

Cambio global: el Antropoceno

Miguel Equihua Zamora*, Arturo Hernández Huerta*, Octavio Pérez Maqueo*,
Griselda Benítez Badillo* y Sergio Ibañez Bernal*

Recepción: 6 de agosto de 2014

Aceptación: 23 de febrero de 2015

*Instituto de Ecología, A. C., México.

Correo electrónico: equihuam@gmail.com, arturo.hernandez@inecol.mx, octavio.maqueo@inecol.mx, griseldabb17@gmail.com, sergio.ibanez@inecol.mx

Se agradecen los comentarios de los árbitros de la revista.



Resumen. Se expone que la transformación de los procesos naturales del planeta han alcanzado tal magnitud que algunos científicos han formulado la idea de que vivimos en una nueva época geológica: el Antropoceno. Se identifica a los seres humanos como la fuerza de transformación de escala mundial. Existe una amplia discusión del tema inclusive sobre su propia existencia. Se identifica el uso de los combustibles fósiles como la causa del incremento considerable de óxido nitroso, dióxido de carbono, metano y de nuevos gases como los cloro-fluoro-carbonos en la atmósfera. Esta situación nos desafía a encontrar nuevas formas de relación con la biósfera que no atenten contra la propia existencia de la humanidad.

Palabras clave: cambio climático, agricultura, Revolución industrial, gases efecto invernadero, biodiversidad.

Global Change: the Anthropocene

Abstract. The transformation of the planet's natural processes has reached a magnitude so great that some scientists have formulated the idea that we live in a new geological Age: the Anthropocene. Humans are identified as the force of transformation on a global scale. There is much discussion about this, and about its effect on humankind's own existence. The use of fossil fuel is recognized as the cause of a considerable increase in nitrous oxide, carbon dioxide, methane and new gases including chlorine-fluoro-carbons in the atmosphere. This situation challenges us to find new ways related to the biosphere that do not conflict with the very existence of humanity.

Key words: climate change, agriculture, Industrial Revolution, greenhouse gases, biodiversity.

Introducción

El Antropoceno es todavía un concepto científico en construcción, y los argumentos y las reflexiones que se están haciendo en torno a él resultan altamente relevantes. Por esta razón nos proponemos en las siguientes páginas recorrer algunos de los datos y las ideas más importantes que se están analizando al debatir su pertinencia científica, pero también como una oportunidad para valorar sus implicaciones en nuestra vida cotidiana. En la actualidad se reconoce la existencia de grandes procesos de transformación de la biósfera

al grado que se habla de un cambio global. Se trata de un conjunto de alteraciones en la constitución y funcionamiento de los ecosistemas. Aunque no es el único aspecto, desde luego está estrechamente relacionado con cambios en el clima que han ocurrido con una magnitud sin precedente desde la última glaciación, que se refleja en el incremento de la temperatura promedio del planeta. Este cambio en la temperatura es resultado de la acumulación de gases con efecto invernadero (GEI) en la atmósfera (fenómeno por el cual se queda atrapado calor en las capas bajas de la atmósfera como si se tratara de una de esas cajas de cristal usadas para

cultivar plantas tropicales en climas fríos). Este cambio en la composición de la atmósfera deriva en mayor medida de la quema de combustibles fósiles para generar energía y de la conversión de hábitats naturales a terrenos agropecuarios, lo que por cierto induce otro gran cambio global: la pérdida de biodiversidad. En consecuencia, cabe pensar que los efectos de las actividades de los seres humanos han escalado niveles planetarios (Crutzen, 2002) y que se han convertido en una fuerza geofísica global (Steffen *et al.*, 2007) con un 95% de certeza de que la actividad humana es la causa dominante del calentamiento (IPCC, 2013).

