega πλαγκτός i significa «rodamón».
2. Benthos, βένθος, significa «profunditat de la mar».

#### Referències

- Anderson, D. M., & Wall, D. (1978). Potential importance of benthic cysts of *Gonyaulax tamarensis* and *G. excavata* in initiating toxic dinoflagellate blooms. *Journal of Phycology*, 14(2), 224–234. <https://doi.org/10.1111/j.1529-8817.1978.tb02452.x>
- Bellés-Garulera, J., Vila, M., Borrull, E., Riobó, P., Franco, J. M., & Sala, M. M. (2016). Variability of planktonic and epiphytic vibrios in a coastal environment affected by *Ostreopsis* blooms. *Scientia Marina*, 80(S1), 97–106. <https://doi.org/10.3989/scimar.04405.01A>
- Berdalet, E., Fleming, L. E., Gowen, R., Davidson, K., Hess, P., Backer, L. C., ... Enevoldsen, H. (2016). Marine harmful algal blooms, human health and wellbeing: Challenges and opportunities in the 21st century. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 96(1), 61–91. <https://doi.org/10.1017/S0025315415001733>
- Berdalet, E., Tester, P. A., Chinain, M., Fraga, S., Lemée, R., Litaker, W., ... Zingone, A. (2017). Harmful algal blooms in benthic systems: Recent progresses and future research. *GEOHAB Oceanography (special issue)*, 30(1), 36–45. <https://doi.org/10.5670/oceanog.2017.108>
- Bianchi, C. N., Caroli, F., Guidetti, P., & Morri, C. (2018). Seawater warming at the northern reach for southern species: Gulf of Genoa, NW Mediterranean. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 98(1), 1–12. <https://doi.org/10.1017/S0025315417000819>
- Camp, J., Masó, M., Vila, M., Delgado, M., Garcés, E., & Torres, M. (1998). Características ambientales del litoral Mediterráneo Noroccidental; situación actual e implicaciones: El caso de Cataluña. En *Actas de la V Reunión Ibérica de Fitoplancton Tóxico*. Vigo: ANFACO-CECOPESCA.
- Casabianca, S., Casabianca, A., Riobó, P., Franco, J. M., Vila, M., & Penna, A. (2013). Quantification of the toxic dinoflagellate *Ostreopsis* spp. by qPCR assay in marine aerosol. *Environmental Science & Technology*, 47(8), 3788–3795. <https://doi.org/10.1021/es305018s>
- Ciminiello, P., Dell'Aversano, C., Dello Iacovo, E., Fattorusso, E., Forino, M., Tartaglione, L., ... Penna, A. (2014). First finding of *Ostreopsis* cf. *ovata* toxins in marine aerosols. *Environmental Science & Technology*, 48(6), 3532–3540. <https://doi.org/10.1021/es405617d>
- Fleming, L. E., Kirkpatrick, B., Backer, L. C., Walsh, C. J., Nierenberg, K., Clark, J., ... Baden, D. G. (2011). Review of Florida red tide and human health effects. *Harmful Algae*, 10(2), 224–233. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2010.08.006>
- Friedman, M. A., Fernandez, M., Backer, L. C., Dickey, R., Bernstein, J., Schrank, K., ... Fleming, L. E. (2017). An updated review of ciguatera fish poisoning: Clinical, epidemiological, environmental, and public health management. *Marine Drugs*, 15(3), 72. <https://doi.org/10.3390/md15030072>
- Giussani, V., Costa, E., Pecorino, D., Berdalet, E., De Giampaulis, G., Gentile, M., ... Faimali, M. (2016). Effects of the harmful dinoflagellate *Ostreopsis* cf. *ovata* on different life cycle stages of the common moon jellyfish *Aurelia* sp. *Harmful Algae*, 57, 49–58. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2016.05.005>
- Hallegraeff, G. M. (1998). Transport of toxic dinoflagellates via ships' ballast water: Bioeconomic risk assessment and efficacy of possible ballast water management strategies. *Marine Ecology Progress Series*, 168, 297–309. <https://doi.org/10.3354/MEPS168297>
- Mangialajo, L., Ganzin, N., Accoroni, S., Asnaghi, V., Blanfuné, A., Cabrini, M., ... Lemée, R. (2011). Trends in *Ostreopsis* proliferation along the Northern Mediterranean coasts. *Toxicon*, 57(3), 408–420. <https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2010.11.019>
- Margalef, R. (1978). Life-forms of phytoplankton as survival alternatives in an unstable environment. *Oceanologica Acta*, 1(4), 493–509.
- Margalef, R., Estrada, M., & Blasco, D. (1979). Functional morphology of organisms involved in red tides, as adapted to decaying turbulence. En D. L. Taylor, & H. H. Seliger (Eds.), *Toxic dinoflagellate blooms* (pp. 89–94). Amsterdam: Elsevier.
- Selander, E., Kubanek, J., Hamberg, M., Andersson, M. X., Cervin, G., & Pavia, H. (2015). Predator lipids induce paralytic shellfish toxins in bloom-forming algae. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 112(20), 6395–6400. <https://doi.org/10.1073/pnas.1420154112>
- Shears, N. T., & Ross, P. M. (2009). Blooms of benthic dinoflagellates of the genus *Ostreopsis*: An increasing and ecologically important phenomenon on temperate reefs in New Zealand and worldwide. *Harmful Algae*, 8(6), 916–925. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2009.05.003>
- Smayda, T. J. (1997). Harmful algal blooms: Their ecophysiology and general relevance to phytoplankton blooms in the sea. *Limnology and Oceanography*, 42(5, Part 2), 1137–1153. [https://doi.org/10.4319/lo.1997.42.5\\_part\\_2.1137](https://doi.org/10.4319/lo.1997.42.5_part_2.1137)
- Vila, M., Abós-Herrándiz, R., Isern-Fontanet, J., Álvarez, J., & Berdalet, E. (2016). Establishing the link between *Ostreopsis* cf. *ovata* blooms and human health impacts using ecology and epidemiology. *Scientia Marina*, 80(S1), 107–115. <https://doi.org/10.3989/scimar.04395.08A>
- Vila, M., Garcés, E., Masó, M., & Camp, J. (2001). Is the distribution of the toxic dinoflagellate *Alexandrium catenella* expanding along the NW Mediterranean coast? *Marine Ecology Progress Series*, 222, 73–83. <https://doi.org/10.3354/meps222073>

