MONOGRÁFICO
MÈTODE SCIENCE STUDIES JOURNAL (2021). Universitat de València.
Enviado: 22/10/2020. Aceptado: 04/06/2021.

LA PERSPECTIVA DEL ANTROPOCENO

Una mirada geológica al cambio climático

Alejandro Cearreta

La división del tiempo geológico más reciente está basada en eventos de carácter climático provocados por variaciones en la órbita y el eje de rotación de la Tierra a escala de miles de años. Sin embargo, la magnitud del cambio geológico causado por la humanidad a través de su joven tecnosfera está afectando negativamente a las otras esferas clásicas (atmósfera, hidrosfera, biosfera y geosfera) con su creciente demanda de materias primas y el reciclaje incompleto de sus residuos (por ejemplo, los gases de efecto invernadero) particularmente desde mediados del siglo XX. El uso masivo de combustibles fósiles para impulsar el enorme desarrollo industrial reciente ha convertido a la humanidad en el nuevo agente del cambio climático a escala planetaria. Algunas alteraciones asociadas con este nuevo régimen climático antropoceno son ya irreversibles y superan la variabilidad natural de los últimos miles de años.

Palabras clave: geología, sistema terrestre, tecnosfera, Cuaternario, Antropoceno, cambio climático.

INTRODUCCIÓN

El registro geológico de nuestro planeta muestra claramente que el dióxido de carbono (CO_2) de efecto invernadero disminuyó durante una gran parte del eón Fanerozoico (últimos 540 millones de años), lo que provocó una caída generalizada de la temperatura global. La Tierra ha evolucionado en los últimos cien millones de años desde unas condiciones invernadero cálidas y sin hielo durante el periodo Cretácico, con concentraciones de CO_2 en la atmósfera entre tres y seis veces mayores que los niveles preindustriales y un nivel del mar por encima de 60 metros respecto al actual, hasta convertirse en un frigorífico con concentraciones de CO_2 mucho más bajas y niveles marinos situados incluso a 130 metros por debajo del actual durante el periodo Cuaternario (últimos 2,6 millones de años). Esta disminución del CO_2 atmosférico permitió la formación de la primera gran capa de hielo en la Antártida hace 34 millones de años (al inicio del Oligoceno), mientras que las grandes capas de hielo del hemisferio norte, incluida Groenlandia, no se formaron hasta el inicio del periodo Cuaternario.

«El concepto de *Antropoceno* es muy eficaz para expresar cómo la humanidad está cambiando el modo en que funcionan los procesos geológicos superficiales del planeta»

Partiendo de la gran variabilidad climática que ha caracterizado la evolución ambiental de nuestro planeta durante su larga historia geológica, este trabajo hará un breve repaso a los cambios climáticos naturales que han tenido lugar durante su pasado más reciente y destacará el papel de nuestra

CÓMO CITAR ESTE ARTÍCULO:
Cearreta, A. (2021). La perspectiva del Antropoceno: Una mirada geológica al cambio climático. *Metode Science Studies Journal*. **https://doi.org/10.7203/metode.12.18741**

especie humana en la alteración de los procesos geológicos y climáticos que operan actualmente.

UNIDADES DE TIEMPO Y CLIMA

El período Cuaternario se caracteriza por unidades de tiempo geológico ligadas a eventos de naturaleza climática. Así, la Edad de Hielo del Pleistoceno estuvo interrumpida por numerosas, rápidas y breves fases interglaciares cálidas, provocadas por variaciones en la órbita y el eje de rotación de la Tierra (ciclos de Milanković). La última de estas fases cálidas constituye el Holoceno, época que se inició hace 11.700 años cuando se estabilizó el clima en los hemisferios norte y sur. Del mismo modo, la subdivisión del Holoceno en tres edades (Groenlandiense, Norgripiense y Megalayense) se basa en marcadores geoquímicos preservados en sondeos de hielo y espeleotemas que reflejan cambios climáticos abruptos ocurridos a escala global hace 11.700, 8.200 y 4.200 años respectivamente (Walker et al., 2018).

