MONOGRÀFIC
MÈTODE SCIENCE STUDIES JOURNAL (2021). Universitat de València.
Enviat: 22/10/2020. Acceptat: 04/06/2021.

LA PERSPECTIVA DE L'ANTROPOCÈ

Una mirada geològica al canvi climàtic

Alejandro Cearreta

La divisió del temps geològic més recent està basada en esdeveniments de caràcter climàtic provocats per variacions en l'òrbita i l'eix de rotació de la Terra a escala de milers d'anys. No obstant això, la magnitud del canvi geològic causat per la humanitat a través de la seua jove tecnosfera està afectant negativament les altres esferes clàssiques (atmosfera, hidrosfera, biosfera i geosfera) amb la creixent demanda de matèries primeres i el reciclatge incomplet dels seus residus (per exemple, els gasos d'efecte d'hivernacle) particularment des de mitjan segle XX. L'ús massiu de combustibles fòssils per a impulsar l'enorme desenvolupament industrial recent ha convertit la humanitat en el nou agent del canvi climàtic a escala planetària. Algunes alteracions associades amb aquest nou règim climàtic antropocè són ja irreversibles i superen la variabilitat natural dels últims milers d'anys.

Paraules clau: geologia, sistema terrestre, tecnosfera, quaternari, antropocè, canvi climàtic.

INTRODUCCIÓ

El registre geològic del nostre planeta mostra clarament que el diòxid de carboni (CO_2) d'efecte d'hivernacle va disminuir durant una gran part de l'eó fanerozoic (últims 540 milions d'anys), la qual cosa va provocar una caiguda generalitzada de la temperatura global. La Terra ha evolucionat en els últims cent milions d'anys des d'unes condicions hivernacle càlides i sense gel durant el període cretàcic, amb concentracions de CO_2 en l'atmosfera entre tres i sis vegades majors que els nivells preindustrials i un nivell de la mar per damunt de 60 metres respecte a l'actual, fins a convertir-se en un frigorífic amb concentracions de CO_2 molt més baixes i nivells marins situats fins i tot a 130 metres per davall de l'actual durant el període quaternari (últims 2,6 milions d'anys). Aquesta disminució del CO_2 atmosfèric va permetre la formació de la primera gran capa de gel a l'Antàrtida fa 34 milions d'anys (a l'inici de l'oligocè), mentre que les grans capes de gel de l'hemisferi nord, inclosa Groenlàndia, no es van formar fins a l'inici del període quaternari.

«El major problema ambiental que condiciona el nostre futur com a espècie és segurament l'escalfament global en curs»

Partint de la gran variabilitat climàtica que ha caracteritzat l'evolució ambiental del nostre planeta durant la seua llarga història geològica, aquest treball farà un breu repàs als canvis climàtics naturals que han tingut lloc durant el seu passat més recent i destacarà el paper de la nostra espècie humana en l'alteració dels processos geològics i climàtics que operen actualment.

UNITATS DE TEMPS I CLIMA

El període quaternari es caracteritza per unitats de temps geològic lligades a esdeveniments de naturalesa climàtica. Així, l'edat de gel del plistocè va estar inter-

COM CITAR AQUEST ARTICLE:
Cearreta, A. (2021). La perspectiva de l'antropocè: Una mirada geològica al canvi climàtic. *Metode Science Studies Journal*. **https://doi.org/10.7203/metode.12.18741**

rompuda per nombroses, ràpides i breus fases interglacials càlides, provocades per variacions en l'òrbita i l'eix de rotació de la Terra (cicles de Milankovitx). L'última d'aquestes fases càlides constitueix l'holocè, època que es va iniciar fa 11.700 anys quan es va estabilitzar el clima en els hemisferis nord i sud. De la mateixa manera, la subdivisió de l'holocè en tres edats (groenlandià, norgripià i megalaià) es basa en marcadors geoquímics preservats en sondejos de gel i espeleotemes que reflecteixen canvis climàtics abruptes esdevinguts a escala global fa 11.700, 8.200 i 4.200 anys respectivament (Walker et al., 2018).

