

La idea subyacente a la propuesta de considerar el Antropoceno como una nueva era geológica es que la humanidad tiene tal capacidad para modificar su entorno que podría ser visto como un agente geológico, incluso aún más poderoso que los de origen natural como el agua, el viento y el Sol. Existen muchos ejemplos para ilustrar que la humanidad es una fuerza de magnitud geológica, como las actividades de deforestación y agricultura que se efectuaron hace cuatrocientos años en Europa, dejado su huella en el registro geológico de sus suelos.

En el mismo sentido, el ecólogo Erle Ellis afirma que existe un cambio reconocible en el paisaje de algunas regiones de China e India que se relacionan con la agricultura. Si la agricultura es una actividad que no podemos dejar, pues es y será necesario cultivar los alimentos que permiten la subsistencia de los individuos que conformamos la humanidad, ¿para qué nos preocupamos? El asunto es que si bien es tan evidente la necesidad, poco se piensa en las consecuencias de la agricultura, que son más profundas que la simple modificación del paisaje y se propagan en la forma del efecto dominó.

El profesor de geografía física, Tony Brown y otros investigadores proponen que la deforestación que se hace al preparar la tierra para cultivo y la propia agricultura han tenido consecuencias sobre las propiedades fisicoquímicas del suelo, a lo que habría que agregar el uso de fertilizantes y otros agroquímicos en las últimas décadas, alterando a la vez los patrones de la biodiversidad asociada. Se dice que el impacto de la agricultura es mayor debido a que se ha efectuado de manera dispersa en el planeta; algunas estimaciones indican que 25% de los árboles se encuentran embebidos en tierras de cultivo.

La historia no se detiene ahí, el cambio de uso de suelo también implica cambios en los patrones de sedimentación, incluyendo el incremento en las tasas de deposición por lluvia y escurrimientos. Por si fuera poco, la huella de la domesticación y el efecto sobre la macrofauna por cacería y modificación de hábitats, aunado al cambio climático de origen antrópico, forman parte de los argumentos que están llevando a nuestra sociedad a preguntarse si ha iniciado o no una nueva era geológica.

La humanidad en una capa geológica

El cambio provocado en la superficie terrestre por la especie humana fue observado por científicos desde el siglo XIX. Un escrito de George Perkins Marsh de 1864, titulado "Hom-





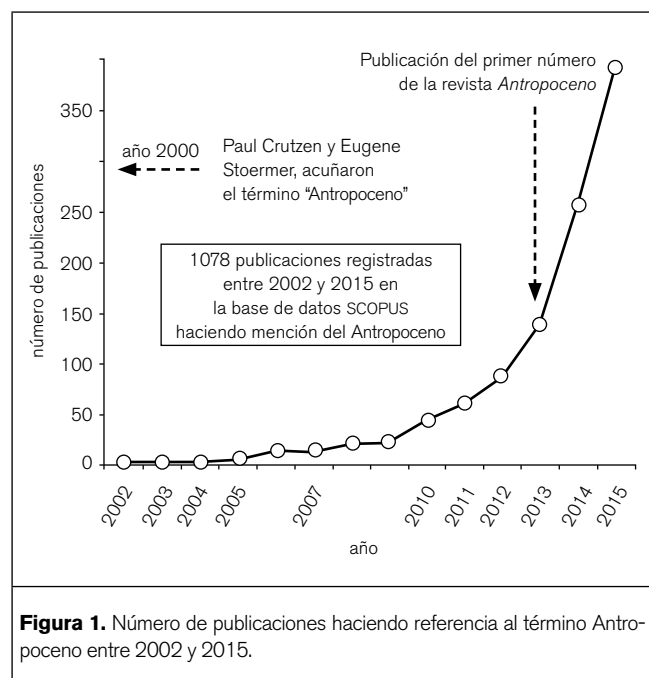
El Antropoceno

¿una nueva era del planeta?