Los seres humanos actuales hemos sido componentes del sistema terrestre desde la aparición de *Homo sapiens* hace unos 300.000 años. Hay evidencias que demuestran milenios de crecimiento continuo de la población humana y de su progresiva sofisticación tecnológica y cultural, que han ido conduciendo a cambios ambientales antropogénicos lentos y diacrónicos a través del medio terrestre, como la domesticación de diferentes animales y plantas. Estos cambios ambientales son muy diferentes en magnitud respecto a los cambios a gran escala, y progresivamente más sincrónicos, que han tenido lugar en los últimos dos siglos de industrialización, con una pronunciada inflexión ascendente desde mediados del siglo XX (Syvitski et al., 2020). Las diferencias fundamentales entre el pasado y el presente tienen que ver con la magnitud, la velocidad y la sincronía global del cambio antropogénico registrado en sus respectivas señales geológicas (por ejemplo, el ascenso del nivel marino, la pérdida de hielo glaciar, la acidificación de los océanos…). De hecho, al producir cemento y plásticos o quemar combustibles fósiles para el desarrollo de nuestra tecnosfera reciente, los seres humanos hemos modificado el ciclo del carbono, sobrecargando la atmósfera con dióxido de carbono (CO_2) adicional.

Gracias a los trabajos pioneros de Eunice N. Foote (1856), John Tyndall (1859) y Svante Arrhenius (1896) sobre los efectos provocados en la atmósfera por las concentraciones de gases de efecto invernadero, hoy sabemos que el mayor problema ambiental que condiciona nuestro futuro como especie es seguramente el calentamiento global en curso. El conocimiento de que las emisiones de grandes cantidades de CO_2 afectan al balance energético de la superficie terrestre ha agravado nuestra preocupación por el impacto negativo de la actividad humana sobre una gran variedad de servicios de los ecosistemas que soportan la vida en el planeta.

LA HUMANIDAD COMO NUEVO AGENTE GEOLÓGICO

Tradicionalmente se ha considerado que las fuerzas naturales que impulsan los procesos geológicos superficiales de la Tierra operan a una escala tan grande y a tan largo plazo que cualquier tipo de impacto humano, por comparación, es prácticamente insignificante. Sin embargo, esta opinión comenzó a cambiar hace unas décadas cuando la magnitud del cambio geológico provocado por la humanidad se hizo más evidente y este impacto apareció registrado en los sedimentos.

Annie Spratt / Unsplash

Kimon Berlin

Al producir cemento y plásticos o quemar combustibles fósiles para el desarrollo de nuestra tecnosfera reciente, los seres humanos hemos modificado el ciclo del carbono, lo que ha sobrecargado la atmósfera con dióxido de carbono (CO_2) adicional. En la imagen, transporte de carbón en la mina de North Antelope Rochelle, en el estado de Wyoming (EE UU).

«A pesar de que el incremento de CO_2 y otros gases de efecto invernadero se inició con la Revolución Industrial, su impacto se hizo evidente de una manera pronunciada y global solo a mediados del siglo XX»

El crecimiento continuo de la población humana y de su progresiva sofisticación tecnológica y cultural han ido conduciendo a cambios ambientales antropogénicos lentos y diacrónicos a través del medio terrestre, como la domesticación de diferentes animales y plantas.

«Los seres humanos estamos actuando como un importante agente geológico a escala planetaria y nuestras actividades ya han modificado la trayectoria de muchos procesos clave de la Tierra»

Paul J. Crutzen y Eugene F. Stoermer (2000) declararon que la influencia humana, expresada por el crecimiento de las concentraciones de gases invernadero desde finales del siglo XVIII en sondeos de hielo, había conducido a la Tierra a una fase nueva de su historia geológica: el Antropoceno. Desde entonces, este concepto ha entrado rápidamente en la literatura científica como un paradigma muy eficaz para expresar cómo la humanidad está cambiando el modo en que funcionan los procesos geológicos superficiales del planeta conforme la población humana ha pasado de 1.000 millones en el año 1800, a 2.500 millones en 1950 y a casi 8.000 millones en la actualidad (Syvitski et al., 2020). Así, el comportamiento actual de los océanos, la atmósfera, la superficie terrestre, la criosfera, la biosfera y el clima ya no es el mismo que ha caracterizado al Holoceno.