Els éssers humans actuals hem sigut components del sistema terrestre des de l'aparició d'*Homo sapiens* fa uns 300.000 anys. Hi ha evidències que demostren mil·lennis de creixement continu de la població humana i de la seua progressiva sofisticació tecnològica i cultural, que han anat conduint a canvis ambientals antropogènics lents i diacrònics a través del medi terrestre, com la domesticació de diferents animals i plantes. Aquests canvis ambientals són molt diferents en magnitud respecte als canvis a gran escala, i progressivament més sincrònics, que han tingut lloc en els últims dos segles d'industrialització, amb una pronunciada inflexió ascendent des de mitjan segle XX (Syvitski et al., 2020). Les diferències fonamentals entre el passat i el present tenen a veure amb la magnitud, la velocitat i la sincronia global del canvi antropogènic registrat en els seus respectius senyals geològics (per exemple, l'ascens del nivell marí, la pèrdua de gel glacial l'acidificació dels oceans...). De fet, en produir ciment i plàstics o cremar combustibles fòssils per al desenvolupament de la nostra tecnosfera recent, els éssers humans hem modificat el cicle del carboni i hem sobrecarregat l'atmosfera amb diòxid de carboni (CO_2) addicional.

Gràcies als treballs pioners d'Eunice N. Foote (1856), John Tyndall (1859) i Svante Arrhenius (1896) sobre els efectes provocats en l'atmosfera per les concentracions de gasos d'efecte d'hivernacle, avui sabem que el major problema ambiental que condiciona el nostre futur com a espècie és segurament l'escalfament global en curs. El coneixement que les emissions de grans quantitats de CO_2 afecten el balanç energètic de la superfície terrestre ha agreujat la nostra preocupació per l'impacte negatiu de l'activitat humana sobre una gran varietat de serveis dels ecosistemes que suporten la vida en el planeta.

LA HUMANITAT COM A NOU AGENT GEOLÒGIC

Tradicionalment s'ha considerat que les forces naturals que impulsen els processos geològics superficials de la Terra operen a una escala tan gran i a tan llarg termini que qualsevol tipus d'impacte humà, per comparació, és pràcticament insignificant. No obstant això, aquesta opinió va començar a canviar fa unes dècades quan la magnitud del canvi geològic provocat per la humanitat es va fer més evident i aquest impacte va aparèixer registrat en els sediments.

Paul J. Crutzen i Eugene F. Stoermer (2000) van declarar que la influència humana, expressada pel creixement de les concentracions de gasos amb efecte d'hivernacle des de finals del segle XVIII en sondatges de gel, havia conduït la Terra a una fase nova de la seua història geològica: l'antropocè. Des de llavors, aquest concepte ha entrat ràpidament en la literatura científica com un paradigma molt eficaç per a expressar que la humanitat està canviant la manera com funcionen els processos geològics superficials del planeta a mesura que la població humana ha passat de 1.000 milions l'any 1800, a 2.500 milions en 1950 i a quasi 8.000 milions en l'actualitat (Syvitski et al., 2020). Així, el comportament

Annie Spratt / Unsplash

Kimon Berlin

En produir ciment i plàstics o cremar combustibles fòssils per al desenvolupament de nostra tecnosfera recent, els éssers humans hem modificat el cicle del carboni i hem sobrecarregat l'atmosfera amb diòxid de carboni (CO_2) addicional. En la imatge, transport de carbó a la mina de North Antelope Rochelle, a l'estat de Wyoming, als EUA.

«A pesar que l'increment de CO_2 i altres gasos d'efecte d'hivernacle es va iniciar amb la revolució industrial, el seu impacte es va fer evident d'una manera pronunciada i global solament a mitjan segle XX»

El creixement continu de la població humana i la seua progressiva sofisticació tecnològica i cultural han anat conduint a canvis ambientals antropogènics lents i diacrònics a través del medi terrestre, com la domesticació de diferents animals i plantes.

«Els éssers humans estem actuant com un important agent geològic a escala planetària i les nostres activitats ja han modificat la trajectòria de molts processos clau de la Terra»

actual dels oceans, l'atmosfera, la superfície terrestre, la criosfera, la biosfera i el clima ja no és el mateix que ha caracteritzat l'Holocè.