#### Magda Vila

Doctora en Biologia i investigadora associada del Departament de Biologia Marina i Oceanografia de l'Institut de Ciències del Mar (ICM-CSIC) de Barcelona (Espanya). Està especialitzada en ecologia de microalgues marines, proliferacions algals nocives, directives ambientals i en les relacions entre ciència i societat i en la divulgació científica. Li interessa especialment entendre com les activitats humanes afecten la natura i com la natura afecta les activitats humanes.  
magda@icm.csic.es

#### Jordi Camp

Doctor en Biologia i investigador ad honorem del Departament de Biologia Marina i Oceanografia de l'Institut de Ciències del Mar (ICM-CSIC) de Barcelona (Espanya). Està especialitzat en ecologia bentònica, interacció costa-occeà, dinàmica d'estuaris, proliferacions algals nocives i en legislació i directives ambientals. Els seus interessos se centren en la relació entre la societat i el medi ambient.

#### Elisa Berdalet

Doctora en Biologia i investigadora del Departament de Biologia Marina i Oceanografia de l'Institut de Ciències del Mar (ICM-CSIC) de Barcelona (Espanya). Està especialitzada en ecologia de fitoplàncton. Des de 2008 coordina la investigació internacional de les proliferacions algals nocives en el marc dels programes GEOHAB i GlobalHAB.

# Conservar la farmàcia del mar

## Com afecta el canvi global les espècies amb potencial bioactiu de la Mediterrània?

14/12/2020 - Arnau Carreño, Àngel Izquierdo-Font i Josep Lloret

Diverses espècies marines de la Mediterrània produeixen molècules amb potencial bioactiu que podrien utilitzar-se per descobrir nous medicaments (antibiòtics, antifúngics, antivirals i antitumorals). Diferents activitats humanes com la contaminació, les activitats recreatives marítimes, la pesca i el canvi climàtic fan que algunes d'aquestes espècies bioactives es trobin amenaçades i, fins i tot, en perill d'extinció. Cal protegir aquestes espècies vulnerables amb potencial bioactiu, sobretot a les reserves marines, no només perquè són components valuosos dels ecosistemes marins, sinó també perquè són una font potencial de molècules amb propietats farmacològiques que actualment s'estan investigant per a descobrir nous medicaments.



L'increment de la temperatura del mar pot brindar una oportunitat a espècies termòfiles que produeixen compostos amb potencial bioactiu. És el cas de meduses com *Rhizostoma pulmo* amb potencial bioactiu citotòxic. / Foto: Toni Font

### Introducció

Els organismes marins, amb prop de dos milions d'espècies, estableixen relacions altament competitives i complexes en hàbitats sovint limitats en l'espai, la qual cosa els obliga a competir de manera molt agressiva (Simmons, Andrianasolo, McPhail, Flatt i Gerwick, 2005). En resposta a aquesta competència, un alt percentatge d'espècies produeixen compostos químics, sovint anomenats compostos bioactius, que tenen diverses finalitats: defensar-se dels seus depredadors, protegir-se del creixement d'altres espècies competidores a sobre seu o per capturar les seves preses (Simmons et al., 2005). Els compostos bioactius són molècules produïdes per una àmplia gamma d'organismes que, en el cas dels marins, poden comprendre des de bacteris, fongs i microalgues fins a organismes més complexos com ara macroalgues, fanerògames marines, invertebrats i vertebrats. Aquests compostos inclouen una àmplia gamma de molècules que actualment s'estan investigant per a sintetitzar nous productes i medicines. Entre aquests trobem pèptids anticancerígens, caracteritzats per la seva acció citotòxica (dany cel·lular) i antitumoral (antiproliferativa, entre d'altres) contra diverses línies de cèl·lules tumorals; metabòlits antibacterians, antifúngics i antivirals que s'utilitzen per a l'elaboració d'antibiòtics i medicaments contra els fongs i contra els virus, respectivament; molècules antioxidants, que poden protegir les cèl·lules de les espècies reactives d'oxigen i radicals lliures; antiinflamatoris, que poden ajudar a combatre determinats processos cel·lulars inflamatoris que poden comportar determinades patologies; toxines (i antitoxines), que poden tenir diversos usos terapèutics, i productes naturals complexos (per exemple, olis essencials) (Carreño i Lloret, en premsa; Uriz et al., 1991).