Salvador Lluch Cota, Romeo Saldívar Lucio y Fernando Aranceta Garza

bre y naturaleza”, fue uno de los primeros trabajos enfocados en el cambio global antropogénico. El término antropozoico fue acuñado por el geólogo italiano Antonio Stoppani en 1873 para hacer hincapié en el tiempo donde ocurrió la transformación de la Tierra por el humano. Pero fue en el año 2000 cuando el químico holandés Paul Crutzen (Premio Nobel de química en 1995 por sus investigaciones sobre la incidencia del ozono en la atmósfera) junto con el paleobiólogo Eugene Stoermer acuñaron el término Antropoceno para hacer notar el intervalo de tiempo en la historia de la Tierra —en el que vivimos actualmente— en donde muchos procesos elementales de la superficie terrestre son dominados por influencia humana. La palabra pronto entró en la literatura científica como una expresión vívida del grado de cambio ambiental que es causado por los humanos (figura 1). La huella generada por nuestra especie es innegable, lo que se encuentra en debate es si existen o no elementos suficientes para considerar el Antropoceno como una unidad formal en la escala geológica (unidad geocronológica), lo que implicaría que ésta se caracterizaría por una serie de eventos (geológicos, biológicos y climáticos) en la historia de la Tierra en un orden cronológico.

Otro paleobiólogo, el inglés Jan Zalasiewicz de la Universidad de Leicester, comenta que existen procedimientos establecidos por la Comisión Internacional de Estratigrafía para crear y formalizar un nuevo registro en la escala de tiempo geológico. Por su parte, Crutzen junto con Al-Rousan



y sus colaboradores se basan en los registros dejados por el dióxido de carbono como evidencia del inicio del Antropoceno. Según los geólogos, la concentración reciente de ese gas es abrupta, en escalas de cientos y miles de años su concentración ha sido lo suficientemente gradual como para que se le considere un marcador confiable en escalas anuales o de décadas.

Opuesto a la idea del Antropoceno, el geólogo Stanley Finney, presidente de la Comisión Internacional de Estratigrafía, menciona que su profesión, la geología, está encargada fundamentalmente del pasado y que es incorrecto definir una época con base en las predicciones futuras, es decir, de si el Antropoceno dejará o no su marca en la historia de la Tierra. Otros argumentos en contra son los de Stefan Wansa, presidente del Subcomité del Cuaternario de la Comisión Estratigráfica Alemana, quien menciona que la introducción de la época del Antropoceno es poco realista y se fundamenta en que los proponentes de esta idea no están lo suficientemente familiarizados con las reglas de estratigrafía.

Algunos de los marcadores geológicos que se podrían usar para rastrear la actividad humana en el futuro son: a) los restos fosilizados de algunas ciudades; b) las cloacas, el sistema eléctrico, los subterráneos y masas de escombros de edificios; c) el concreto, en forma de roca caliza arenosa (los ladrillos pasarían de rojo a gris); d) el vidrio se volvería un material lechoso y se cristalizaría muy finamente; e) el acero se oxidaría y desaparecería, dejando huecos donde algu-



na vez estuvo; f) los animales y plantas fosilizados del Antropoceno, particularmente los domésticos; g) los cambios en las tasas de sedimentación; y h) el cambio climático de origen antrópico (cambios en los registros fósiles de la temperatura, la lluvia, la humedad y la sequía).

Los avances en el entendimiento del Antropoceno

En septiembre de 2013, la casa editorial Elsevier publicó el primer volumen de la revista *Antropoceno*. En palabras de los propios editores: “el ámbito de la revista incluye resultados de investigaciones acerca de los efectos de la actividad humana sobre los océanos, la atmósfera, la criósfera, los paisajes y los ecosistemas, en múltiples escalas de tiempo y espacio”. A lo largo de sus cuatro años, la revista muestra un predominio de trabajos que buscan identificar indicadores estratigráficos propios de la presencia humana en el planeta. En los primeros números se propusieron como trazadores: las marcas de los cambios de uso de suelo, los cambios en las tasas de extinción asociadas a los impactos de la domesticación, la agricultura y el uso recurrente de fuego, entre otros.