A pesar que l'increment de CO_2 i altres gasos d'efecte d'hivernacle es va iniciar amb la revolució industrial a la fi del segle XVIII, el seu impacte identificable en la composició química de l'atmosfera i en els cicles biogeoquímics del planeta va començar a partir de 1870 i es va fer evident d'una manera pronunciada i global solament a mitjan segle XX (Syvitski et al., 2020). Aquest fort increment en la magnitud i la velocitat de les activitats humanes i dels seus impactes es coneix com la «gran acceleració», i mostra una explosió de l'activitat humana i de les seues interconnexions des d'aproximadament 1950 que ha alterat de manera significativa l'estructura i el funcionament del sistema terrestre (Steffen et al., 2015).

L'antropocè és diferent de la resta dels temps geològics perquè es tracta de la primera unitat cronoestratigràfica que està completament continguda dins de la història humana escrita i ben documentada. A més, cobreix un període temporal per al qual tenim una comprensió acceptable de la manera d'operar del sistema terrestre gràcies als registres instrumentals detallats que complementen la informació geològica. Per exemple, el clima global es monitora mitjançant una xarxa d'estacions i satèl·lits que observen en temps real la temperatura, la precipitació, la radiació solar, la velocitat del vent i altres paràmetres de l'atmosfera. Igualment, a través de sistemes com la xarxa de boies marines és possible mesurar rutinàriament la temperatura, la salinitat i l'estat químic dels oceans des de la superfície fins als 2.000 metres de profunditat (Summerhayes i Cearreta, 2019).

Els éssers humans estem actuant ara com un important agent geològic a escala planetària i les nostres activitats ja han modificat la trajectòria de molts processos clau de la Terra. Alguns canvis associats amb l'antropocè (com la taxa d'extincions o la translocació d'espècies) ja superen la variabilitat natural tant de l'holocè com del període quaternari (Waters et al., 2016). Aquestes alteracions inclouen increments en els nivells atmosfèrics de gasos d'efecte d'hivernacle, així com variacions en les proporcions d'isòtops estables de carboni (augment del ^{12}C per l'efecte Suess), a conseqüència de la utilització massiva de combustibles fòssils. Altres pertorbacions, com ara els ascensos de la temperatura i el nivell de la mar, superen la variabilitat climàtica de l'holocè, però encara no la del quaternari (Waters et al., 2016). Això implica que l'holocè ja no serveix com a temps geològic per a contindre adequadament la taxa i la magnitud dels paràmetres actuals del sistema terrestre. Les últimes dècades han vist la transformació més ràpida de la relació entre la nostra espècie i el medi natural de tota la història de la humanitat.

Es denomina *tecnosfera* (Zalasiewicz et al., 2017) el sistema global omnipresent que inclou els éssers humans i els seus diferents elements materials. Aquesta tecnosfera actual està afectant profundament les altres esferes del planeta (atmosfera, hidrosfera, biosfera i geosfera) a causa de la creixent demanda de matèries primeres que genera i de l'escàs i incomplet reciclatge de les seues deixalles. Així, una part important de la nostra tecnosfera s'acumula ja com a residus sòlids en els abocadors, però també en forma de components gasosos, com el CO_2 i el metà (CH_4) que s'aboquen i acumulen en l'atmosfera, a més d'altres contaminants que van a la hidrosfera i als sediments (Zalasiewicz et al., 2017).

PRINCIPALS ELEMENTS DEL CLIMA

El Sol és el motor del clima terrestre i la seua radiació solar es veu afectada per tres factors principals que la controlen. En primer lloc, els estels tendeixen a augmentar la seua producció amb el temps i, en el nostre cas, el Sol ho ha fet un 6 % durant els últims 500 milions d'anys (Summerhayes i Zalasiewicz, 2018). A més, l'òrbita de la Terra i la inclinació de l'eix terrestre presenten variacions regulars que afecten la insolació i el repartiment de calor a escala de desenes de milers d'anys (Summerhayes i Cearreta, 2019). Finalment, s'observen diferents cicles temporals de les taques solars que impliquen un escalfament climàtic a mesura que augmenten la seua presència en la superfície del Sol (Summerhayes i Zalasiewicz, 2018).