Respecto a las preguntas que todos nos hacemos (¿realmente el clima está cambiando tan rápido como se señala? y ¿cuál es el motivo?), algunos investigadores han provisto explicaciones contundentes. Si bien han ocurrido grandes cambios en el clima a lo largo de la historia del planeta, la transformación que está ocurriendo actualmente es más vertiginosa y profunda. Es probable que sea resultado de las actividades humanas que entre otras cosas ha modificado en forma significativa la composición química de la atmósfera. Esta amenaza se suma a otros desajustes de la biósfera, tal vez inducidos también por las actividades humanas. En particular es notable la marcada pérdida de biodiversidad en el planeta que se ha venido registrando con mayor precisión desde el siglo pasado (Rockström, 2009). En la actualidad ya se reconoce que las varias vertientes del cambio ambiental de escala global interactúan entre sí generando efectos sinérgicos que agravan la magnitud de la amenaza a la estabilidad de la biósfera desde el punto de vista de los intereses humanos. Es el caso de la biodiversidad y el cambio climático: gran parte de los mecanismos que intervienen en la regulación del ciclo del carbono transitan por componentes de la biodiversidad, de tal manera que la mitigación del cambio climático puede llevarse a cabo a partir de acciones que involucren almacenes de carbono, absorción por fotosíntesis o fijación en carbonatos.

Por ésta y otras razones sobre la influencia humana como aceleradora de cambios en la biósfera y en el clima, algunos

investigadores han encontrado justificación para sugerir el reconocimiento de una nueva etapa geológica en la historia de la Tierra: el Antropoceno. Los que proponen esta idea señalan que la especie humana se ha convertido en una fuerza impulsora de cambios de orden planetario, entre otras cosas, por el elevado número de individuos y por la magnitud de las acciones que intervienen en los procesos biogeoquímicos. No obstante, también existen grupos que continúan cuestionando la influencia humana como factor de cambio en estos procesos y sobre todo por sus implicaciones sobre las decisiones para el desarrollo económico, donde más bien los mercados y el intercambio comercial transcurren obviando los límites de los recursos del planeta (Martín, 2012). Es interesante la posición de Hettinger (2014) al argumentar sobre si se ha exagerado el papel de la influencia humana al extraer de ella conclusiones mefálica y moralmente inapropiadas. De acuerdo con este autor, a pesar del dramático impacto humano en el planeta, al ponderar la naturalidad que permanece a nuestro alrededor y el constante incremento de la influencia humana sobre la naturaleza, hay también una inclinación a valorar los ecosistemas/naturaleza como algo cada vez más importante en el pensamiento ambiental y político.

1. Cambio ambiental

La dimensión de los procesos de transformación y su impacto sobre los procesos naturales en el planeta han alcanzado tal punto que la idea del Antropoceno surge como una noción científica interesante. Para empezar, se le concibe para referirnos a los tiempos recientes en los que el ser humano se ha convertido en una fuerza dominante en la transformación de la Tierra (tabla 1). El término comenzó a emplearse en el 2000 y hay que decir que aún no ha sido aceptado por completo por la comunidad científica; sin embargo, aún informalmente es un concepto útil para señalar los efectos de las actividades humanas que alteran el clima de la Tierra y la estructura y función de los ecosistemas a gran escala. Estas razones son las que llevan a considerarlo como una posible nueva época geológica (Brown, 2014) y cabe preguntarnos, como cuestiona Cafaro (2013: 261), si esta nueva época es el momento en “donde los seres humanos no solamente dominan la biósfera, sino que lo hacen lícitamente”.

Si aceptamos al Antropoceno como una nueva época geológica, sería la más reciente y en la cual vivimos. Sin embargo, ¿en qué momento el Holoceno dio paso al Antropoceno? ¿Marcar su inicio es ahora la cuestión! (Cohen, 2014). Pero habría que considerar que a pesar de que la Tierra es un

Tabla 1. El Antropoceno nueva época.

Era	Periodo	Época	Millones de años
Cenozoico	Cuaternario	Antropoceno	¿...?
		Holoceno	0.011784
		Pleistoceno	2.588
	Neógeno	Plioceno	5.332
		Mioceno	23.03
	Paleógeno	Oligoceno	33.9 ± 0.1
		Eoceno	55.8 ± 0.2

Fuente: adaptado de Fernández-Durán, 2010.