Uno de los trabajos más recientes propone el plástico como un trazador preciso que se encuentra ampliamente distribuido en el planeta y tiene un alto potencial de preservación mientras permanece enterrado. El plástico podría convertirse en un trazador de alta resolución por tratarse de un indicador de los avances en otro grupo de trazadores,

los tecnofósiles. El análisis de la dinámica de paisajes y la morfodinámica de cuerpos de agua han sido los dos grandes temas después de la búsqueda de indicadores de la nueva era (figura 2). Es frecuente encontrar estudios de los impactos de las represas sobre procesos de sedimentación y las huellas paisajísticas de la agricultura, el pastoreo, la domesticación y la infraestructura civil.

También se ha publicado una porción significativa de trabajos de integración acerca del estado del arte y las bases técnicas que van delineando el conocimiento en el ámbito del Antropoceno. Por ejemplo, el uniformitarismo consiste en un conjunto de suposiciones fundamentales sobre las que se ha interpretado toda la evidencia geológica. Este principio de la geología presume que todas las leyes y procesos de la naturaleza han operado de manera uniforme en el pasado y en el presente, así como en todo el Universo. No obstante, algunos investigadores se cuestionan sobre los límites del uniformitarismo en el contexto dinámico que caracteriza el Antropoceno.

Los impactos humanos en el ambiente circundante son fácilmente perceptibles, pero usar tales impactos como indicadores de una nueva era geológica encuentra dificultades debido a que los eventos de intervención humana se han caracterizado por ser de vida corta y de extensiones espaciales variables. Es posible que seamos testigos de un proceso de muy largo plazo que genera rasgos distintivos de las actividades humanas en el mar y la tierra, pero no necesariamente cubrirán las especificaciones técnicas de una era geológica tal y como la definimos en la actualidad. Es posible que ese cambio de reglas sea el primer gran impacto del paso de la humanidad por el planeta.

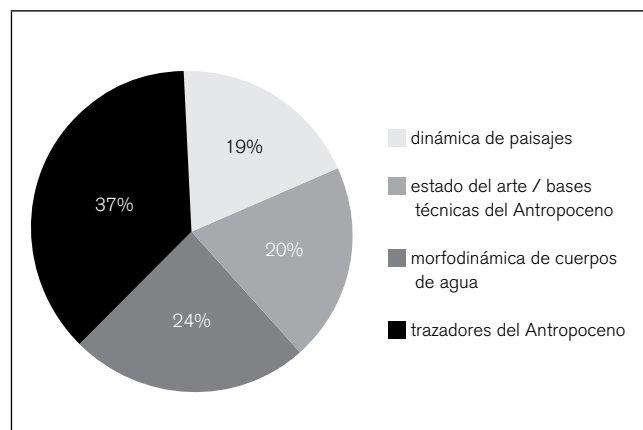


Figura 2. Número de publicaciones en la revista *Antropoceno* por área temática.



La geoingeniería: ¿enfrentar el Antropoceno?

Las propuestas para afrontar los impactos provocados por la humanidad no se han dejado esperar y las hay tan diversas como lo son las implicaciones del problema, abarcando cambios en lo espiritual, en los hábitos personales, en el tipo de consumo y en un mejor uso de energéticos, e incluso se plantean revoluciones sociales a gran escala o la reinención del sistema económico dominante. Entre la multitud de posturas se encuentran las de la geoingeniería, cuyo propósito común es combatir el calentamiento global causado por el humano mediante dos estrategias fundamentales: 1) la extracción directa del CO₂ atmosférico y; 2) la gestión de la energía radiante que entra al planeta.