A pesar de que el incremento de CO_2 y otros gases de efecto invernadero se inició con la Revolución Industrial a finales del siglo XVIII, su impacto identificable en la composición química de la atmósfera y en los ciclos biogeoquímicos del planeta comenzó a partir de 1870 y se hizo evidente de una manera pronunciada y global solo a mediados del siglo XX (Syvitski et al., 2020). Este fuerte incremento en la magnitud y la velocidad de las actividades humanas y de sus impactos se conoce como la «gran aceleración», y muestra una explosión de la actividad humana y de sus interconexiones desde aproximadamente 1950 que ha alterado de manera significativa la estructura y el funcionamiento del sistema terrestre (Steffen et al., 2015).

El Antropoceno es diferente al resto de los tiempos geológicos porque se trata de la primera unidad cronoestratigráfica que está completamente contenida dentro de la historia humana escrita y bien documentada. Además, cubre un período temporal para el que tenemos una comprensión aceptable del modo en el que opera el sistema terrestre gracias a los registros instrumentales detallados que complementan la información geológica. Por ejemplo, el clima global se monitoriza mediante una red de estaciones y satélites que observan en tiempo real la temperatura, la precipitación, la radiación solar, la velocidad del viento y otros parámetros de la atmósfera. Igualmente, a través de sistemas como la red de boyas marinas, es posible medir rutinariamente la temperatura, la salinidad y el estado químico de los océanos desde la superficie hasta los 2.000 metros de profundidad (Summerhayes y Cearreta, 2019).

Los seres humanos estamos actuando ahora como un importante agente geológico a escala planetaria y nuestras actividades ya han modificado la trayectoria de muchos procesos clave de la Tierra. Algunos cambios asociados con el Antropoceno (como la tasa de extinciones o la translocación de especies) ya superan la variabilidad natural tanto del Holoceno como del periodo Cuaternario (Waters et al., 2016). Estas alteraciones incluyen incrementos en los niveles atmosféricos de gases de efecto invernadero, así como variaciones en las proporciones de isótopos estables de carbono (aumento del ^{12}C por el efecto Suess), como consecuencia de la utilización masiva de combustibles fósiles. Otras perturbaciones, tales como los ascensos de la temperatura y el nivel del mar, superan la variabilidad climática del Holoceno, pero aún no la del Cuaternario (Waters et al., 2016). Esto implica que el Holoceno ya no sirve como tiempo geológico para contener adecuadamente la tasa y la magnitud de los parámetros actuales del sistema terrestre. Las últimas décadas han visto la transformación más rápida de la relación entre nuestra especie y el medio natural de toda la historia de la humanidad.

Se denomina *tecnosfera* (Zalasiewicz et al., 2017) al sistema global omnipresente que incluye a los seres humanos y sus diferentes elementos materiales. Esta tecnosfera actual está afectando profundamente a las

otras esferas del planeta (atmósfera, hidrosfera, biosfera y geosfera) debido a su creciente demanda de materias primas y al escaso e incompleto reciclaje de sus desechos. Así, una parte importante de nuestra tecnosfera se acumula ya como residuos sólidos en los vertederos, pero también en forma de componentes gaseosos, como el CO_2 y el metano (CH_4) que se vierten y acumulan en la atmósfera, además de otros contaminantes que van a la hidrosfera y a los sedimentos (Zalasiewicz et al., 2017).