sistema que cambia continuamente. Antes de la presencia humana, los cambios eran causados por procesos geológicos y ajustes ecosistémicos derivados que se desarrollaron a lo largo de millones de años; de hecho, fue así como hace unos doscientos mil años el ser humano surgió de la propia dinámica ecosistémica y de la evolución orgánica en una posición que guardaba gran equivalencia con otras especies de vertebrados del momento. Mucho tiempo después, con el advenimiento de la agricultura y el pastoreo se favoreció el incremento de su población y comenzaron a modificarse los ambientes en los que habitó para adecuarlos a sus intereses (cosa que en distintos grados también hacen otras especies vivientes). Milenios más tarde, con la Revolución industrial, los cambios se vuelven más profundos y acelerados, los cuales han sido objeto de estudio en nuestros días en la búsqueda de las raíces de la crisis ambiental que enfrentamos evidentemente.

2. La agricultura

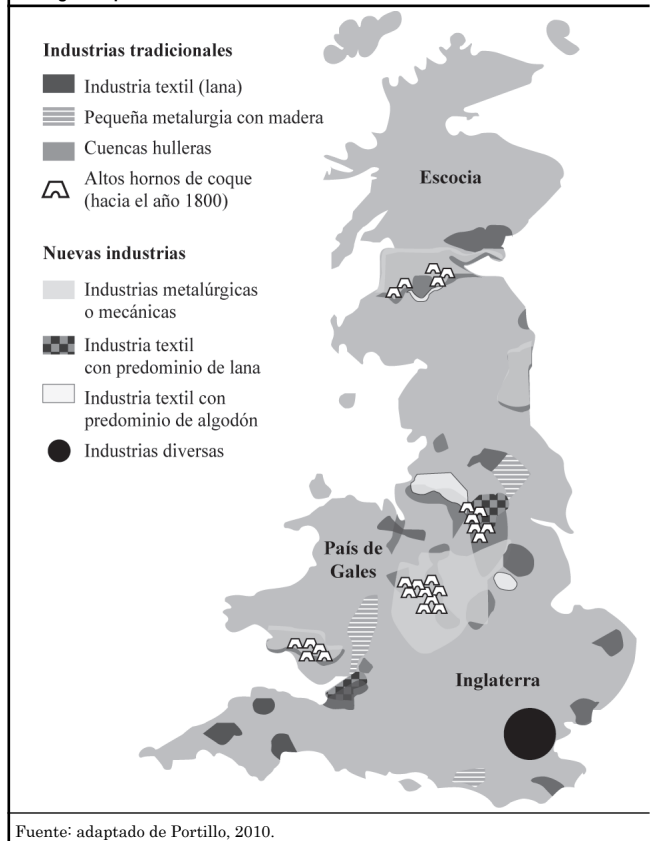
Cada vez se entiende con mayor claridad que un punto de quiebre fundamental en la interacción humana con su entorno ocurre con el origen y diseminación de la agricultura y el pastoreo (McClure, 2013). Se estima que la agricultura inició en el Neolítico más o menos de manera simultánea en diversas partes del mundo (McClure, 2013). Hace unos ocho mil o tal vez diez mil años aparecen el trigo y la cebada en el Medio Oriente, como los primeros cultivos conocidos en la actualidad. La agricultura produjo un cambio radical en la historia de la humanidad al favorecer el aumento de la población y el establecimiento en territorios donde no habría sido posible sobrevivir, lo que condujo a la concentración de los seres humanos en poblados más o menos fijos. El aumento poblacional requirió cada vez de más alimento; por esta razón surgió la necesidad de ampliar los campos para aumentar la incipiente producción agrícola, lo que impulsó la tala de los bosques y la transformación de la cubierta vegetal. Con estas prácticas pudo incrementarse la concentración de dióxido de carbono (CO₂) en la atmósfera. Hace unos seis mil años inició la implementación de las técnicas de riego para llevar agua a los campos de cultivo, en particular el arroz, lo que a su vez originó una tendencia al incremento de metano (CH₄) en el aire. El metano, componente principal del gas natural que se usa como combustible o del gas grisú que causa explosiones en minas de carbón, ocasiona también cambios en los balances energéticos de la atmósfera. De hecho es, kilo a kilo, más de veinticinco veces más potente que el CO₂ en su efecto invernadero (Rudiman, 2003; Rudiman, 2005a).

