

MÉS ENLLÀ DE L'ESCALFAMENT GLOBAL

Oceans estressats globalment a l'antropocè

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 (CO₂) 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 CO₂ i de veure com es distribueix. Acabem amb una discussió sobre possibilitats de mitigació a través dels oceans mateixos, tot recalcant la necessitat imperiosa i urgent d'atacar el problema, sobretot durant aquesta dècada que hem començat.

Paraules clau: antropocè, escalfament, acidificació, desoxigenació, canvi global.

■ L'AUGMENT DESORBITAT DE CO₂ 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 CO₂ 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. 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 CO₂ 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 CO₂ atmosfèric ha anat augmentant entre 2 i 3 ppm cada any.

**«El CO₂ que absorbeixen
els oceans intervé en una sèrie
d'equilibris químics i provoca
una progressiva acidificació
de les seves aigües»**

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 acumulant 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 CO₂ 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 CO₂ atmosfèric per als darrers 800.000 anys, que incloïa un seguit de cicles glacial/interglacial (Lüthi et al., 2008). Recentment, s'ha aconseguit determinar les concentracions de CO₂ 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).

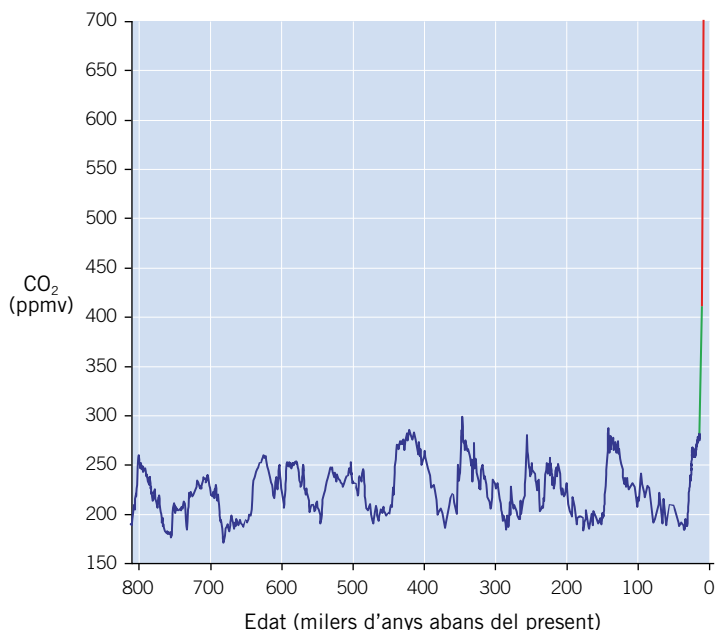


Figura 1. Concentració de CO₂ a l'atmosfera (en ppmv, parts per milió en volum) per als darrers 800.000 anys i fins a l'època preindustrial (en blau, mesures en testimonis de gel de l'Antàrtida; dades de Lüthi et al. [2008]), darrers segles i fins a l'actualitat (en verd, mesures en testimonis de gel 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

Tal i com es pot observar a la Figura 1, el registre continu de CO₂ 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 CO₂ 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 CO₂ 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 CO₂?

Fonamentalment, el CO₂ 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 CO₂ 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. 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 CO₂ 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 CO₂ 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 CO₂ 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.

■ ESTRESSOS GLOBALS RELACIONATS AMB L'AUGMENT DE CO₂

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 CO₂ 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 CO₂ a l'atmosfera està provocant l'escalfament global de la

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



Figura 2. Emissions anuals de CO₂ (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)

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.

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 CO₂ 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

«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»