PRINCIPALES ELEMENTOS DEL CLIMA

El Sol es el motor del clima terrestre y su radiación solar se ve afectada por tres factores principales que la controlan. En primer lugar, las estrellas tienden a aumentar su producción con el tiempo y, en nuestro caso, el Sol lo ha hecho un 6 % durante los últimos 500 millones de años (Summerhayes y Zalasiewicz, 2018). Además, la órbita de la Tierra y la inclinación del eje terrestre presentan variaciones regulares que afectan a la insolación y al reparto de calor a escala de decenas de miles de años (Summerhayes y Cearreta, 2019). Por último, se observan distintos ciclos temporales de las manchas solares que implican un calentamiento climático conforme aumentan su presencia en la superficie del Sol (Summerhayes y Zalasiewicz, 2018).

El nuevo impulsor del clima a escala planetaria es la actividad humana, especialmente a través de la emisión de gases de efecto invernadero (CO_2, CH_4 y N_2O), pero también agregando aerosoles producidos industrialmente que reflejan la luz solar así como carbón negro (hollín) que absorbe el calor, de modo semejante a como actúan el dióxido de azufre (SO_2) y el polvo volcánico que se producen de manera natural durante las grandes erupciones (Church et al., 2013).

La interacción de estos factores naturales y humanos hace que la relación entre el CO_2 y la temperatura de la atmósfera sea compleja. Por ejemplo, aunque podríamos haber esperado un incremento de la temperatura atmosférica durante la década de 1960 a medida que iban creciendo las emisiones de CO_2, las temperaturas globales se mantuvieron relativamente frescas debido a un aporte masivo de aire sucio por el aumento de la quema de carbón en los hogares e industrias, ya que los aerosoles reflejaban suficiente energía solar y evitaban que las temperaturas globales ascendieran. Estas temperaturas no aumentaron hasta la década de 1970, cuando los países industrializados introdujeron leyes para eliminar del aire los aerosoles particulados, la principal causa del *smog* industrial (Summerhayes y Zalasiewicz, 2018).

Erich Peitzsch, USGS

El Antropoceno cubre un período temporal para el que tenemos una comprensión aceptable del modo en el que opera el sistema terrestre gracias a los registros instrumentales detallados que complementan la información geológica. Por ejemplo, el clima global se monitoriza mediante una red de estaciones y satélites que observan en tiempo real la temperatura, la precipitación, la radiación solar, la velocidad del viento y otros parámetros de la atmósfera. En la imagen, estación meteorológica Garden Wall, ubicada en el Parque Nacional de los Glaciares, en Montana (EE UU).

«La interacción de factores naturales y humanos hace que la relación entre el CO_2 y la temperatura de la atmósfera sea compleja»

CONSECUENCIAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN CURSO

Desde el año 1900, la atmósfera inferior del planeta se ha calentado 1,2 °C y el océano ha ido incrementando su temperatura a profundidades cada vez mayores; el nivel del mar global ha ascendido 30 cm; el hielo marino se está fundiendo; la mayoría de los glaciares de montaña se están retirando; tanto las capas de hielo de la Antártida como de Groenlandia están perdiendo masa, y el océano se está volviendo más ácido. El único factor que puede explicar todos estos fenómenos es el aumento en las emisiones de gases invernadero provocado por las actividades humanas, cuyo efecto se incrementa por la evaporación progresiva de vapor de agua desde el océano conforme este se va calentando. Como consecuencia de la inyección a la atmósfera de 10 Gt/año, el aumento global de CO_2 actualmente es de unos 20 ppm/década, es decir, cien veces más rápido que la

Denys Nevozhai / Unsplash

velocidad de entrada natural de este gas en la atmósfera terrestre durante los últimos 800.000 años (Summerhayes y Cearreta, 2019).

Alrededor del 50 % de las emisiones antropogénicas de CO_2 se han acumulado en la atmósfera, con una permanencia de ese CO_2 atmosférico durante más de cien años. El resto se absorbe aproximadamente en cantidades iguales por los sumideros terrestres y oceánicos, hecho que ayuda a desacelerar su velocidad de aumento en la atmósfera pero que modifica, en cambio, la química de las aguas oceánicas al incrementar su acidez y provocar la disolución de los organismos que construyen sus caparazones con carbonato cálcico (Church et al., 2013).