3. Revolución industrial

A finales del siglo XVIII y casi a finales del XIX, en Inglaterra inició la Revolución industrial (mapa 1) que poco después se extiende al resto de Europa y más tarde a Estados Unidos de Norteamérica. Con ella ocurren las mayores transformaciones sociales, económicas, tecnológicas y culturales de la historia de la humanidad desde el Neolítico (Escudero, 1997). Además, estos eventos implicaron la mecanización agrícola que a su vez facilitó las migraciones rurales y el crecimiento de la población urbana. Esto se sumó a la exploración del mundo que en su momento incorporó nuevas especies a la producción agropecuaria y expandió su cobertura. Hoy en día la aplicación de tecnología para la producción a gran escala es una tendencia en todos los países desarrollados, y en proceso, que es sin duda un fenómeno global. Se atribuye el gran desarrollo tecnológico de la Revolución industrial a la aplicación de la máquina de vapor para el bombeo y como fuerza propulsora de barcos (1807) y locomotoras (1804, 1814).

Con la máquina de vapor la navegación dejó de ser tan vulnerable a los eventos climatológicos. Su empleo en barcos y en ferrocarriles dieron impulso al desarrollo económico al acelerar

Mapa 1. La Revolución industrial inglesa. Las industrias que se establecieron a lo largo del país.



el transporte de materias primas y mercancías, reducir costos y tiempos de traslado y enlazar regiones geográficas muy distantes.

En Europa a partir de 1860 los avances tecnológicos permitieron sustituir el uso del hierro por el acero en los procesos industriales y reemplazar la fuerza de la máquina de vapor por energía eléctrica (1873). En 1859 en Estados Unidos se logró extraer industrialmente el petróleo; muy pronto éste y el queroseno, elaborado a partir de carbón mineral o hulla, fueron empleados como combustibles para el alumbrado público en sustitución del aceite de ballena, que cada vez se volvía más difícil de conseguir, por el decremento que habían sufrido sus poblaciones al ser utilizadas con este fin desde mediados del siglo XIX; desde entonces las concentraciones de CO₂ atmosférico empezaron a aumentar en consideración (Brice, 2002). Este momento de la historia humana es el que marca el inicio del uso descomunal de energía satisfecho con combustibles fósiles, momento que ha ocasionado un extenso cambio en la composición química de la atmósfera que ha resultado en la modificación de su balance en términos de efecto invernadero y así impulsa la tendencia progresiva hacia el calentamiento global o más convenientemente al cambio climático global. Fenómeno que con toda probabilidad es uno de los rasgos más conocidos en la actualidad de entre las varias dimensiones que caracterizan al Antropoceno.

Se calcula que el sistema energético del planeta depende en un 81% de las fuentes no renovables como los combustibles fósiles. Cabe destacar que el enorme consumo de combustibles

fósiles puede estar amenazado por el agotamiento de las existencias de petróleo en los mantos geológicos. Es el argumento que se esgrime alrededor del llamado pico petrolero, derivado del análisis que muestra que la tasa de localización y explotación de petróleo está entrando en una tendencia de reducción. Esto implica que si no se desarrollan fuentes alternas de energía, la sociedad humana no podrá mantenerse con la misma magnitud ni con el mismo patrón de producción y consumo que tenemos en la actualidad por mucho más tiempo (Tverberg, 2012). El problema de la energía fósil y el cambio climático antropogénico están estrechamente ligados, puesto que son dos retos entrelazados que para atenderlos se requiere una solución holística (Höök y Tang, 2012). Por lo pronto, usar más de modo más racional las reservas de petróleo del planeta junto con un consumismo razonable permitirá redirigir la economía (Ferrari, 2013).