Esta nueva corriente de ingeniería global sugiere la intervención masiva de la inventiva humana para desarrollar tecnología capaz de devolver parte de los rayos solares al espacio, aumentando la capacidad de las nubes para reflejar la luz del Sol y la colocación masiva de discos reflectantes en lo alto de la atmósfera para ensombrecer porciones enormes del planeta. Todo lo anterior sólo para controlar la entrada de calor. En cuanto a la disminución de CO₂ se ha propuesto: plantación de árboles a escala global, máquinas para la captura y almacenamiento de CO₂, quema de biomasa vegetal para aislar y atrapar CO₂, aumentar la producción de fitoplancton mediante fertilización del océano, promover la exposición de minerales que reaccionan químicamente con el CO₂ para luego aislarlo bajo tierra o bajo el mar, además de incrementar la alcalinidad del océano disolviendo compuestos como silicatos o hidróxido de calcio.

Algunas de estas medidas podrían parecer un tanto innecesarias, ya que desde 1997 se habían establecido metas en el Protocolo de Kioto para que los países industrializados trabajaran en la reducción de sus emisiones de gases de efecto invernadero. Aunque este protocolo fue ratificado en 2009 y extendido por Naciones Unidas en 2012, no ha dado

resultados satisfactorios y persiste hasta nuestros días la necesidad de mitigar las emisiones de dichos gases.

Ante la falta de resultados y voluntad política para acatar el protocolo de Kioto y disminuir las emisiones dañinas, se han enaltecido los posibles alcances de la geoingeniería. Sin embargo, la puesta en práctica de muchas de sus tecnologías tiene implicaciones sumamente controversiales, entre ellas gigantescas inversiones económicas en energía y desarrollo de infraestructuras que eventualmente podrían empeorar los problemas ambientales. De ahí que la Royal Society recomiende que los métodos de geoingeniería deben ser considerados únicamente como parte de un conjunto más grande de estrategias para hacer frente al cambio climático.

Los dos lados de la moneda

Si bien la idea de la ingeniería climática o geoingeniería ha ganado fuerza en los últimos años, las propuestas a escala global no han conseguido tomar forma, lo que podría considerarse benéfico o perjudicial con un sinfín de matices, según sea el punto de vista de quien elabore el análisis. Para ejemplificar veamos un par de extremos en la gama de argumentos. El primero es el de Steve Rayner del Programa de Geoingeniería de la Universidad de Oxford, quien opina que: “a lo largo de la historia humana, las tecnologías de una generación crearon problemas para la siguiente. Tenemos que encontrar una forma de manejar eso, es parte de la evolución de la sociedad; sería irresponsable no explorar el potencial para entender las tecnologías de la mejor manera que podemos”. Por otro lado, está el de Sara Rodríguez, investigadora del Instituto Catalán de Investigación del Agua, quien comenta: “en una civilización basada en el crecimiento, el consumo y el desarrollo industrial y tecnológico como motor de la economía, se trataría de poner en marcha una estrategia común, global, encaminada no tanto a corregir el daño provocado como a prevenir, mitigar y reducir las fuen-

tes de la contaminación; o como sugieren algunas corrientes, —entre ellas la del decrecimiento—, disminuir controladamente la producción económica”. No es difícil distinguir la postura cauta y la sensibilidad social de la investigadora Rodríguez Mozaz en claro contraste con el pragmatismo de Rayner.

Parece que los seres humanos nos aproximamos a la puerta de entrada de una paradoja histórica, en la que se enfrentan la creatividad usada en el desarrollo tecnológico, enfocado al consumismo, contra una creciente conciencia de las implicaciones del uso de esas tecnologías.

Al escribir estas líneas no tenemos noticias de que se haya aceptado oficialmente el Antropoceno como la era del paso del humano sobre la

Tierra, como un nueva unidad geológica. Al margen de si es aceptada o no, el lanzamiento de la revista *Antropoceno* nos deja pistas claras de que seguirá siendo un campo fértil de investigación con una acentuada ambivalencia, reconocible, en un extremo, por su forma de estudiar y cuestionar los efectos de la actividad humana, a la vez que promoviendo la generación de soluciones razonables y honestas; y en el otro extremo por ser una forma de justificar una intervención tecnológica masiva, con contratos necesariamente multimillonarios de por medio y, en consecuencia, con dudosas razones humanísticas y medidas que aumentan aún más la brecha tecnológica entre países, sin una idea clara de las consecuencias ambientales, sociales y políticas a mediano y largo plazo. 🚲



Salvador Lluch Cota
Romeo Saldívar Lucio
 Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste-Baja California Sur.