El nou impulsor del clima a escala planetària és l'activitat humana, especialment a través de l'emissió de gasos d'efecte d'hivernacle (CO_2, CH_4 i N_2O), però també agregant aerosols produïts industrialment que reflecteixen la llum solar així com carbó negre (sutge) que absorbeix la calor, de manera semblant a com actuen el diòxid de sofre (SO2) i la pols volcànica que es produeixen de manera natural durant les grans erupcions (Church et al., 2013).

La interacció d'aquests factors naturals i humans fa que la relació entre el CO_2 i la temperatura de l'atmosfera siga complexa. Per exemple, encara que podríem haver esperat un increment de la temperatura atmosfèrica durant la dècada de 1960 a mesura que anaven creixent les emissions de CO_2, les temperatures globals es van mantindre relativament fresques a causa d'una aportació massiva d'aire brut per l'augment de la crema de carbó en les llars i indústries, ja que els aerosols reflectien prou energia solar i evitaven que les temperatures globals ascendiren. Aquestes temperatures no van augmentar fins a la dècada de 1970, quan els països industrialitzats van introduir lleis per a eliminar de l'aire els aerosols particulats, la principal causa de l'*smog* industrial (Summerhayes i Zalasiewicz, 2018).

CONSEQÜÈNCIES DEL CANVI CLIMÀTIC EN CURS

Des de l'any 1900, l'atmosfera inferior del planeta s'ha escalfat 1,2 °C i l'oceà ha anat incrementant la seua temperatura a profunditats cada vegada majors; el nivell de la mar global ha ascendit 30 cm; el gel marí s'està fonent; la majoria de les glaceres de muntanya s'estan retirant; tant les capes de gel de l'Antàrtida com de Groenlàndia estan perdent massa, i l'oceà s'està tornant més àcid. L'únic factor que pot explicar tots aquests fenòmens és l'augment en les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle provocat per les activitats humanes, l'efecte de les quals s'incrementa per l'evaporació progressiva de vapor d'aigua des de l'oceà a mesura que aquest es va escalfant. A conseqüència de la injecció a l'atmosfera de 10 Gt/any, l'augment global de CO_2 actualment és d'uns 20 ppm/dècada, és a dir, cent vegades més ràpid que la velocitat d'entrada natural d'aquest gas en l'atmosfera terrestre durant els últims 800.000 anys (Summerhayes i Cearreta, 2019).

Al voltant del 50 % de les emissions antropogèniques de CO_2 s'han acumulat en l'atmosfera, amb una permanència d'aquest CO_2 atmosfèric durant més de cent anys. La resta s'absorbeix aproximadament en quantitats iguals pels embornals terrestres i oceànics, fet que ajuda a desaccelerar la seua velocitat d'augment en l'atmosfera però que modifica, en canvi, la química de les aigües oceàniques perquè n'incrementa

L'antropocè cobreix un període temporal per al qual tenim una comprensió acceptable de la manera d'operar del sistema terrestre gràcies als registres instrumentals detallats que complementen la informació geològica. Per exemple, el clima global es monitora mitjançant una xarxa d'estacions i satèl·lits que observen en temps real la temperatura, la precipitació, la radiació solar, la velocitat del vent i altres paràmetres de l'atmosfera. En la imatge, estació meteorològica Garden Wall, ubicada al Parc Nacional de les Glaceres, a Montana (EUA).

«La interacció de factors naturals i humans fa que la relació entre el CO_2 i la temperatura de l'atmosfera siga complexa»

Denys Nevozhai / Unsplash

Erich Peitzsch, USGS

l'acidesa i provoca la dissolució dels organismes que construeixen les closques amb carbonat càlcic (Church et al., 2013).

EL PRESENT I EL FUTUR

Amb motiu de la Conferència de les Nacions Unides sobre el Canvi Climàtic (COP25) celebrada a Madrid, el Programa per al Medi Ambient de les Nacions Unides va publicar la desena edició del seu informe científic sobre les emissions de gasos d'efecte d'hivernacle (UNEP, 2019). Les conclusions generals d'aquest informe no podien ser més descoratjadores: les vint economies principals del planeta, el denominat G-20, continuen augmentant les seues emissions de gasos amb efecte d'hivernacle, que representen avui quasi el 80 % a escala mundial, i incompleixen sistemàticament els compromisos mínims que van signar els seus governs per a limitar l'escalfament global a 1,5 °C.