4. Antropoceno

A pesar de lo que hemos descrito, los motivos y el momento de inicio del Antropoceno son aún materia de amplio debate. Hay quienes señalan a la agricultura extensiva y tecnificada como la causa original (Ruddiman, 2005b), mientras que otros marcan a la Revolución industrial como su inicio a mediados del siglo XVIII en Inglaterra. En este sentido algunos dudan que los gases de invernadero emitidos por las actividades humanas en los últimos doscientos años hayan sido suficientes para alterar el clima. El mayor consenso gira en torno a la idea de que el Antropoceno comienza alrededor de la segunda mitad del siglo XVIII cuando se producen aumentos notables y constantes de CO₂ y CH₄ en la atmósfera. Lo anterior debido sin duda a las actividades humanas asociadas a la proliferación de maquinaria industrial y su demanda energética satisfecha con combustibles fósiles. Entre las evidencias están los datos de los núcleos de hielo de los glaciares (figura 1) en cuyas burbujas de aire aprisionado se registra como en un reloj químico el inicio de un crecimiento notable en las concentraciones atmosféricas de gases de efecto invernadero (Crutzen y Stoermer, 2000; Crutzen, 2002). Además de que en el periodo entre los años 1800 y 2000 la población mundial pasó de mil millones de personas a seis mil millones

Figura 1. Proceso de formación del efecto invernadero por los gases en la atmósfera.



1. Para el 7 de diciembre de 2015 a las 18:33:51, el cálculo para la población fue de 7 344 119 662 habitantes. Datos disponibles en <http://countrymeters.info/es/World>

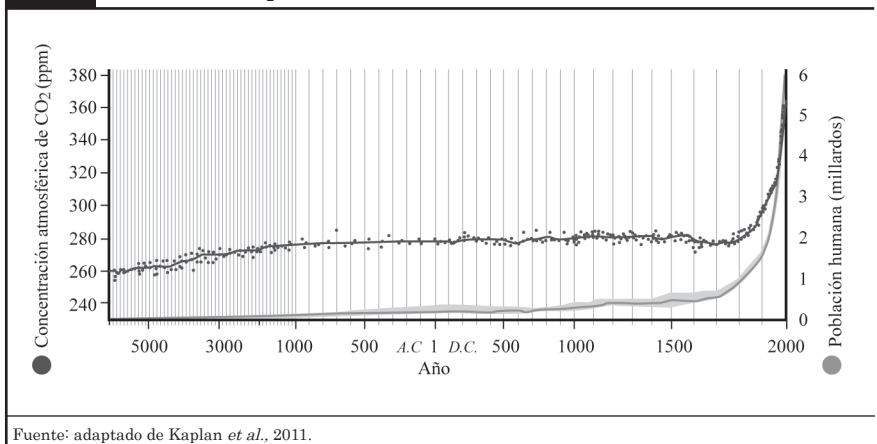
de habitantes. Hoy en día sobrepasa los siete millardos.¹ La presencia humana en la superficie terrestre destinada a su sustento aumentó de 10% a cerca de 25 o 30% en el mismo periodo, inclusive hay quienes la calculan hasta en 50% (Lambin y Geist, 2006).

En este sentido, apenas estamos comenzando a vivir el Antropoceno que abarca poco más de doscientos años de los aproximadamente cuatro mil quinientos setenta millones de años de edad que se calcula tiene la Tierra y los doscientos mil años del origen de nuestra especie. Tomando como base evidencias geológicas y paleontológicas, los geólogos y los geofísicos han dividido la historia de la Tierra en grandes eras o etapas. Durante la primera etapa que duró cuatro mil veinticinco millones de años, y que equivale a siete octavas partes de la edad de la Tierra, se formaron la litósfera, la hidrósfera y la atmósfera. Tuvieron que pasar dos mil cuarenta millones de años para que hubiera oxígeno libre en la atmósfera producto de la actividad de las numerosas especies de algas fotosintéticas que poco a poco, pero con gran éxito, se extendieron en los mares del planeta. Transcurrieron alrededor de otros novecientos millones de años más para la formación de la capa de ozono estratosférico, la que bloquea la radiación UV proveniente del sol y brinda una protección natural contra su efecto dañino sobre los organismos. A lo largo de su historia, la Tierra ha registrado innumerables cambios ambientales que han ocasionado transformaciones drásticas en la biodiversidad y estructura del planeta. Es el caso de las ocurridas en el límite Pérmico-Triásico cuando cerca de 95% de las especies marinas y 70% de las especies terrestres se extinguieron; la del Devónico, cuando desaparecieron 70% de las especies; la del Cretácico-Terciario, en la que desapareció 75% de todas las especies, incluso los dinosaurios. Esos cambios que han modificado la faz del planeta se han atribuido a modificaciones del ambiente asociadas a causas de origen geológico, climático y astronómico como las transgresiones y regresiones marinas, glaciaciones, clima árido, cambios en la órbita de la Tierra y sobre todo al impacto meteorítico y a los periodos de gran actividad volcánica asociados a las llamadas grandes provincias ígneas; la asociación entre éstas y las grandes extinciones encajan bien, pero cabe anotar que la naturaleza de las causas no se ha resuelto cabalmente (Wignall, 2005). En este contexto no hay antecedentes geológicos a la capacidad de una sola especie para alterar a gran escala los procesos planetarios como lo está haciendo hoy el ser humano.