### «Diverses espècies de la mar Mediterrània són una font potencial de molècules amb propietats farmacològiques»

Diverses espècies animals i vegetals de la mar Mediterrània tenen potencial bioactiu (Uriz et al., 1991), és a dir, són una font potencial de molècules amb propietats farmacològiques i que podrien utilitzar-se per descobrir nous medicaments antibiòtics, antifúngics, antivirals i antitumorals. La majoria són organismes sèssils bentònics que produeixen molècules amb potencial bioactiu, com els tunicats *Ecteinascidia turbinata* i *Halocynthia papillosa*, amb potencial antitumoral; esponges com *Spongia officinalis* i *Axinella damicornis*, amb potencial antibacterià; briozous com *Myriapora truncata* i *Pentapora fascialis*, també amb potencial antibacterià; i cnidaris com *Pennatulula aculeata* i *Actinia equina*, amb potencial antiinflamatori; però també tenen potencial bioactiu alguns equinoderms com l'eriçó de mar *Paracentrotus lividus* i el cogombre de mar *Holothuria tubulosa*, amb potencial antiinflamatori; mol·luscs com la sípia *Sepia officinalis* i el calamar *Loligo vulgaris*, amb potencial antibacterià; crustacis decàpodes, com l'escamarlà (*Nephrops norvegicus*) i el cranc verd (*Carcinus mediterraneus*), amb potencial antitumoral; i peixos com la sardina (*Sardina pilchardus*) i la rajada (*Raja clavata*), que tenen compostos amb potencial antioxidant. Tots aquests animals produeixen una gran varietat de compostos químics que serveixen com a mitjà de defensa contra els seus depredadors, els organismes competidors i els paràsits o els microorganismes invasius (Carreño i Lloret, en premsa; Uriz et al., 1991).

### «A la Mediterrània, hi ha 32 espècies amb potencial bioactiu que són vulnerables i es veuen amenaçades per factors antropogènics»

Malgrat l'interès dels seus compostos amb potencial bioactiu per al descobriment de futurs medicaments, aquestes espècies es veuen afectades pel canvi climàtic i les activitats humanes i fins i tot algunes es troben amenaçades i en perill d'extinció. Tot i l'estat crític d'algunes, els estudis sobre els impactes antropogènics en el seu estat de conservació són encara escassos. Calen nous estudis per entendre millor com aquestes espècies afronten l'impacte de les activitats humanes i del canvi climàtic, perquè, si s'extingeixen, s'estan perdent les possibilitats que aquestes espècies ofereixen per a descobrir nous medicaments d'origen marí.

# Impacte del canvi global sobre les espècies amb potencial bioactiu

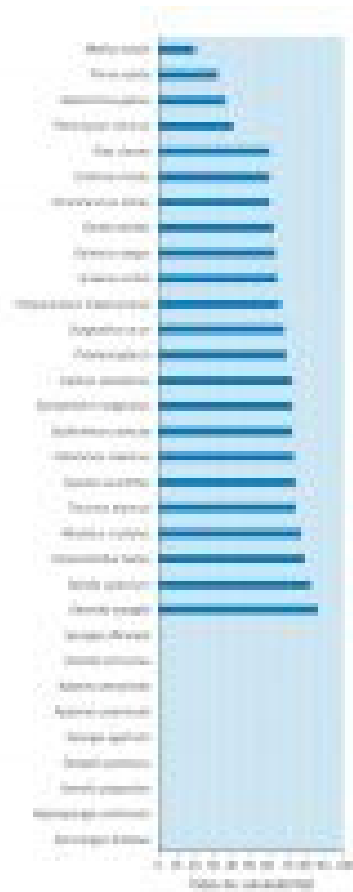


Figura 1. Espècies amb potencial bioactiu del Mediterrani classificades com a vulnerables i ordenades en funció del seu índex de vulnerabilitat, segons l'estudi efectuat al Parc Natural de Cap de Creus per Carreño i Lloret (en premsa). Les files en blanc corresponen a espècies classificades com a vulnerables segons el criteri establert a la metodologia d'aquest article, però sense informació sobre el seu índex de vulnerabilitat.

Diversos estudis han analitzat el paper de les espècies que tenen compostos bioactius a la Mediterrània en els darrers anys. El 2019 es va realitzar una revisió de les espècies de peixos i macroinvertebrats que vivien a la reserva marina del cap de Creus, al nord de Catalunya, i quines es descrivien a la literatura científica com a espècies amb potencial bioactiu (Carreño i Lloret, en premsa). Posteriorment se'n va avaluar la vulnerabilitat utilitzant el marc metodològic establert per Lloret et al. (2019), tenint en compte aquelles espècies que apareixien a la Llista Vermella de la IUCN/Avaluació regional a la Mediterrània com a amenaçades o en una categoria superior d'amenaça, i aquelles amb un índex de vulnerabilitat (IV) superior a 60 (és a dir, d'alta a molt alta vulnerabilitat segons aquest índex establert per Cheung, Pitcher i Pauly [2005]). També s'hi van incloure les espècies que apareixien en diferents convencions internacionals de protecció de la flora i de la fauna com la de Barcelona, Berna o CITES, i a la Directiva Hàbitats de la Unió Europea.

Després de revisar la literatura científica [1] per obtenir informació sobre els impactes antropogènics i del canvi climàtic en aquestes espècies de peixos i macroinvertebrats, i de revisar estudis de la literatura grisa i de projectes de recerca, podem establir que hi ha 32 espècies amb potencial bioactiu que són vulnerables i que es veuen amenaçades per diferents factors antropogènics com la contaminació, les activitats marítimes recreatives i la pesca, així com per l'acció del canvi climàtic. Tot i que algunes d'aquestes espècies no han estat prou estudiades i, per tant, no se'n coneix l'índex de vulnerabilitat, aquestes apareixen com a vulnerables a la Llista Vermella de la IUCN o emmarcades en els convenis de protecció internacional (Figura 1). Dins d'aquestes espècies destaquen com a especialment vulnerables les esponges i els peixos condrictis.

## Contaminació marina

La contaminació marina (plàstics, deixalles, aigües residuals, etc.) afecta tots els organismes marins, però perjudica especialment els organismes sèssils i de creixement lent com algunes esponges, ascidis, cnidaris i bivalves, entre els quals trobem una bona representació d'espècies que produeixen molècules amb potencial bioactiu. Com a conseqüència, es produeix una limitació de la seva capacitat de creixement i de filtració (Zahn et al., 1977).