Els éssers humans estem actuant com un important agent geològic a escala planetària i les nostres activitats ja han modificat la trajectòria de molts processos clau de la Terra. Aquestes alteracions inclouen increments en els nivells atmosfèrics de gasos d'efecte d'hivernacle, així com variacions en les proporcions d'isòtops estables de carboni, a conseqüència de la utilització massiva de combustibles fòssils.

«Les últimes dècades han vist la transformació més ràpida de la relació entre la nostra espècie i el medi natural de tota la història de la humanitat»

Aquest informe alerta que la consecució dels objectius de l'Acord de París signat en 2015 ja no és possible aplicant solament canvis progressius, i serà necessari posar en marxa mesures ràpides i transformadores. Malgrat les promeses de reducció d'emissions, els gasos d'efecte d'hivernacle causants de la crisi climàtica estan aconseguint cada any un nou màxim històric des de fa dècades.

Aquest mateix any, el Panel Intergovernamental sobre el Canvi Climàtic va publicar dos informes científics especials sobre la terra i l'oceà i la criosfera que expressaven una gran preocupació per les alteracions observades i previstes en el nostre planeta a conseqüència del canvi climàtic, mentre oferien una base científica cada vegada més sòlida per a posar en marxa mesures que permeten complir els objectius marcats en els diferents acords internacionals (IPCC, 2019a, 2019b). A causa dels compromisos polítics insuficients o que no han sigut respectats pels governs, les emissions de gasos d'efecte d'hivernacle continuen en augment malgrat els advertiments de la comunitat científica.

«La consecució dels objectius de l'Acord de París de 2015 ja no és possible aplicant solament canvis progressius, i serà necessari posar en marxa mesures ràpides i transformadores»

Encara que els canvis associats amb l'antropocè hagen sigut fins ara geològicament breus, les seues conseqüències han provocat una modificació molt evident del planeta cap a una nova trajectòria climàtica, amb efectes que persistiran durant segles, mil·lennis i fins i tot milions d'anys (i que, probablement, a més s'intensificaran a curt i mitjà termini). Alguns d'aquests canvis són ja irreversibles, fins i tot si la humanitat desapareguera demà mateix, com els efectes en l'atmosfera i els oceans provocats per l'alliberament massiu de gasos amb efecte d'hivernacle (Steffen et al., 2016). Les variacions en els nivells atmosfèrics de CO_2, CH_4 i N_2O, i els canvis en les proporcions d'isòtops estables de carboni superen ja la variabilitat natural tant de l'holocè com del període quaternari (Waters et al., 2016), i es troben fora de la seua trajectòria natural durant els últims mil·lennis (Figura 1). Ens trobem, per tant, en un règim climàtic clarament diferent, en què els principals impulsors del canvi climàtic no són ja els cicles orbitals de Milankovitx, sinó les ingents i ràpides emissions antropogèni-