Se han propuesto tres fases para una posible caracterización del Antropoceno: *a*) la Era industrial (ca. 1800-1945), *b*) la Gran aceleración (ca. 1945-2015), que sucede después de la Segunda Guerra Mundial en la que la población, el consumo y la tecnología se han convertido en los factores dominantes que incrementan el impacto ambiental humano (Steffen *et al.*, 2011) y *c*) una posible conducción del sistema terrestre (ca. 2015-). Otros proponen una fecha aún más remota vinculada con las migraciones a gran escala de los seres humanos y la extinción de la fauna que tuvo lugar hace ocho mil años en el Neolítico y en plena expansión agrícola (Ruddiman, 2005b) cuando la especie humana comenzó a dispersarse por los continentes. Estas extinciones quizá sean el primer gran impacto a escala planetaria. La población humana que se incrementaba aceleradamente eliminó a numerosas especies, por la caza directa o por la apropiación del uso del suelo para fines agropecuarios que resultó en la remoción de la cubierta vegetal natural.

No es sino hasta el siglo XX que Paul J. Crutzen con sus investigaciones sobre la incidencia del ozono en la atmósfera y Eugene F. Stoermer acuñaron el término Antropoceno (Crutzen y Stoermer, 2000) para designar la época geológica actual y que marca también la conclusión del Holoceno. En realidad el término fue propuesto primero por Stoermer a principios de los ochenta para referirse al impacto que estaban teniendo las actividades humanas en la tierra, pero su difusión ocurrió más tarde. Crutzen y Stoermer argumentan que es innegable la capacidad de transformación que el ser humano tiene sobre la tierra (gráfica 1). Ellos apuntan como marca distintiva el uso de los combustibles fósiles que en menos de doscientos treinta años han incrementado en consideración las concentraciones en la atmósfera de óxido nitroso, dióxido de carbono y metano (NO, CO₂ y CH₄ respectivamente). Las ciento sesenta millones de toneladas de dióxido de azufre (SO₂, precursores de los aerosoles de sulfatos) que

Gráfica 1. Concentración de CO₂ en la atmósfera vs. crecimiento humano.



Fuente: adaptado de Kaplan *et al.*, 2011.

Estados Unidos libera por año a la atmósfera con la quema de carbón y petróleo es por lo menos dos veces más grande que la suma de todas las emisiones naturales. El nitrógeno era introducido al mundo vivo en exclusivo a través de la actividad de las bacterias nitrificantes; ahora a esto se suma nuestra capacidad de hacerlo de manera sintética para ser aplicado como fertilizante en la agricultura y lo hacemos en una cantidad que supera al que es fijado naturalmente por todos los ecosistemas terrestres. La humanidad utiliza más de la mitad de toda el agua dulce disponible del planeta. Las transformaciones de los hábitats naturales para adecuarlos a intereses humanos o para usar los espacios que ocupan han incrementado a niveles alarmantes las tasas de pérdida y extinción de especies, cerca de un cuarto de las especies de aves del planeta corren el peligro de extinguirse (Vitousek *et al.*, 1997).