Les deixalles poden contaminar de diverses maneres: es poden acumular a la superfície d'espècies i inhibir-ne el creixement i provocar danys com la necrosi dels teixits, estrangulament dels exemplars, asfíxia, etc. Els plàstics són la principal font de contaminació i de les escombraries marines, i representen fins a un 80 % de totes les deixalles del Mediterrani generades pels humans (Derraik, 2002). Els plàstics també poden acumular-se en organismes filtradors o bé ser descompostos en microplàstics, que poden ser ingerits per altres organismes i bioacumulats a través de la cadena tròfica fins arribar a l'ésser humà (Bordbar, Kapiris, Kalogirou i Anastasopoulou, 2018). Malgrat que trobem microplàstics en peixos que produeixen molècules amb potencial antioxidant i antitumoral com el verat (*Scomber scombrus*) o la tonyina (*Thunnus thynnus*), els efectes sobre la salut de les persones encara són poc coneguts.

### «Malgrat l'interès dels compostos amb potencial bioactiu, algunes d'aquestes espècies es troben amenaçades i en perill d'extinció»

Les aigües residuals que alguns vaixells encara aboquen al mar promouen la proliferació de microorganismes tòxics i microalgues, fet que limita l'intercanvi d'oxigen a l'aigua i dona lloc a situacions locals d'anòxia. També afecta la qualitat de l'aigua, ja que la proliferació d'aquests organismes, que aprofiten l'excés de matèria orgànica de les aigües residuals, allibera grans quantitats de  $H_2S$  i  $CO_2$ . A la badia de Palma (Mallorca), per exemple, hi ha zones on no creixen algues ni fanerògames marines que poden tenir potencial bioactiu, com la *Posidonia oceanica*, que conté compostos amb potencial antiinflamatori. Se sospita que aquest problema és degut a les descàrregues d'aigües residuals de la ciutat, que dificulten la fotosíntesi de la posidònia, ja que, a més d'enterbolir l'aigua a causa de les partícules que aquestes aigües residuals contenen, també promouen la proliferació d'algues com a conseqüència dels nutrients aportats (Bonin-Font et al., 2018). A més, els productes químics com greixos industrials, detergents i sabons poden causar alteracions al fitoplàncton, que constitueix la base de la xarxa tròfica, i obstruir la capacitat de filtració dels organismes filtradors que tenen potencial bioactiu, com determinades gorgònies, coralls, esponges, ascídies i bivalves, i induir mortalitat en aquests organismes (Zahn et al., 1977).

## Activitats recreatives marítimes

La navegació amb vaixells de motor i motos d'aigua sobre els fons marins sorrencs o fangosos poc profunds pot contribuir a generar suspensió de sediments i contribuir a augmentar considerablement la terbolesa de l'aigua i produir una disminució de la penetració de la llum. Això pot causar efectes adversos sobre les algues, fanerògames marines i altres espècies animals sèssils que tenen potencial bioactiu. Els sediments en suspensió també poden afectar directament determinats peixos que produeixen compostos amb potencial

bioactiu, com el bonítol (*Sarda sarda*) i el sorell blanc (*Trachurus mediterraneus*) –ambdós amb compostos amb potencial antioxidant– ja que redueixen la disponibilitat de nutrients i la seva visibilitat, o els obstrueixen les brànquies (Bruton, 1985). La terbolesa no només afecta la transparència de l'aigua, sinó que també afavoreix l'eutrofització, cosa que pot promoure la proliferació de bacteris tòxics i d'algues nocives a causa de la major presència de matèria orgànica que es descompon (Alexander i Wigart, 2013). Aquests organismes nocius poden suposar una amenaça tant per a les espècies marines com per a la salut dels humans que visiten aquestes zones.

### «Calen nous estudis per entendre millor com les espècies amb potencial bioactiu afronten l'impacte de les activitats humanes i el canvi climàtic»

La navegació d'embarcacions comercials i de lleure en determinades zones de gran afluència provoca nivells de soroll recurrents que poden afectar la fauna marina (incloent-hi ocells i mamífers marins), i produir així canvis en el seu comportament (Codarin, Wysocki, Ladich i Picciulin, 2009). El soroll que causen els motors pot afectar determinats peixos que poden tenir potencial bioactiu. En el cas del corball de roca (*Sciaena umbra*), que té compostos amb potencial anticoagulant, el soroll dels vaixells redueix la seva sensibilitat auditiva i la seva capacitat de comunicació (Codarin et al., 2009).

Els impactes de les àncores i cadenes dels vaixells també causen danys a un gran nombre d'algues, fanerògames marines i organismes bentònics sèssils, especialment aquells que tenen un creixement lent i són més sensibles a la contaminació (Milazzo, Badalamenti, Ceccherelli i Chemello, 2004; Natalotto et al., 2015). Destaca el cas de la nacra (*Pinna nobilis*), un bivalve que produeix compostos amb potencial antioxidant i que actualment es troba en perill crític d'extinció per una acumulació de factors naturals i antropogènics: la seva supervivència es veu amenaçada, d'una banda, per l'impacte de l'ancoratge de les embarcacions d'esbarjo (Hendriks et al., 2013) i la contaminació marina (Natalotto et al., 2015); i, de l'altra, a causa de l'alta mortalitat que han patit recentment per una malaltia atribuïda al protozou endoparàsit *Haplosporidium pinnae* (Cabanellas-Reboredo et al., 2019).