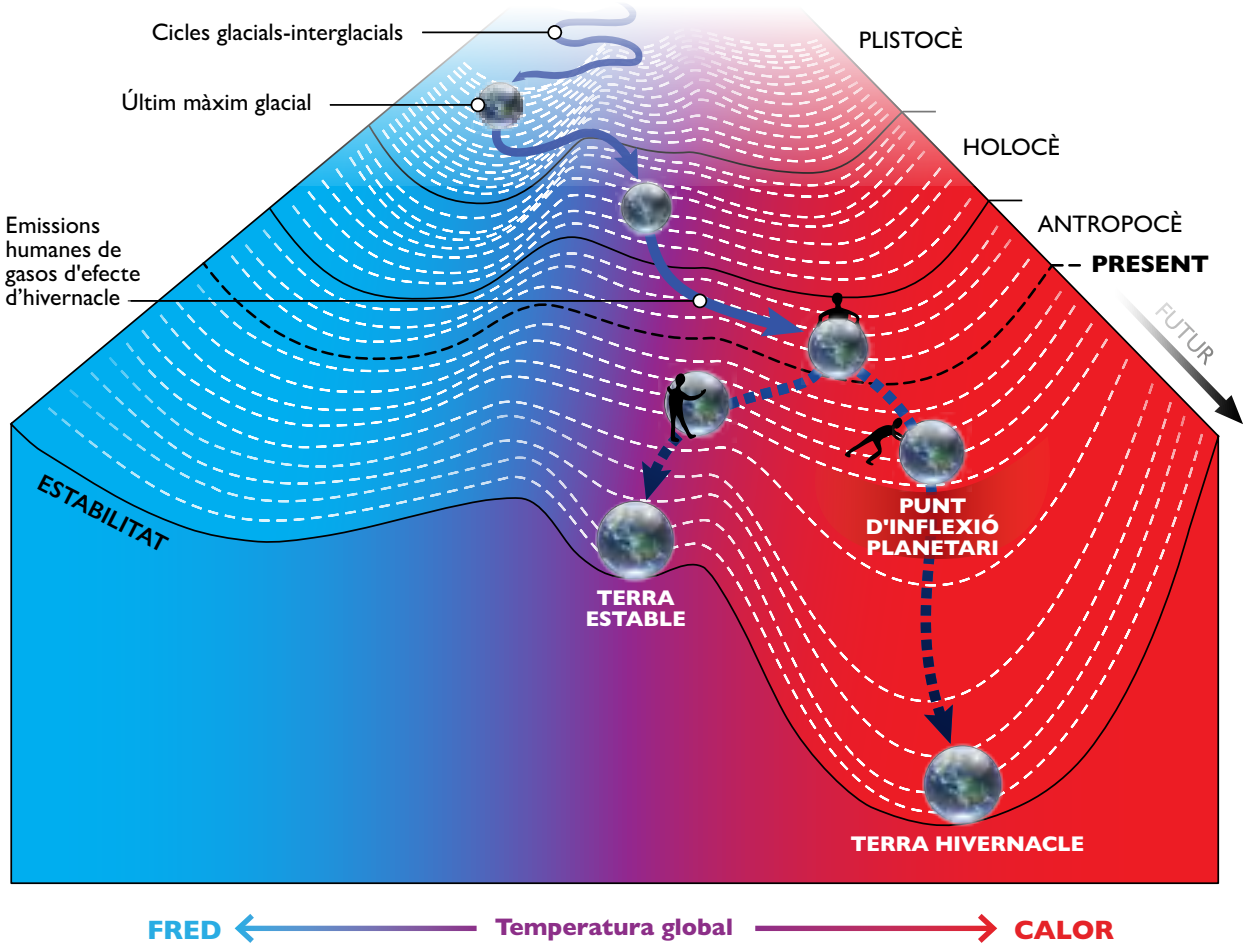

Figura 1. Representació gràfica de la variabilitat climàtica del sistema terrestre durant els últims milions d'anys. Actualment, la Terra es troba en una trajectòria d'escalfament impulsada per les emissions humanes de gasos d'efecte d'hivernacle. A partir d'ara pot prendre dos camins possibles (assenyalats per les línies de punts). Si la Terra excedeix el punt d'inflexió planetari, seguirà un camí irreversible cap a un estat d'hivernacle. En canvi, la via alternativa condueix a una Terra estabilitzada, on una adequada gestió ambiental de les activitats humanes permetrà que el sistema terrestre mantinga un estat quasiestable.

FONT: Extreta de Koppers i Coggon (2020) (*open access*)

ques de gasos d'efecte d'hivernacle. De fet, els recents models climàtics suggereixen que el CO_2 atmosfèric provinent de la crema de combustibles fòssils pot haver desplaçat ja el sistema terrestre prou per a posposar el pròxim inici glacial durant almenys 100.000 anys més (Ganopolski et al., 2016).

Amb la quantitat de CO_2 actualment en l'atmosfera, el planeta continuarà escalfant-se i això conduirà a un augment del nivell marí a llarg termini fins i tot si les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle cessaren immediatament. Els ascensos pretèrits del nivell de la mar van necessitar molt més temps per a aconseguir el seu equilibri que l'augment de la temperatura atmosfèrica. Per exemple, l'escalfament solar a causa dels cicles orbitals va acabar fa 11.700 anys (a l'inici de l'holocè), però el nivell de la mar va continuar augmentant, en 45 metres addicionals més, durant 5.000 anys més a mesura que les capes de gel continuaven fonent-se (Summerhayes i Cearreta, 2019).