5. Implicaciones histórico sociales del Antropoceno

Desde el siglo XVIII había ya empezado a germinar una visión que cambiaría gradualmente la idea del predominio del hombre sobre la naturaleza. En este tenor, varios estudios sobre historia natural cuestionaban el antropocentrismo dominante (Leis, 2001), ya que el quehacer de la historia natural no sólo implicaba generar nuevos conocimientos, también promovía el surgimiento de nuevas ideas y sensibilidades que poco a poco emergieron como valores y actitudes defensivas y protectoras del mundo natural. En el siglo XIX surge la preocupación por conocer y mejorar el vínculo natural entre el ser humano y otras especies haciéndola converger con la preocupación democrático-revolucionaria por los derechos humanos.

En el siglo XX, al terminar la Segunda Guerra Mundial, el movimiento ambientalista surgió desde diversos frentes con una participación muy relevante del sector científico. El informe de Vannevar Bush, *Science: The Endless Frontier* (1945), sentaría las bases del desarrollo de las políticas en materia científica y tecnológica asumiendo que más desarrollo tecnológico implica más progreso nacional y bienestar social. Durante los cincuenta la preocupación derivada del riesgo de los usos militares de la energía nuclear tienen un impacto notable. Barry Commoner estudió la presencia de estroncio-90 radioactivo en los dientes de leche de los niños estadounidenses, lo cual está relacionado con las pruebas nucleares en la atmósfera. Esto se empieza a apreciar como un ejemplo de graves riesgos del avance tecnológico humano (Commoner, 1972). El ambientalismo orientado por el sector científico mantendría su predominio hasta finales de la década de los sesenta e impulsó que se concientizara sobre el vínculo

entre las problemáticas social y ambiental. La preocupación se amplió para incluir asuntos como la contaminación del aire urbano y del agua así como la exposición a residuos tóxicos y peligrosos. En 1962 Rachel Carson publicó su trabajo *Silent Spring*, que es de gran influencia para el movimiento ambientalista, y ayudó a percibir la interconexión y la complejidad de los sistemas ambientales. Los problemas ambientales locales empezaron a ser interpretados en el marco de problemas ambientales más globales.

Durante los setenta la atención de la opinión pública, así como la de los científicos y tomadores de decisiones se centró preponderantemente en los efectos ocasionados por la contaminación industrial y agrícola, la conservación de especies emblemáticas y la protección de espacios silvestres. En 1972 se publicó el Informe del Club de Roma sobre los límites del crecimiento (Meadows *et al.*, 1972) que puso en entredicho las nociones de crecimiento y desarrollo utilizadas en economía. En 1974 se identifica la capacidad catalítica de los átomos de cloro en la estratósfera —liberados por la fotodisociación de los CFCs— (clorofluorocarbonos) y en aquel entonces su hipotético impacto sobre la capa de ozono, lo que daría pie al otorgamiento del premio Nobel de Química en 1995 al mexicano Mario Molina, al estadounidense Sherwood Rowland y al holandés Paul Crutzen. Por primera vez se tenían pruebas palpables de los efectos adversos de una actividad industrial a escala global (Albaiges, 2001).

Durante los ochenta la dimensión ambiental incorpora al aspecto natural el componente cultural y el ecosistémico. Esta década sufre el desastre industrial de la Union Carbide en Bhopal, India (diciembre de 1984) y finalmente queda marcada por el desastre nuclear de Chernobyl (abril de 1986), que pone de manifiesto que los desastres ecológicos no respetan fronteras y que la tecnología no es infalible. El Informe Brundtland o Nuestro Futuro Común (abril de 1987) reconoce de manera oficial que los aspectos ambientales, económicos y sociales deben ser compatibles con los procesos de desarrollo e inicia el debate sobre la sustentabilidad del desarrollo humano.

La década de los noventa se caracteriza por la adopción amplia del *desarrollo sustentable* en casi todos los ámbitos del quehacer humano pero también el lanzamiento del debate sobre cómo traducirlo en términos operativos. El concepto político de desarrollo sustentable, que se había hecho público en el informe Nuestro Futuro Común, fue incorporado en la Declaración de Río (1992), derivada de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo en Río de Janeiro (junio de 1992). La dimensión ambiental es también cada vez más una parte integrante