EL PRESENTE Y EL FUTURO

En ocasión de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (COP25) celebrada en Madrid, el Programa para el Medio Ambiente de las Naciones Unidas publicó la décima edición de su informe científico sobre las emisiones de gases de efecto invernadero (UNEP, 2019). Las conclusiones generales de ese informe no podían ser más desalentadoras: las veinte economías principales del planeta, el denominado G-20, siguen aumentando sus emisiones de gases invernadero, que representan hoy casi el 80 % a escala mundial, e incumplen sistemáticamente los compromisos mínimos que firmaron sus gobiernos para limitar el calentamiento global a 1,5 ºC. Este informe alerta de que la consecución de los objetivos del Acuerdo de París firmado en 2015 ya no es posible aplicando solo cambios progresivos, y será necesario poner en marcha medidas rápidas y transformadoras. Pese a las promesas de reducción de emisiones, los gases de efecto invernadero causantes de la crisis climática están alcanzando cada año un nuevo máximo histórico desde hace décadas.

Ese mismo año, el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático publicó dos informes científicos especiales sobre la tierra y el océano y la criosfera que expresaban una gran preocupación por las alteraciones observadas y previstas en nuestro planeta como consecuencia del cambio climático, mientras ofrecían una base científica cada vez más sólida para poner en marcha medidas que permitan cumplir los objetivos marcados en los diferentes acuerdos internacionales (IPCC, 2019a, 2019b). Debido a los compromisos políticos insuficientes o que no han sido respetados por los gobiernos, las emisiones de gases de efecto invernadero siguen en aumento a pesar de las advertencias de la comunidad científica.

Aunque los cambios asociados con el Antropoceno hayan sido hasta ahora geológicamente breves, sus consecuencias han provocado una modificación muy evidente del planeta hacia una nueva trayectoria climática, con efectos que persistirán durante siglos, milenios e incluso millones de años (y que, probablemente, se intensificarán además a corto y medio plazo). Algunos de estos cambios son ya irreversibles, incluso si la humanidad desapareciera mañana mismo, como los efectos en la atmósfera y los océanos provocados por la liberación masiva de gases invernadero (Steffen et al., 2016). Las variaciones en los niveles atmosféricos de CO_2, CH_4 y N_2O, y los cambios en las proporciones de isótopos estables de carbono superan ya la variabilidad natural tanto del Holoceno como del periodo Cuaternario (Waters et al., 2016), y se encuentran fuera de su trayectoria natural durante los últimos milenios (Figura 1). Nos encontramos, por tanto, en un régimen climático claramente distinto, donde los principales impulsores del cambio climático no son ya los ciclos orbitales de Milanković, sino las

Los seres humanos estamos actuando como un importante agente geológico a escala planetaria y nuestras actividades ya han modificado la trayectoria de muchos procesos clave de la Tierra. Estas alteraciones incluyen incrementos en los niveles atmosféricos de gases de efecto invernadero, así como variaciones en las proporciones de isótopos estables de carbono, como consecuencia de la utilización masiva de combustibles fósiles.

«Las últimas décadas han visto la transformación más rápida de la relación entre nuestra especie y el medio natural de toda la historia de la humanidad»

