

Un planeta transformadoⁱ

Jan Zalasiewicz

Martin J. Head, Colin N. Waters, Simon Turner, Mark Williams, John R. McNeill, Jaia Syvitski, Anthony Barnosky, Naomi Oreskes & Peter Haff

Antropoceno: Una reacción visceral recorrió la sala cuando, en el año 2000, el químico atmosférico y premio Nobel Paul Crutzen acuñó el término espontáneamente durante una reunión del Programa Internacional Geosfera-Biosfera en Cuernavaca, México. La improvisación de Crutzen indicaba la toma de conciencia de que una acumulación creciente de impactos humanos había creado una Tierra diferente a la de los doce milenios anteriores, a los que llamamos época del Holoceno. Fue durante el Holoceno que la civilización humana se desarrolló lenta e irregularmente en la Tierra (Crutzen, 2002).

Este inquietante término, 'Antropoceno', estalló entonces en todas las disciplinas científicas, mucho más allá de la comunidad de las Ciencias del Sistema Tierra en el que hablaba Crutzen, y llegando hasta la geología donde ahora se está analizando como una posible adición formal a la Escala de Tiempo Geológico (Waters et al, 2023). Casi simultáneamente, sus ondas de choque golpearon a las ciencias sociales, las humanidades y las artes, cual un asteroide imprevisto. Se había comprendido que el planeta ya no es un escenario estable en el que se despliega la narrativa humana, sino un participante activo y de hecho altamente reactivo (Zalasiewicz et al, 2021). En la efervescencia del debate (Head et al, 2022b), el prefijo *antropo-* suele ocupar un lugar preponderante, subrayando que los seres humanos y sus complejas sociedades han cambiado y están cambiando el sistema operativo de la Tierra. Si bien sus variados impactos son detectables desde la prehistoria, se han acelerado de forma notable en los últimos 70 años, aproximadamente.

En medio de los vastos paisajes desérticos que sirven de telón de fondo a la labor del [Sierra Club](#), podemos centrarnos en una parte

crítica de la palabra: el sufijo *-ceno* utilizado para las épocas geológicas de la Era Cenozoica, los últimos 66 millones de años de la historia de la Tierra, pues ello nos da la perspectiva del planeta y no la humana. Lo más importante aquí son los cambios en sí y cómo estos afectan al funcionamiento planetario. Las cuestiones de causa –y de culpa– resultan de gran interés para muchas y muchos estudiosos, pero desde el punto de vista de la Tierra son cuestiones secundarias.

Imagine los sensores de una nave espacial alienígena que por un tiempo observa la Tierra, simplemente para ver qué está pasando. El paisaje parecería estar en movimiento, cambiando de forma, pero no con los ritmos lentos de la deriva continental, sino frenéticamente. Aparecen presas en la mayoría de los grandes ríos del mundo y surge una erupción global de lagos artificiales, muchos de ellos en zonas desérticas. Se excavan cursos de agua completamente nuevos para responder a las necesidades humanas, mientras que muchos cauces antaño serpenteantes son encorsetados en cemento. Las vías de sedimentación ya no siguen rutas naturales. En su lugar generan sedimentos a un ritmo diez veces superior las proliferantes construcciones urbanas y las extensiones agrícolas que las sustentan (Syvitski, 2020). Y aun así, muchas costas quedan hambrientas de sedimentos porque grandes cantidades de ellos quedan atrapados tras las presas. Las rocas y los minerales más codiciados tienen ahora rutas globales. Toman forma nuevas rocas sintéticas, como el cemento u hormigón, del que se han acumulado medio billón de toneladas en los últimos 70 años, desde la ‘Gran Aceleración’ de la población, la industrialización y la globalización que construyeron el mundo moderno (Steffen et al, 2015): hormigón suficiente para recubrir cada metro cuadrado de la superficie de la Tierra, terrestre y marina, con un kilo de esta roca artificial.

Los nuevos materiales sintéticos hacen mucho más que nuevos tipos de roca. La Tierra produce por sí sola unos cinco mil minerales, casi todos muy raros. Pero sobre todo desde mediados del siglo XX, el número de compuestos cristalinos inorgánicos sintéticos –minerales en todo menos en el nombre formal –se ha disparado hasta superar 200.000 tipos, lo que convierte a la Tierra en uno de los planetas con

mayor diversidad mineralógica del cosmos. No se trata sólo de sustancias raras y exóticas, sino también de metales purificados como el acero, el cobre, el aluminio y el titanio. Raros o inexistentes en la naturaleza, presentes ahora en millones de toneladas, suelen moldearse en complejas manufacturas, objetos destinados a ser fósiles, o más exactamente tecnofósiles, reliquias de nuestras extraordinarias actividades. Al mismo tiempo, el viento y el agua transportan nuevos polímeros sintéticos, utilizados en plásticos industriales a prácticamente todos los rincones de la Tierra. Otros compuestos orgánicos sintéticos, como los pesticidas y los 'químicos eternos' (sustancias alquílicas perfluoradas y polifluoradas, o PFAS), también se han hecho casi omnipresentes en el agua, el suelo y los sedimentos, y en organismos vivos como nosotros. Como cada vez cultivamos más alimentos, los niveles de nitrógeno y fósforo reactivos se han duplicado en la superficie de la Tierra en los últimos 70 años.