Fernando Aranceta Garza
 Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional-Baja California Sur.

Investigaciones Biológicas del Noroeste. Por las becas otorgadas, nuestro agradecimiento a CONACYT y PIFI (IPN). Al CICIMAR-IPN por la infraestructura y respaldo.

EN LA RED
www.journals.elsevier.com/anthropocene

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS
 Al-Rousan, Saber *et al.* 2004. "Invasion of anthropogenic CO₂ recorded in planktonic foraminifera from the northern Gulf of Aqaba", en *International Journal of Earth Sciences*, vol. 93, núm. 6, pp. 1066–1076.

Crutzen, Paul y Eugene Stoermer. 2000. "The Anthropocene", en *Global Change News Letter*, núm. 41, pp. 17–18.

Crutzen, Paul. 2002. "Geology of mankind: the Anthropocene", en *Nature*, vol. 415, p. 23.

Marsh, George P. 1874. *The Earth as Modified by Human Action: A New Edition of Man and Nature*. Scribner, Armstrong & Co., Nueva York. 1970.

Saldívar Lucio, Romeo, Salvador Lluch Cota y Cinthya Castro Iglesias. 2017. "Impactos de la Ingeniería Climática", en *Ciencia*, vol. 68, número 1, pp. 1–6.

Zalasiewicz, Jan *et al.* 2011. "The Anthropocene: a new epoch of geological time?", en *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, vol. 369, núm. 1938, pp. 835–841.

IMÁGENES
 Santiago Arau Pontones, Ciudad de México 2010-2017.

AGRADECIMIENTOS.

Por haber motivado la elaboración del presente escrito, agradecemos el curso de Cambio Climático, impartido en el periodo agosto-diciembre del 2013 en el Centro de

THE ANTHROPOCENE: A NEW EPOCH FOR THE PLANET?

Palabras clave. Cambio climático, desarrollo tecnológico, eras geológicas.
Key words. Climate Change, Technological Development, Geological Epochs.

Resumen. Nuestra especie tiene tal capacidad para modificar el entorno que se le ha propuesto como un agente geológico, se le considera incluso más poderoso que los de origen natural como el agua, el viento o el Sol. Se propone el Antropoceno como la huella del paso del humano sobre la Tierra.

Abstract. The capacity of our species to modify its surroundings has led to the suggestion that we are an agent of geological change, one even more powerful than those of natural origin, such as water, the wind and the sun. The Anthropocene is the geological epoch that has been proposed to mark the impact of humans on the earth.

Salvador Lluch Cota es biólogo marino por la Universidad Autónoma de Baja California Sur, estudió la maestría en ciencias en el Instituto Politécnico Nacional y el doctorado en el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, s. c. Pertenece al Sistema Nacional de Investigadores, nivel III. Su trabajo de investigación abarca temas de ecología marina, pesquerías, variabilidad ambiental y cambio climático. Es miembro regular de la Academia Mexicana de Ciencias.

Romeo Saldívar Lucio realizó sus estudios de doctorado en ciencias marinas en el Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas del Instituto Politécnico Nacional. Ha colaborado en diversos proyectos de investigación en temas como ecología marina, pesquerías y cambio climático. Se ha interesado en entender los patrones climáticos históricos y su utilidad para aplicarlos en modelos estadísticos que expliquen la relación del clima con atributos biológicos y ecológicos de organismos marinos.

Fernando Aranceta Garza se doctoró en bioeconomía pesquera y acuícola con especialidad en pesquerías de tipo secuencial; hizo su maestría en el uso, manejo y preservación de los recursos naturales con especialidad en arrecifes de coral y es licenciado en biología marina. Ha participado en proyectos de los efectos del cambio climático en los principales ecosistemas de la península de Baja California y su biodiversidad; además de su impacto en las pesquerías principales de México.

Recibido el 25 de enero de 2017; aceptado el 1 de junio de 2017.