Les últimes projeccions de l'IPCC (2019b) auguren un augment mitjà del nivell marí a la fi del segle XXI

«El CO_2 atmosfèric pot haver desplaçat ja el sistema terrestre prou per a posposar el pròxim inici glacial durant almenys 100.000 anys més»

de 28-57 cm considerant un escenari que preveja una reducció dràstica de les emissions d'efecte d'hivernacle, i de 55-140 cm si hi haguera un creixement d'aquestes emissions. Altres estimacions recents suggereixen que l'ascens mitjà global del nivell de la mar podria fins i tot superar els 150-200 cm l'any 2100 (Summerhayes i Cearreta, 2019). Aquesta diferència en les previsions reflecteix les incerteses que hi ha sobre el comportament futur dels casquets glacials d'Antàrtida i Groenlàndia (Church et al., 2013). Si les emissions no disminueixen, l'Antàrtida té el potencial per a contribuir amb més d'1 metre a l'augment del nivell marí l'any 2100 i més de 15 metres en el 2500, mentre que Groenlàndia farà la seua pròpia contribució addicional (Summerhayes i Cearreta, 2019).

«Alguns dels canvis associats amb l'antropocè són ja irreversibles, fins i tot si la humanitat desapareguera demà mateix»

Hauran de dedicar-se mesures considerables en la zona litoral per a evitar impactes greus als 600 milions de persones que viuen en les megaciutats costaneres del planeta a menys de 10 metres sobre el nivell de la mar (Summerhayes i Cearreta, 2019). Si volem estabilitzar el clima en un valor acceptable de temperatura i nivell marí, i evitar així l'acidificació descontrolada de l'oceà amb tots els efectes negatius que comporta per a la vida marina, hem de reduir les emissions de carboni. La història geològica ens ensenya que la nostra millor elecció és estabilitzar el clima en 1,5-2 °C per damunt dels valors de l'any 1900, amb un augment del nivell de la mar preferiblement inferior a 1 metre.

REFERÈNCIES

Church, J. A., Clark, P. U., Cazenave, A., Gregory, J. M., Jevrejeva, S., Levermann, A., Merrifield, M. A., Milne, G. A., Nerem, G. A., Nerem, R. S., Nunn, P. D., Payne, A. J., Pfeffer, W. T., Stammer, D., & Unnikrishnan, A. S. (2013). Sea level change. En T. F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex, & P. M. Midgley (Eds.), *Climate change 2013: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (p. 1137–1216). Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.026

Crutzen, P. J., & Stoermer, E. F. (2000). The "Anthropocene". *Global Change International Geosphere–Biosphere Programme Newsletter*, *41*, 17–18.

Ganopolski, A., Winkelmann, R., & Schellnhuber, H. J. (2016). Critical insolation-CO_2 relation for diagnosing past and future glacial inception. *Nature*, *529*(7585), 200–203. https://doi.org/10.1038/nature16494

IPCC. (2019a). *Climate change and land: An IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems*. En P. R. Shukla, J. Skea, E. Calvo Buendia, V. Masson-Delmotte, H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, P. Zhai, R. Slade, S. Connors, R. van Diemen, M. Ferrat, E. Haughey, S. Luz, S. Neogi, M. Pathak, J. Petzold, J. Portugal Pereira, P. Vyas, E. Huntley, ... J. Malley (Eds.). En prensa.

IPCC. (2019b). 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, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N. M. Weyer (Eds.). En prensa.

Koppers, A. A. P., & Coggon, R. (2020). *Exploring earth by scientific ocean drilling: 2050 Science Framework*. UC San Diego Library Digital Collections. https://doi.org/10.6075/J0W66J9H

Steffen, W., Broadgate, W., Deutsch, L., Gaffney, O., & Ludwig, C. (2015). The trajectory of the Anthropocene: The Great Acceleration. *The Anthropocene Review*, *2*(1), 81–98. https://doi.org/10.1177/2053019614564785

Steffen, W., Leinfelder, R., Zalasiewicz, J., Waters, C. N., Williams, M., Summerhayes, C., Barnosky, A. D., Cearreta, A., Crutzen, P., Edgeworth, M., Ellis, E. C., Fairchild, I. J., Galuszka, A., Grinevald, J., Haywood, A., Ivar do Sul, J., Jeandel, C., McNeill, J. R., Odada, E., … Schellnhuber, H. J. (2016). Stratigraphic and Earth System approaches to defining the Anthropocene. *Earth's Future*, *4*(8), 324–345. https://doi.org/10.1002/2016EF000379