Son igualmente sorprendentes los cambios químicos de la atmósfera. Tras millares de años de casi estabilidad, los niveles de dióxido de carbono empezaron a aumentar significativamente a mediados del siglo XIX, y luego se dispararon a partir de mediados del siglo XX. Los niveles de este gas de efecto invernadero de larga duración se sitúan ahora más de un 40% por encima de los anteriores a 1850, y son más altos que en cualquier otro momento desde hace al menos 3 millones de años. El aumento reciente es un verdadero fenómeno: más de 100 veces más rápido que cuando la Tierra salió de la última Edad de Hielo, puede ser el aumento más rápido de la concentración de dióxido de carbono en la historia de la Tierra. En una variante de perturbaciones similares (aunque menos abruptas) del pasado geológico, cada árbol y concha marina registra las huellas químicas del CO₂, a través de cambios en los patrones isotópicos. La masa de este CO₂ adicional –aproximadamente un billón de toneladas, procedentes en su mayor parte de la quema de combustibles fósiles –equivale a una capa del gas puro de aproximadamente un metro de espesor alrededor de la superficie de la Tierra, que aumenta dos milímetros cada mes. Mientras tanto, el metano atmosférico, aún más potente que el dióxido de carbono, muestra a mediados del siglo XX un asombroso aumento similar, duplicándose con creces hasta alcanzar niveles desconocidos desde hace al menos 800.000 años.

El metano y el dióxido de carbono, gases que atrapan el calor, han desequilibrado la balanza energética de la Tierra, de manera que absorbe más calor del que irradia. La mayor parte del calor atrapado, unos 15 zettajoules (15.000.000.000.000.000.000 J) al año, calienta los océanos. El efecto es similar al de derramar, cada segundo, unos cinco mil millones de tazas de té caliente en el océano. Esto supera con creces la energía de alrededor de medio zettajoul anual que obtenemos quemando combustibles fósiles.

Una parte del calor adicional se retiene en la atmósfera, lo que da lugar al calentamiento planetario que estamos sintiendo en la actualidad: 1.1°C más que en la época preindustrial en lo que respecta a la temperatura media de la superficie, aunque mucho más en las regiones polares y alpinas. Tras la última glaciación la Tierra se calentó unos seis grados, pero a un ritmo mucho más lento que el actual, y el calentamiento actual se encuentra aún en sus primeras fases. El equilibrio radiativo de la Tierra sigue evolucionando: puesto que el clima terrestre se rige por complejos circuitos de retroalimentación rigen el clima terrestre, los gases de efecto invernadero añadidos tardarán en surtir todo su efecto. Las regiones desérticas del planeta, ecosistemas delicados que albergan a casi el 6% de la población mundial, se cuentan entre las zonas más sensibles a las perturbaciones provocadas por esta reconfiguración del clima provocada por el hombre, incluso tras haber sufrido el impacto de la expansión agrícola, las especies invasoras y las instalaciones de energía solar.

Así como la temperatura global viene tras los cambios en la atmósfera, también al aumento de temperatura global le sigue el del nivel del mar por la expansión térmica del agua oceánica y el deshielo de los polos. Tras los últimos 3.000 años en los que el nivel del mar no ha variado más de unos 10 centímetros, ahora se está produciendo una aceleración, con un aumento del nivel del mar de unos 0,5 centímetros cada año. La tierra y el mar están empezando a cambiar.

Los cambios en la biosfera terrestre, la piel viva de la Tierra, son complejos pero de gran alcance, ya que la biosfera supera con creces su peso en el escenario del planeta. Por ejemplo, durante cientos de millones de años antes de que los humanos evolucionaran, la biomasa total (seca) fue de unos dos billones de toneladas: esa biomasa mantuvo mediante la fotosíntesis más de un cuatrillón de toneladas de oxígeno en la atmósfera. Tras la aparición de la agricultura, hace unos 11.000 años, y a medida que los agricultores fueron sustituyendo con cultivos los densos bosques, esa biomasa se redujo a la mitad. Los humanos llevaron a la extinción a especies como los mamuts, los mastodontes y otros gigantes terrestres, e introdujeron otras especies, como ratas y gatos, ganado doméstico, cerdos y pollos, a nivel global. Durante casi todo ese tiempo, estos cambios sólo afectaron a la tierra. Los océanos, que cubren dos tercios de la superficie de nuestro planeta, permanecieron en su mayoría prístinos hasta la aceleración de la caza de ballenas en el siglo XVII. Desde entonces, la pesca industrial ha eliminado cerca del 90% de los peces grandes del mar y ha llevado a muchas especies al borde de la extinción. La pesca de arrastre ha arrastrado y revuelto millones de kilómetros cuadrados de ecosistemas de los fondos oceánicos, y hoy el cambio climático está degradando los arrecifes de coral del mundo.