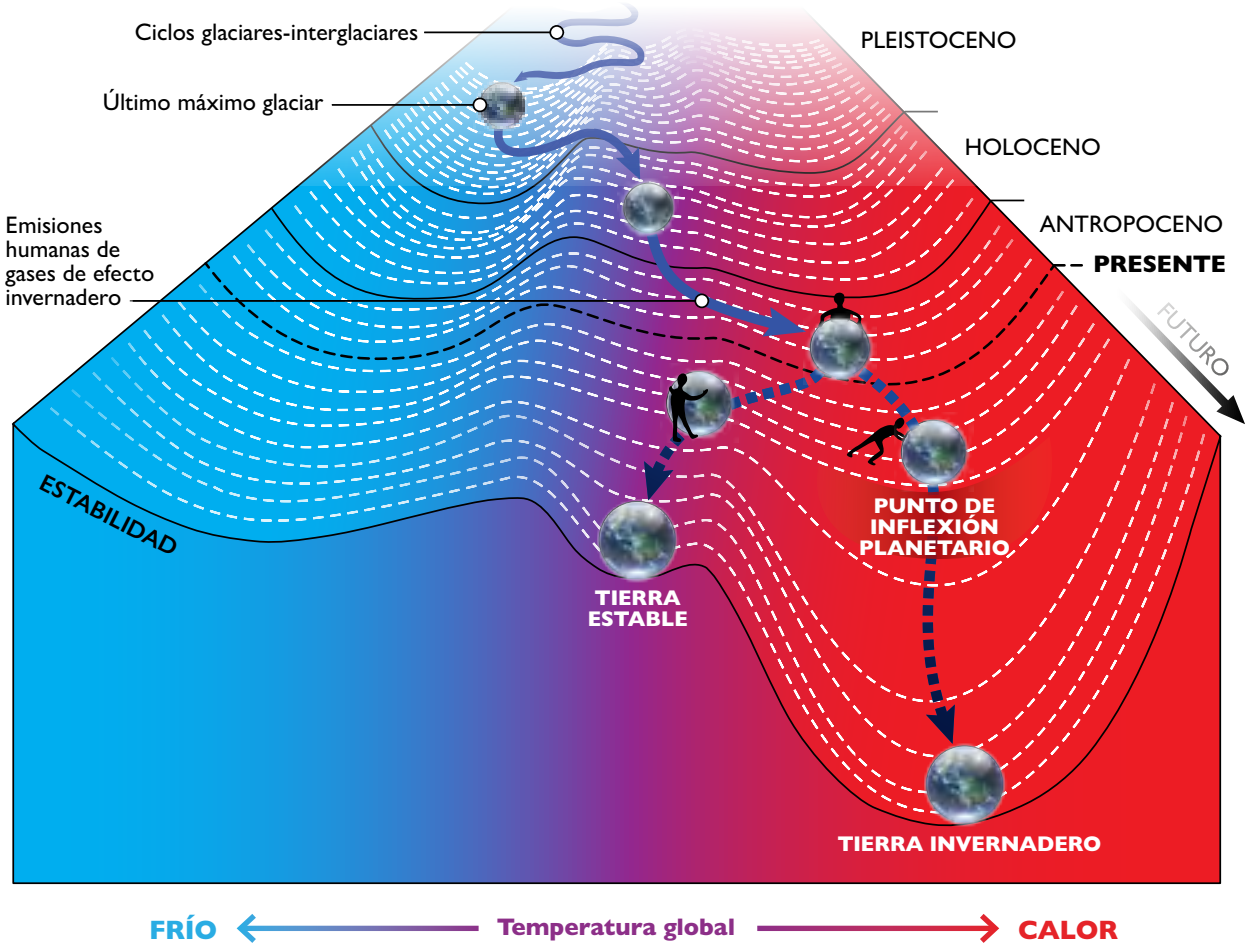

Figura 1. Representación gráfica de la variabilidad climática del sistema terrestre durante los últimos millones de años. Actualmente, la Tierra se encuentra en una trayectoria de calentamiento impulsada por las emisiones humanas de gases de efecto invernadero. A partir de ahora puede tomar dos caminos posibles (señalados por las líneas de puntos). Si la Tierra excede el punto de inflexión planetario, seguirá un camino irreversible hacia un estado de invernadero. En cambio, la vía alternativa conduce a una Tierra estabilizada, donde una adecuada gestión ambiental de las actividades humanas permitirá que el sistema terrestre mantenga un estado cuasiestable.