Hi ha diverses bioactives a la mar Mediterrània. És el cas de mol·luscs com la sípia (*Sepia officinalis*), amb potencial antibacterià (a l'esquerra), o d'equinoderms com l'erioç de mar (*Paracentrotus lividus*) amb potencial antiinflamatori (a la dreta). / Foto: Lluís Mas Blanch – Revital Salomon

No solament els vaixells afecten els organismes sèssils amb potencial bioactiu; altres activitats de lleure que poden implicar contactes amb el bentos, com la pesca submarina o el busseig, també poden tenir un impacte en determinades ocasions. És el cas del briozou *Pentapora fascialis*, amb potencial antibacterià, que és danyat pels impactes de les aletes de bussejadors i pescadors submarins inexperts (Casoli et al., 2017).

## Activitat pesquera

Alguns mètodes de pesca professional, com la pesca d'arrossegament, afecten profundament els hàbitats i les espècies marines (Pipitone, Badalamenti, D'Anna i Patti, 2000). Hi ha diferents peixos que no són objectiu de l'activitat pesquera (tenen poc o nul valor comercial; normalment formen part dels rebutjos) però que tenen potencial bioactiu, com l'agulleta *Syngnathus acus* i l'aranya blanca *Trachinus draco*, amb potencials citotòxic i antitumoral respectivament.

### «La contaminació marina perjudica especialment els organismes sèssils i de creixement lent»



Destaca també l'exemple de diverses espècies que produeixen molècules amb potencial antitumoral, com la tonyina, la mussola vera (*Mustelus mustelus*), el tauró pelegrí (*Cetorhinus maximus*) o l'escurçana (*Dasyatis pastinaca*), i que estan incloses en diversos convenis internacionals de protecció de la fauna, com CITES, Barcelona i Berna, i a la Llista Vermella de la IUCN.

Els impactes d'àncores i cadenes també causen danys a un gran nombre d'espècies bioactives, com ara algues, fanerògames i organismes bentònics sèssils, especialment aquells que tenen un creixement lent i són més sensibles a la contaminació. / Foto: Josep Lloret

Per altra banda, les poblacions de peixos amb potencial bioactiu es veuen amenaçades no només per l'acció de la pesca comercial a gran escala, sinó també de vegades per la pesca a petita escala i per la pesca recreativa (Lloret et al., 2019), com és el cas del nero (*Epinephelus marginatus*), l'orada (*Sparus aurata*) i el déntol (*Dentex dentex*), espècies que produeixen molècules amb potencial antibacterià (Lloret et al., 2019). La pell de la tintorera (*Prionace glauca*) té propietats antioxidants, però també és una de les espècies de tauró més explotades comercialment amb palangre de superfície, i per alguns pescadors recreatius. La tintorera apareix dins la Llista Vermella de la IUCN com a amenaçada a tot el món, però a la Mediterrània la seva població està disminuint i està classificada en la categoria «en perill greu» (o CR, per les sigles en anglès de critically endangered). Tot i que els pescadors recreatius a Espanya no poden pescar-ne, tampoc tenen l'obligació d'informar quan en capturen. L'impacte global de la pesca recreativa sobre els taurons és, doncs, difícil de quantificar (Lloret et al., 2019).

Finalment, els ormeigs en acció de pesca o perduts al fons del mar causen nombrosos danys tant a les espècies sèssils (gorgònies, per exemple) per abrasió, estrangulament, etc., com a espècies vàgils per culpa de l'anomenada pesca «fantasma», causada pels arts de pesca perduts al fons del mar que continuen atrapant peix (Lloret, Garrote, Balasch i Font, 2014) i que constitueixen així una amenaça per a aquestes espècies que tenen compostos amb potencial bioactiu.

## Escalfament de les aigües

Se sap que la temperatura de l'aigua del mar a la Mediterrània s'ha incrementat com a conseqüència del canvi climàtic, i que aquest escalfament afecta negativament el creixement i la supervivència d'espècies sèssils amb potencial bioactiu com la gorgònia *Paramuricea clavata* i el corall vermell (*Corallium rubrum*) (Verdura et al., 2019).

### «No solament els vaixells afecten els organismes sèssils amb potencial bioactiu, també activitats com la pesca o el busseig»

L'escalfament de les aigües marines també pot provocar una mortalitat massiva d'espècies per la proliferació d'organismes patògens oportunistes termòfils (Trainer i Hardy, 2015). Cada vegada són més freqüents les proliferacions d'algues que, o bé alliberen substàncies tòxiques que indueixen directament a mortalitat d'espècies de peixos, crustacis i mol·luscs, o bé provoquen anòxia en mars poc profunds com el Mar Menor, de manera que provoquen impactes ecològics importants (Erena, Domínguez, Aguado-Giménez, Soria, García-Galiano, 2019). Aquest darrer exemple no només és degut a l'escalfament de les aigües, sinó també a l'aportació sobtada de nutrients pels rius en períodes de pluja intensa, la qual cosa propicia la proliferació de microorganismes en aquestes aigües poc profundes.



Algunes espècies presents a la Mediterrània són una font potencial de molècules que podrien fer-se servir per a nous medicaments. La majoria d'aquestes espècies bioactives són organismes sèssils bentònics com els de les imatges. Esquerra: el cnidari *Actinia equina*, amb potencial antiinflamatori; Dreta: el tunicat *Halocynthia papillosa*, amb potencial antitumoral. / Foto: Toni Font – Albert Kok