Summerhayes, C., & Cearreta, A. (2019). Climate change and the Anthropocene. En J. Zalasiewicz, C. N. Waters, M. Williams, & C. P. Summerhayes (Eds.), *The Anthropocene as a geological time unit. A guide to the scientific evidence and current debate* (p. 200–241). Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/9781108621359.006

Summerhayes, C. P., & Zalasiewicz, J. (2018). Global warming and the Anthropocene. *Geology Today*, *34*(5), 194–200. https://doi.org/10.1111/gto.12247

Syvitski, J., Waters, C., Day, J., Milliman, J. D., Summerhayes, C., Steffen, W., Zalasiewicz, J., Cearreta, A., Galuszka, A., Hajdas, I., Head, M. J., Leinfelder, R., McNeill, J. R., Poirier, C., Rose, N. L., Shotyk, W., Wagreich, M., & Williams, M. (2020). Extraordinary human energy consumption and resultant geological impacts beginning around 1950 CE initiated the proposed Anthropocene Epoch. *Communications Earth & Environment*, *1*, 32. https://doi.org/10.1038/s43247-020-00029-y

UNEP. (2019). *Emissions gap report 2019*. United Nations.

Walker, M., Head, M. J., Berkelhammer, M., Björck, S., Cheng, H., Cwynar, L., Fisher, D., Gkinis, V., Long, A., Lowe, J., Newnham, R., Rasmussen, S. O., & Weiss, H. (2018). Formal ratification of the subdivision of the Holocene Series/Epoch (Quaternary System/Period): Two new Global Boundary Stratotype Sections and Points (GSSPs) and three new stages/subseries. *Episodes*, *41*(4), 213–223. https://doi.org/10.18814/epiiugs/2018/018016

Waters, C. N., Zalasiewicz, J., Summerhayes, C., Barnosky, A. D., Poirier, C., Gałuszka, A., Cearreta, A., Edgeworth, M., Ellis, E. C., Ellis, M., Jeandel, C., Leinfelder, R., McNeill, J. R., Richter D. de B., Steffen, W., Syvitski, J., Vidas, D., Wagreich, M., Williams, M., … Wolfe, A. P. (2016). The Anthropocene is functionally and stratigraphically distinct from the Holocene. *Science*, *351*(6269), aad2622. https://doi.org/10.1126/science.aad2622

Zalasiewicz, J., Williams, M., Waters, C., Barnosky, T., Palmesino, J., Rönnskog, A.-S., Edgeworth, E., Neal, C., Cearreta, A., Ellis, E. C., Grinevald, J., Haff, P., Ivar do Sul, Jeandel, C., Leinfelder, R., J. A., McNeill, J. R., Odada, E., Oreskes, N., Price, S. J., … Wolfe, A. P. (2017). Scale and diversity of the physical technosphere: A geological perspective. *The Anthropocene Review*, *4*, 9–22. https://doi.org/10.1177/2053019616677743

AGRAÏMENTS

Aquest treball està basat en diferents idees publicades col·lectivament per l'Anthropocene Working Group (Comissió Internacional d'Estratigrafia) durant els últims anys, del qual l'autor forma part. Ha tingut el suport dels projectes RTI2018-095678-B-C21 (MCIU/AEI/FEDER, UE) i IT976-16 (EJ/GV). Dos revisors/es anònims/es van millorar el manuscrit original amb els seus comentaris i suggeriments.

ALEJANDRO CEARRETA. Professor titular del Departament de Geologia de la Universitat del País Basc (UPV/EHU) i investigador associat del Basque Centre for Climate Change (BC3) (Espanya). És doctor en Geologia per la Universitat d'Exeter (UK) i director del Departament de Geologia en la UPV/EHU. Actualment és responsable del programa de doctorat en Quaternari: Canvis Ambientals i Petjada Humana de la UPV/EHU, i membre de l'Anthropocene Working Group (Comissió Internacional d'Estratigrafia).
✉ alejandro.cearreta@ehu.eus