FUENTE: Extraída de Koppers y Coggon (2020) (open access)

ingentes y rápidas emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero. De hecho, los recientes modelos climáticos sugieren que el CO_2 atmosférico proveniente de la quema de combustibles fósiles puede haber desplazado ya el sistema terrestre lo suficiente como para posponer el próximo inicio glaciar durante al menos otros 100.000 años (Ganopolski et al., 2016).

Con la cantidad de CO_2 actualmente en la atmósfera, el planeta continuará calentándose y esto conducirá a un aumento del nivel marino a largo plazo incluso si las emisiones de gases invernadero cesaran inmediatamente. Los ascensos pretéritos del nivel del mar necesitaron mucho más tiempo para alcanzar su equilibrio que el aumento de la temperatura atmosférica. Por ejemplo, el calentamiento solar debido a los ciclos orbitales terminó hace 11.700 años (al inicio del Holoceno), pero el nivel del mar siguió aumentando, en otros 45 metros adicionales, durante 5.000 años más conforme las capas de hielo continuaban fundiéndose (Summerhayes y Cearreta, 2019).

Las últimas proyecciones del IPCC (2019b) auguran un aumento medio del nivel marino a finales del siglo

«El CO_2 atmosférico puede haber desplazado ya el sistema terrestre lo suficiente como para posponer el próximo inicio glaciar durante al menos otros 100.000 años»

XXI de 28-57 cm considerando un escenario que prevea una reducción drástica de las emisiones de efecto invernadero, y de 55-140 cm si hubiese un crecimiento de estas emisiones. Otras estimaciones recientes sugieren que el ascenso medio global del nivel del mar podría incluso superar los 150-200 cm en el año 2100 (Summerhayes y Cearreta, 2019). Esta diferencia en las previsiones refleja las incertidumbres que existen sobre el comportamiento futuro de los casquetes glaciares de Antártida y Groenlandia (Church et al., 2013). Si las emisiones no disminuyen, la Antártida tiene el potencial para contribuir con más de 1 metro de aumento del nivel marino en el año 2100 y más de 15 metros en el 2500, mientras que Groenlandia hará su propia contribución adicional (Summerhayes y Cearreta, 2019).

Deberán dedicarse esfuerzos considerables en la zona litoral para evitar impactos graves a los 600 millones de personas que viven en las megaciudades costeras del planeta a menos de 10 metros sobre el nivel del mar (Summerhayes y Cearreta, 2019). Si queremos estabilizar el clima en un valor aceptable de temperatura y nivel marino, y evitar así la acidificación descontrolada del océano con todos los efectos negativos que conlleva para la vida marina, tenemos que reducir las emisiones de carbono. La historia geológica nos enseña que nuestra mejor elección es estabilizar el clima en 1,5-2 °C por encima de los valores del año 1900, con un aumento del nivel del mar preferiblemente inferior a 1 metro.

«Algunos de los cambios asociados con el Antropoceno son ya irreversibles, incluso si la humanidad desapareciera mañana mismo»

REFERENCIAS

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* (pp. 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* (pp. 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

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo está basado en diferentes ideas publicadas colectivamente por el Anthropocene Working Group (Comisión Internacional de Estratigrafía) durante los últimos años, y del que el autor forma parte. Ha sido apoyado por los proyectos RTI2018-095678-B-C21 (MCIU/AEI/FEDER, UE) e IT976-16 (EJ/GV). Alice Cearreta perfeccionó la versión en español del texto. Dos revisores/as anónimos/as mejoraron el manuscrito original con sus comentarios y sugerencias.

ALEJANDRO CEARRETA. Profesor titular del Departamento de Geología de la Universidad del País Vasco (UPV/EHU) e investigador asociado del Basque Centre for Climate Change (BC3) (España). Es doctor en Geología por la Universidad de Exeter (UK) y director del Departamento de Geología en la UPV/EHU. Actualmente es responsable del programa de doctorado en Cuaternario: Cambios Ambientales y Huella Humana de la UPV/EHU, y miembro del Anthropocene Working Group (Comisión Internacional de Estratigrafía).
✉ alejandro.cearreta@ehu.eus