Finalment, l'increment de temperatura del mar també provoca el desplaçament d'espècies amb potencial bioactiu cap a aigües més fredes, com és el cas de la sardina (*Sardina pilchardus*) i el verat, i també l'aparició d'espècies termòfiles que poden arribar a ser invasores (Katsanevakis et al., 2014), algunes de les quals, fins i tot, poden ser perilloses per a la salut de les persones. Un exemple seria el peix globus *Lagocephalus sceleratus*, que s'està expandint a la Mediterrània (sobretot a les costes orientals) procedent de la Mar Roja a través Canal de Suez, ajudat per un increment de temperatura de l'aigua del mar. Aquesta espècie, a més de ser invasora i alterar la xarxa tròfica de les zones on s'estableix (Coro et al., 2018), és verinosa i potencialment mortal a causa de la toxina que produeix, la tetradotoxina (TTX), que provoca la paràlisi i la mort de qui la ingereix (Nieto et al., 2012). El canal de Suez és, doncs, una problemàtica afegida a la ja en si complicada gestió de l'escalfament de les aigües, ja que és un flux constant d'entrada de noves espècies. S'estima que, actualment, el canal de Suez ha introduït entre 700 i 1.000 espècies invasores a la Mediterrània. A més del peix globus, han creuat altres espècies invasores i perilloses per a l'ecosistema i les persones, com ara el peix escorpi (*Pterois volitans*) o diverses espècies de meduses tòxiques com *Rhopilema nomadica*.

Per altra banda, l'escalfament de les aigües amenaça la supervivència d'espècies autòctones que produeixen compostos bioactius que s'estan demostrant útils contra malalties emergents i de gran actualitat. És el cas de l'ascidi *Aplidium albicans*, de la qual s'ha extret un medicament (anomenat Aplidin) que s'usa actualment per combatre alguns tipus de mieloma (càncer), i s'està estudiant també com a possible tractament de la COVID-19 (PharmaMar, 2020). Urgeix, doncs, la protecció de les espècies amb potencial bioactiu que poden donar lloc a medicaments eficaços per a combatre noves malalties.

## «Un bon nombre d'espècies amb potencial bioactiu de la Mediterrània són vulnerables al canvi global»

Si bé l'increment de la temperatura de les aigües del mar sembla anar en detriment d'aquestes espècies amb potencial bioactiu, cal dir que aquest escalfament també pot brindar potencialment oportunitats a partir d'espècies termòfiles que es beneficien de l'increment de la temperatura de mar i que produeixen compostos amb potencial bioactiu. És el cas de l'alatxa (*Sardinella aurita*), una espècie que té potencial antioxidant, o la sípia faraona (*Sepia pharaonis*), que té potencial citotòxic. Per altra banda, la tetradoxina extreta del peix globus invasor *Lagocephalus sceleratus* s'està utilitzant per a la síntesi de noves medecines analgèsiques per a pal·liar el dolor crònic (Nieto et al., 2012); mentre que el verí de *Scorpaena plumieri* (Campos et al., 2016) és un bon candidat perquè conté compostos bioactius inflamatoris i citotòxics. L'escalfament de les aigües també propicia la proliferació d'algues i microorganismes que poden produir toxines amb potencial bioactiu, com és el cas del dinoflagel·lat *Karenia brevis* al golf de Mèxic, que s'està investigant per a l'obtenció d'una nova medicina per tractar la fibrosi quística (Potera, 2007). L'escalfament de les aigües també podria estar contribuint a un augment de les poblacions de les meduses (Boero, Brotz, Gibbons, Piraino i Zampardi, 2016), entre les quals n'hi ha algunes, com *Rhizostoma pulmo* i *Pelagia noctiluca*, que tenen potencial bioactiu citotòxic.

## Discussió i conclusió



La pell de la tintorera (*Prionace glauca*) té propietats antioxidants. Aquesta espècie està a la Llista Vermella de la IUCN com a amenaçada a tot el món, mentre que a la Mediterrània la seva població està disminuint i està classificada com «en perill greu». Tot i que a Espanya els pescadors recreatius no poden pescar-ne, tampoc no tenen l'obligació d'informar quan en capturen. / Foto: Mark Conlin – MFNS

Tot i que un bon nombre d'espècies amb potencial bioactiu de la Mediterrània són vulnerables al canvi global i apareixen dins de convenis internacionals de protecció de les espècies, aquestes no estan protegides legalment. Un estudi recent (Carreño i Lloret, en premsa) indica que al voltant del 20 % de les espècies de peixos i macroinvertebrats marins documentades al cap de Creus tenen potencial bioactiu i, dins d'aquestes, un 20 % han estat classificades com a vulnerables. Calen noves mesures de

gestió per tal de protegir les espècies amb potencial bioactiu que són vulnerables, que incloguin: el seguiment de les seves poblacions, l'establiment de noves normatives, la creació de noves àrees marines protegides i la realització d'activitats de difusió per als pescadors i empreses relacionades amb activitats recreatives marítimes (busseig, nàutica, etc.) i per al públic en general per conscienciar sobre la importància de protegir-les. Les espècies amb potencial bioactiu s'han de protegir, no només perquè són components valuosos dels ecosistemes marins, sinó també perquè són una font potencial de molècules amb propietats farmacològiques que podrien utilitzar-se per a investigar nous medicaments per tractar malalties com el càncer. En aquest sentit, proposem que els gestors amb competències sobre els ecosistemes marins tinguin en compte el potencial bioactiu de les espècies vulnerables per considerar noves mesures de gestió per protegir-les, sobretot a les reserves marines, ja que constitueixen una veritable «farmàcia del mar».

### Notes

[1] Les bases de dades consultades han estat ScienceDirect, PubMed, PlosOne i Google Scholar. També s'han revisat estudis de la literatura grisa (informes i altres treballs no publicats en revistes indexades) i de projectes de recerca que tracten sobre els impactes antropogènics, especialment els del projecte PHAROS4MPAS, que fa un recull d'aquests impactes en àrees marines protegides (AMP) de la Mediterrània.