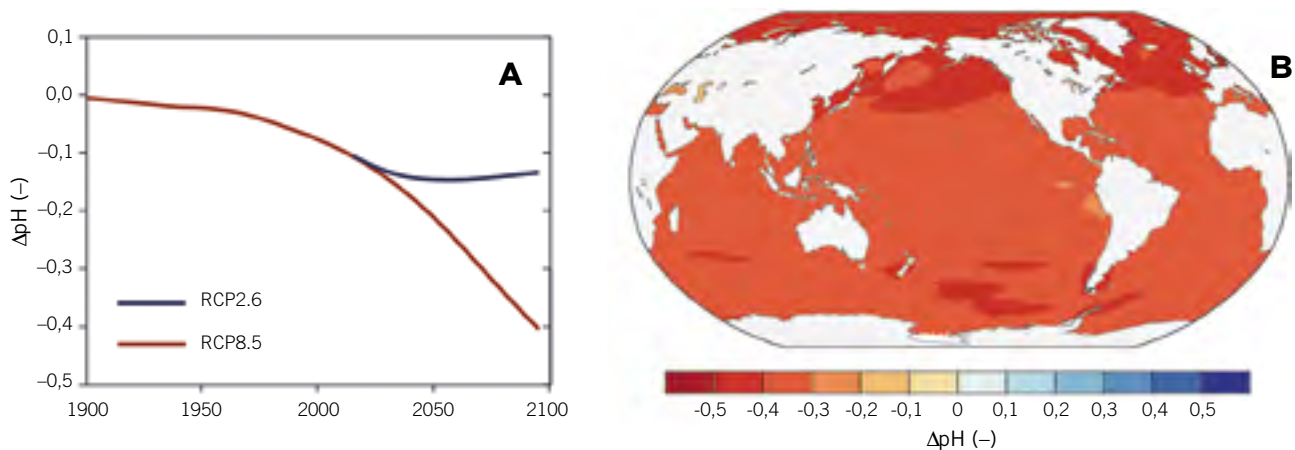


Figura 3. **A)** Simulació dels canvis passats i futurs del pH superficial global dels oceans, segons escenaris optimistes (RCP2.6) i pessimistes (RCP8.5). **B)** Canvis en el pH superficial dels oceans per a finals del segle XXI en relació amb el període 1850-1900 segons un escenari pessimista (RCP8.5). 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)

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).

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).

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 CO₂ a l'atmosfera i el canvi climàtic. En part, és degut a l'escalfament de les aigües. 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

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

The Ocean Agency / XL Catlin Seaview Survey





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).

■ 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 CO₂, 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



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.

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

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 CO₂ 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 CO₂ 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 (Figura 6A). 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 CO₂, 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 capta-

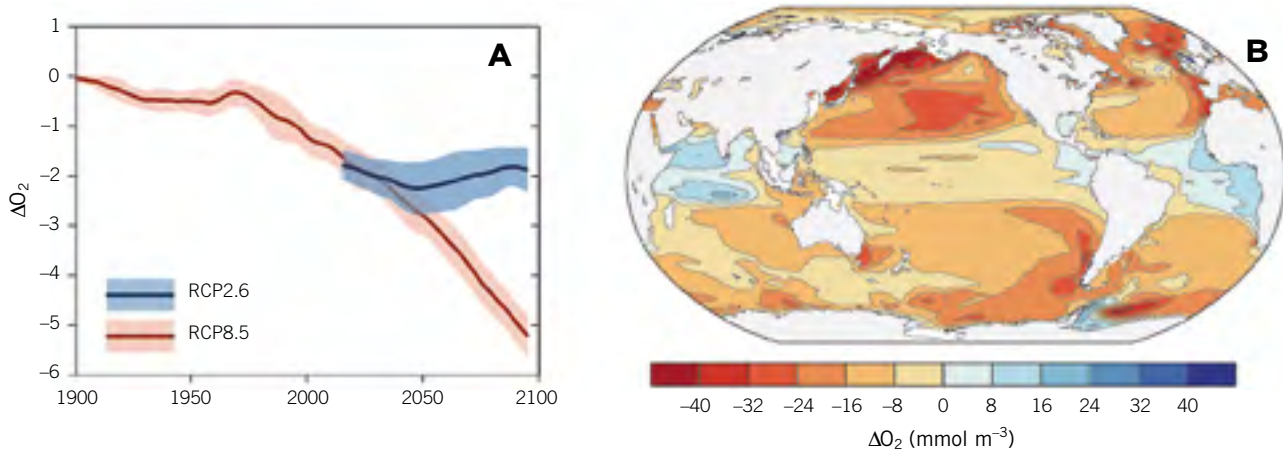


Figura 5. **A)** Simulació dels canvis passats i futurs en la concentració mitjana d'oxigen dissolt de la columna d'aigua entre 100 i 600 m de fondària, segons escenaris optimistes (RCP2.6) i pessimistes (RCP8.5). **B)** Canvis espacials en la concentració mitjana d'oxigen dissolt de la columna d'aigua 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)

ció de carboni per part dels oceans, els anomenats boscos marins, que inclouen ecosistemes costaners com els boscos de *kelp*, alguers de posidònia (Figura 6B), aigüamolls 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). 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 CO₂, 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).

■ 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 CO₂, 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 CO₂ 20,000 yr BP was 50% of present. *Nature*, 284, 155–157. doi: [10.1038/284155a0](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. doi: [10.5194/essd-11-1783-2019](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. doi: [10.1038/nclimate2392](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/>



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 capacitat de carboni. **A)** Camp eòlic marí al Regne Unit. **B)** Els boscos marins, com el de posidònia de la imatge, són eficaços embornals de carboni.

«De cara a reduir les emissions de CO₂ i altres gasos amb efecte d'hivernacle, als oceans mateixos hi podem trobar algunes de les solucions»

[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

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. doi: [10.1098/rsta.2011.0003](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

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. doi: [10.1038/d41586-020-00571-x](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

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_Full_Report_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. doi: [10.1038/nature06949](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. doi: [10.1007/s10811-015-0639-9](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 CO₂. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 9(10), 552–560. doi: [10.1890/110004](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. doi: [10.1016/j.tree.2010.02.002](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. doi: [10.1038/nature21399](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. doi: [10.1038/s41586-019-1692-3](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

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 CO₂ atmosfèric, així com la resposta i influència dels oceans en la variabilitat climàtica i l'impacte sobre els ecosistemes marins. ✉ ecalvo@icm.csic.es