Los últimos tres cuartos de siglo han atestiguado una profunda aceleración del cambio. La masa de la biosfera, en disminución gradual conforme avanza la deforestación, se ve ahora superada por el peso disparado de la 'masa antropogénica' –la de nuestros edificios, carreteras y vehículos. Esta se ha multiplicado por más de diez desde mediados del siglo XX (Elhacham et al, 2020). Esta extraordinaria expansión de las estructuras construidas por el ser humano añade otra esfera a la lista de la litosfera, la hidrosfera, la criosfera, la atmósfera y la biosfera del planeta a saber, la 'tecnosfera', todas nuestras construcciones tecnológicas y las instituciones vinculadas a ellas. Los seres humanos y sus instituciones no controlan la tecnosfera, sino que están atrapados en y dependen de ella totalmente. La tecnosfera tiene propiedades emergentes, una dinámica propia, y evoluciona a gran velocidad.

Dentro del anodino concepto de ‘masa antropogénica’ se esconden detalles sorprendentes y aleccionadores: la masa de todo el plástico fabricado, por ejemplo, supera ya a la de todos los animales, tanto terrestres como marinos. De la masa de mamíferos terrestres, cerca de un tercio es ahora humana, y la mayor parte de los otros dos tercios es ganado; las criaturas salvajes que quedan en el mundo sólo representan el 2% del total (Elhacham et al, 2020). De la masa de todas las aves del mundo, el pollo estándar de supermercado, criado desde la década de 1950 para ser un gigante de rápido crecimiento y sacrificio, representa ahora dos tercios de la masa de todas las aves del mundo (Bennett et al, 2018). En los últimos tres cuartos de siglo también se ha producido una intensificación de la translocación de especies única en la historia de la Tierra, que afecta a todos los continentes y océanos (Williams et al, 2022). La introducción de especies han difuminado las fronteras entre reinos biogeográficos que habían estado separados y diferenciados a lo largo del tiempo geológico. En muchas partes del mundo –por ejemplo, en la bahía de San Francisco –las especies ‘invasoras’ (introducidas) superan en número a las autóctonas. También en los últimos tres cuartos de siglo las tasas de extinción de especies se han multiplicado por cien o más con respecto a los niveles de fondo. La acción humana ha fragmentado o destruido los hábitats de la fauna y flora silvestres, y el calentamiento del planeta empuja a las especies fuera de sus zonas habitables, mermando ecosistemas enteros en la tierra y en el mar. De todos los cambios del Sistema Tierra en el Antropoceno, los que afectan a la biosfera son los más claramente irreversibles.

Toda esta cascada de cambios planetarios demuestra que la intuición de Paul Crutzen era correcta: recientemente ha surgido un nuevo tipo de Tierra que continúa desviándose de las condiciones generalmente estables del Holoceno (Steffen et al, 2016). Lo que justifica el ‘-ceno’ del Antropoceno, y que se refiere a una nueva época geológica, es el hecho de que la propia Tierra está registrando los cambios y reaccionando a ellos de múltiples maneras. Ya sea en lechos lacustres o fondos marinos, en turberas, en capas de esqueletos de coral en crecimiento, en estalagmitas o en capas de hielo polar, o bien en las gruesas capas de escombros y vertederos que rodean las zonas urbanas, los estratos formados recientemente en todo el mundo son

tarjetas de visita del Antropoceno. En ellos se agita una amplia gama de señales, como cenizas volantes procedentes de la quema de combustibles fósiles, residuos de pesticidas, microplásticos, tecnofósiles y la señal más nítida y global de todas: plutonio y otros radionúclidos artificiales generados por las pruebas nucleares realizadas entre 1945 y 1963 y esparcidos por todo el mundo a través de la atmósfera. Por estar vinculados con la larga historia de la Tierra conservada en rocas antiguas, tales estratos son la base de los actuales intentos de definir formalmente el Antropoceno para que se convierta en parte oficial y universalmente comprendida de la Escala del Tiempo Geológico (Waters et al, 2016).

No se sabe con certeza si esta iniciativa tendrá éxito, si superará todas las fases y las votaciones formales de un proceso burocrático. La evidencia de que la Tierra ha cambiado de forma repentina, fundamental y en muchos sentidos irreversible es ahora amplia e innegable. Pero la idea de que una época geológica –un intervalo que suele durar varios millones de años –pueda durar poco más de 70 años sigue siendo una noción desconocida e incluso incómoda para algunos geólogos.