### Referències

- Alexander, M. T., & Wigart, R. C. (2013). Effect of motorized watercraft on summer nearshore turbidity at Lake Tahoe, California–Nevada. *Lake and Reservoir Management*, 29(4), 247–256. <https://doi.org/10.1080/10402381.2013.840704>
- Boero, F., Brotz, L., Gibbons, M., Piraino, S., & Zampardi, S. (2016). 3.10 Impacts and effects of ocean warming on jellyfish. En D. Laffoley & J. M. Baxter (Eds.), *Explaining ocean warming: Causes, scale, effects and consequences* (p. 213–237). Gland, Switzerland: IUCN.
- Bonin-Font, F., Lalucat, J., Oliver-Codina, G., Massot-Campos, M., Font, E. G., & Carrasco, P. L. N. (2018). Evaluating the impact of sewage discharges on the marine environment with a lightweight AUV. *Marine Pollution Bulletin*, 135, 714–722. <https://doi.org/10.1016/J.MARPOLBUL.2018.07.071>
- Bordbar, L., Kaporis, K., Kalogirou, S., & Anastasopoulou, A. (2018). First evidence of ingested plastics by a high commercial shrimp species (*Plesionika narval*) in the eastern Mediterranean. *Marine Pollution Bulletin*, 136, 472–476. <https://doi.org/10.1016/J.MARPOLBUL.2018.09.030>
- Bruton, M. N. (1985). The effects of suspensoids on fish. *Hydrobiologia*, 125(1), 221–241. doi: <https://doi.org/10.1007/BF00045937>
- Cabanellas-Reboredo, M., Vázquez-Luis, M., Mourre, B., Álvarez, E., Deudero, S., Amores, Á., ... Hendriks, I. E. (2019). Tracking a mass mortality outbreak of pen shell *Pinna nobilis* populations: A collaborative effort of scientists and citizens. *Scientific Reports*, 9(1), 13355. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-49808-4>
- Campos, F. V., Menezes, T. N., Malacarne, P. F., Costa, F. L. S., Naumann, G. B., Gomes, H. L., & Figueiredo, S. G. (2016). A review on the *Scorpaena plumieri* fish venom and its bioactive compounds. *Journal of Venomous Animals and Toxins including Tropical Diseases*, 22, 35. <https://doi.org/10.1186/s40409-016-0090-7>
- Carreño, A., & Lloret, J. (en premsa). The vulnerability of fish and macroinvertebrate species with bioactive potential in a Mediterranean marine protected area. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*.
- Casoli, E., Nicoletti, L., Mastrantonio, G., Jona-Lasinio, G., Belluscio, A., & Ardizzone, G. D. (2017). Scuba diving damage on coralligenous builders: Bryozoan species as an indicator of stress. *Ecological Indicators*, 74, 441–450. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLIND.2016.12.005>
- Cheung, W. W. L., Pitcher, T. J., & Pauly, D. (2005). A fuzzy logic expert system to estimate intrinsic extinction vulnerabilities of marine fishes to fishing. *Biological Conservation*, 124(1), 97–111. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2005.01.017>
- Codarin, A., Wysocki, L. E., Ladich, F., & Picciulin, M. (2009). Effects of ambient and boat noise on hearing and communication in three fish species living in a marine protected area (Miramare, Italy). *Marine Pollution Bulletin*, 58(12), 1880–1887. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2009.07.011>
- Coro, G., Vilas, L. G., Magliozzi, C., Ellenbroek, A., Scarponi, P., & Pagano, P. (2018). Forecasting the ongoing invasion of *Lagocephalus sceleratus* in the Mediterranean Sea. *Ecological Modelling*, 371, 37–49. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2018.01.007>
- Derraik, J. G. (2002). The pollution of the marine environment by plastic debris: A review. *Marine Pollution Bulletin*, 44(9), 842–852. [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(02\)00220-5](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(02)00220-5)

Erena, M., Domínguez, J. A., Aguado-Giménez, F., Soria, J., & García-Galiano, S. (2019). Monitoring coastal lagoon water quality through remote sensing: The Mar Menor as a case study. *Water*, 11(7), 1468. <https://doi.org/10.3390/w11071468>

Hendriks, I. E., Tenan, S., Tavecchia, G., Marbà, N., Jordà, G., Deudero, S., ... Duarte, C. M. (2013). Boat anchoring impacts coastal populations of the pen shell, the largest bivalve in the Mediterranean. *Biological Conservation*, 160, 105–113. <https://doi.org/10.1016/J.BIOCON.2013.01.012>

Katsanevakis, S., Coll, M., Piroddi, C., Steenbeek, J., Ben Rais Lasram, F., Zenetos, A., & Cardoso, A. C. (2014). Invading the Mediterranean Sea: Biodiversity patterns shaped by human activities. *Frontiers in Marine Science*, 1, 32. <https://doi.org/10.3389/fmars.2014.00032>

Lloret, J., Biton-Porsmoguer, S., Carreño, A., Di Franco, A., Sahyoun, R., Melià, P. J., ... Font, T. (2019). Recreational and small-scale fisheries threaten vulnerable species in coastal and offshore Mediterranean waters. *ICES Journal of Marine Science*, 77(6), 2255–2264. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsz071>

Lloret, J., Garrote, A., Balasch, N., & Font, T. (2014). Estimating recreational fishing tackle loss in Mediterranean coastal areas: Potential impacts on wildlife. *Aquatic Ecosystem Health & Management*, 17(2), 179–185. <https://doi.org/10.1080/14634988.2014.910070>

Milazzo, M., Badalamenti, F., Ceccherelli, G., & Chemello, R. (2004). Boat anchoring on *Posidonia oceanica* beds in a marine protected area (Italy, western Mediterranean): Effect of anchor types in different anchoring stages. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 299(1), 51–62. <https://doi.org/10.1016/J.JEMBE.2003.09.003>