Formalizado o no, el Antropoceno es real, en tanto proceso planetario como por las señales perdurables en los estratos terrestres. Sus efectos climáticos reverberarán durante decenas de miles de años en el futuro. La biología de la Tierra (y por tanto su futuro registro fósil) está mostrando cambios comparables en algunos aspectos a los que siguieron al impacto del meteorito que, hace 66 millones de años, puso fin a la Era Mesozoica. En el caso del Antropoceno, los seres humanos son en efecto el meteorito que altera bruscamente el curso de la historia planetaria. Cualquiera que sea su causa, los efectos son los mismos: desplazamientos tectónicos, erupciones volcánicas o acciones humanas. Nos resultaría más fácil analizar y discutir estas transformaciones si nuestra especie, el *Homo sapiens*, no estuviera implicada, pero estamos implicados y de manera central.

Las fuerzas que impulsan el Antropoceno son, así pues, sociopolíticas. Están ligadas a la tecnosfera y su dinámica es aún más compleja que,

por ejemplo, la del impacto de un meteorito o una erupción volcánica (de por sí bastante compleja). Son fuerzas que reflejan diversas acciones, y sus consecuencias diversas y de diversos grupos. Para entender cómo ha surgido realmente el Antropoceno y en qué dirección puede ir se requiere la más multidisciplinar de las colaboraciones entre personas de muy diversas trayectorias. Sólo coaliciones de comunidades igualmente amplias podrán lograr un futuro digno y sostenible en nuestro planeta, más caliente, biológicamente degradado y menos estable.

Dedicamos este artículo a nuestro fallecido colega Will Steffen, quien fue originalmente invitado a escribirlo. Will jugó un papel clave en el desarrollo de los conceptos de la Gran Aceleración y el Antropoceno, exponiendo con elocuencia, habilidad y pasión esta nueva ciencia y su importancia. El autor principal de este artículo, Jan Zalasiewicz, es Profesor Emérito de Paleobiología en la Universidad de Leicester, Reino Unido. Geólogo y paleontólogo, Zalasiewicz es miembro, al igual que sus co-autores, del Grupo de Trabajo sobre el Antropoceno, que se encuentra analizando este concepto como una nueva unidad en potencia de la Escala del Tiempo Geológico.

Referencias

Bennett, C.E. *et al.* (2018) 'The broiler chicken as a signal of a human reconfigured biosphere', *Royal Society Open Science* 5. No. 12: 1-11.

Crutzen, P.J. (2002) 'Geology of Mankind', *Nature Journal* 415. No. 23: <https://doi.org/10.1038/415023a>.

Elhacham, E. *et al.* (2020) 'Global Human-made Mass Now Exceeds all Living Biomass', *Nature* 588: 442–444.

Greenspoon, L. *et al.* (2023) 'The global biomass of wild animals', *Proceedings of the National Academy of Science* 120. No. 10: <https://doi.org/10.1073/pnas.2204892120>.

Head, M.J. *et al.* (2022) 'The Anthropocene is a prospective epoch/series, not a geological event', *Episodes* 46. No. 2: 229-238.

Steffen, W. *et al.* (2015) 'The trajectory of the Anthropocene: The Great Acceleration', *The Anthropocene Review* 2. No. 1: 81–98.

Steffen, W. *et al.* (2016) 'Stratigraphic and Earth System approaches in defining the Anthropocene', *Earth's Future* 8. (August): 324-345.

Syvitski, J. *et al.* (2020) 'Extraordinary human energy consumption and resultant geological impacts beginning around 1950 CE initiated the proposed Anthropocene Epoch', *Communications Earth & Environment* 1. No. 32: 1-13.

Waters, C.N. *et al.* (2016) 'The Anthropocene is functionally and stratigraphically distinct from the Holocene', *Science* 351. No. 6269: DOI: 10.1126/science.aad2622.

Waters, C.N. *et al.* (2023) 'Candidate sites and other reference sections for the Global boundary Stratotype Section and Point for the Anthropocene series', *The Anthropocene Review* 10. No. 1: 3-24.

Williams, M. *et al.* (2022) 'Planetary-scale change to the biosphere signalled by global species translocations can be used to identify the Anthropocene', *Palaeontology* 65. No. 4: 1-25.

Zalasiewicz, J. *et al.* (2021) 'The Anthropocene: comparing its meaning in geology (chronostratigraphy) with conceptual approaches arising in other disciplines', *Earth's Future* 9. No. 3: 1-25.

ⁱ Traducción de artículo en inglés publicado originalmente en *Desert Report* <https://desertreport.org/the-anthropocene/> en junio de 2023, publicada aquí con autorización de los autores y *Desert Report*.