Natalotto, A., Sureda, A., Maisano, M., Spanò, N., Mauceri, A., & Deudero, S. (2015). Biomarkers of environmental stress in gills of *Pinna nobilis* (Linnaeus 1758) from Balearic Island. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 122, 9–16. <https://doi.org/10.1016/J.ECOENV.2015.06.035>

Nieto, F. R., Cobos, E. J., Tejada, M. Á., Sánchez-Fernández, C., González-Cano, R., & Cendán, C. M. (2012). Tetrodotoxin (TTX) as a therapeutic agent for pain. *Marine Drugs*, 10(2), 281–305. <https://doi.org/10.3390/md10020281>

PharmaMar. (2020, 16 de març). PharmaMar anuncia resultados positivos de Aplidin® contra el coronavirus HCoV-229E. Madrid. Consultat en <http://www.pmfarma.es/noticias/28280-pharmamar-anuncia-resultados-positivos-de-aplidin-contra-el-coronavirus-hcov-229e.html>

Pipitone, C., Badalamenti, F., D'Anna, G., & Patti, B. (2000). Fish biomass increase after a four-year trawl ban in the Gulf of Castellammare (NW Sicily, Mediterranean Sea). *Fisheries Research*, 48(1), 23–30. [https://doi.org/10.1016/S0165-7836\(00\)00114-4](https://doi.org/10.1016/S0165-7836(00)00114-4)

Potera, C. (2007). Florida red tide brews up drug lead for cystic fibrosis. *Science*, 316(5831), 1561–1562. <https://doi.org/10.1126/science.316.5831.1561>

Simmons, T. L., Andrianasolo, E., McPhail, K., Flatt, P., & Gerwick, W. H. (2005). Marine natural products as anticancer drugs. *Molecular Cancer Therapeutics*, 4(2), 333–342. Consultat en <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15713904>

Trainer, V. L., & Hardy, F. J. (2015). Integrative monitoring of marine and freshwater harmful algae in Washington state for public health protection. *Toxins*, 7(4), 1206–1234. <https://doi.org/10.3390/toxins7041206>

Uriz, M. J., Martin, D., Turon, X., Ballesteros, E., Hughes, R., & Acebal, C. (1991). An approach to the ecological significance of chemically mediated bioactivity in Mediterranean benthic communities. *Marine Ecology Progress Series*, 70(2), 175–188. <https://doi.org/10.3354/meps070175>

Verdura, J., Linares, C., Ballesteros, E., Coma, R., Uriz, M. J., Bensoussan, N., & Cebrian, E. (2019). Biodiversity loss in a Mediterranean ecosystem due to an extreme warming event unveils the role of an engineering gorgonian species. *Scientific Reports*, 9, 5911. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-41929-0>

Zahn, R. K., Zahn, G., Müller, W. E. G., Müller, I., Beyer, R., Müller-berger, U., ... Britvič, S. (1977). Consequences of detergent pollution of the sea: Effects on regenerating sponge cubes of *Geodia cydonium*. *Science of The Total Environment*, 8(2), 109–151. [https://doi.org/10.1016/0048-9697\(77\)90072-9](https://doi.org/10.1016/0048-9697(77)90072-9)

© Mètode 2020 - 107. Oceans - Volum 4 (2020)

#### Arnau Carreño

Estudiant de doctorat del Grup de Recerca «Ecosistemes marins i Salut Humana» (SeaHealth) i de la Càtedra Oceans i Salut Humana de la Universitat de Girona (Espanya), en el marc d'una beca de col·laboració amb l'Ajuntament de Tossa de Mar. Graduat en Biotecnologia i Màster en Biomedicina, investiga la importància dels ecosistemes marins per a la salut de les persones, en l'àmbit de la disciplina «oceans i salut humana».  
arnau.carreno@udg.edu

#### Àngel Izquierdo-Font

Metge especialista en oncologia mèdica i epidemiologia del càncer. Treballa al Servei d'Oncologia de l'Institut Català d'Oncologia (ICO) a l'Hospital Universitari de Girona Dr. Josep Trueta i és coordinador de la Unitat d'Epidemiologia i Registre de Càncer de Girona (Espanya). És col·laborador i assessor de la Càtedra Oceans i Salut Humana de la Universitat de Girona.  
aizquierdo@iconcologia.net

#### Josep Lloret

Director del Grup de Recerca «Ecosistemes marins i salut humana» (SeaHealth) i de la Càtedra Oceans i Salut Humana a la Universitat de Girona (Espanya). Investiga la importància dels ecosistemes marins per a la salut de les persones. En concret, estudia com la preservació dels recursos pesquers pot contribuir a una dieta saludable; la importància de les activitats recreatives sostenibles a la mar com a font de benestar i la onservació d'espècies marines vulnerables amb potencial bioactiu. Té més de setanta articles publicats en revistes d'impacte.  
josep.lloret@udg.edu

***Hem confeccionat aquest document amb tres articles del monogràfic “OCEANS. L'impacte del canvi global en el mar” publicat al número 107 (Volum 4 del 2020) de Mètode, la revista de divulgació científica de la Universitat de València.***

***Els tres articles recollits són:***

***“Més enllà de l'esclafament global” de Carles Pelejero i Eva Calvo.***

***“Microalgues tòxiques i canvi global” de Magda Vila, Jordi Camp i Elisa Berdalet.***

***“Conservar la farmàcia del mar” d'Arnau Carreño, Àngel Izquierdo i Josep Lloret.***

***A l'introducció del monogràfic esmentat es diu “les Nacions Unides han proclamat el període 2021-2030 com a Dècada de les Ciències de l'Oceà per al Desenvolupament Sostenible, reconeixent l'estreta relació que hi ha entre els oceans, el clima i el benestar social.”***

# Col·lecció Documents d'ant n°230