de la lógica oficial de desarrollo nacional. Sin embargo, son monumentales los desafíos que tiene la humanidad en el siglo XXI como resultado del cambio ambiental global que hemos inducido al incrementarse el número de seres humanos y por la adopción de patrones tanto de producción como de consumo de bienes y servicios que presionan el funcionamiento de los ecosistemas a una escala sin precedente. Sin duda, los últimos veinte mil años han sido propicios para el desarrollo de las sociedades humanas, pero el ambiente globalmente modificado ¿nos seguirá beneficiando? (gráfica 2). El cambio climático que empezamos a vislumbrar y sentir tendrá sin duda efectos beneficiosos y adversos en los sistemas ambientales y socioeconómicos, pero cuanto mayor sea la importancia de los cambios en el clima y la velocidad con la que se producen más probable será que predominen los efectos adversos. Crutzen (2002) propone que es tarea de científicos e ingenieros guiar a la sociedad hacia el manejo sostenible de la biósfera durante el Antropoceno.

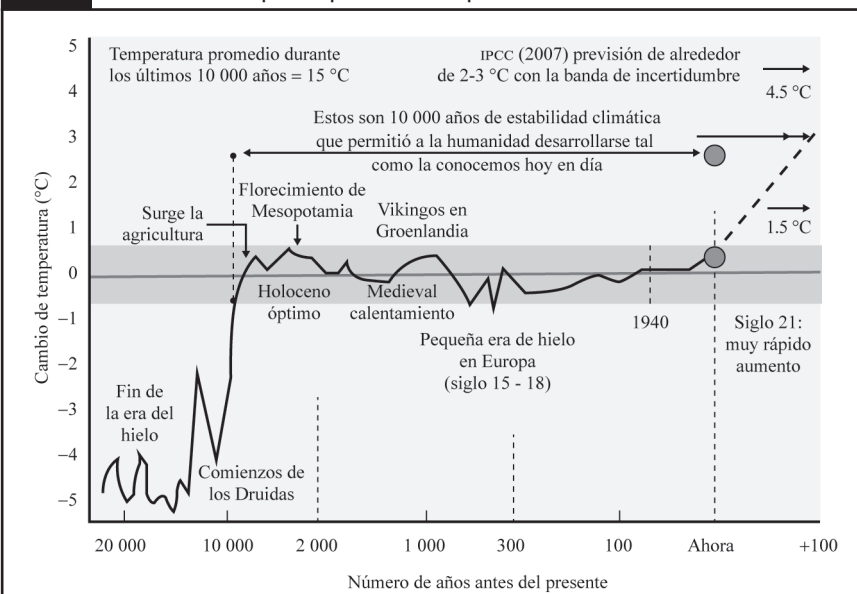
En una reunión del US-National Research Council (NRC) (2010) se reflexionó sobre cómo será la evolución de la superficie de la Tierra en el Antropoceno. Se llegó al consenso de que son necesarias nuevas teorías y enfoques metodológicos para afrontar las interacciones cada vez más complejas entre los seres humanos y su entorno en la nueva época. Harden *et al.* (2013) sugieren una nueva ciencia, aún en construcción, para estudiar estos sistemas de paisajes humanos que reconoce la interdependencia hidro-geomorfológica y ecológica con los procesos humanos. Es claro que el estudio de estas interacciones complejas requiere de nuevos enfoques de orientación interdisciplinaria. Posiciones opuestas señalan que “el concepto es profundamente incidioso” (Hettinger, 2014), que se sobrevalúa el papel de los seres humanos y no se aprecia el papel que la naturaleza no-humana continua representando sobre la tierra. Es una ratificación de la trascendencia de este debate la existencia del *Journal The Anthropocene*² (2013) que aborda “las interacciones que la gente tiene con la Tierra”; muestra que el tema es cada vez más pertinente, así como la creciente presencia de los asuntos ambientales en las mesas de discusión y en la formulación de políticas públicas.

Conclusiones

El inicio del Antropoceno aún sin definirse, ya sea con el surgimiento de la agricultura en el Neolítico, o la Revolución industrial o con la Gran aceleración después de la Segunda Guerra Mundial o hasta 1945 con la detonación de la primera bomba atómica (el lunes 6 de agosto de 1945) y con ello el comienzo de la era nuclear. Los recientes hallazgos de una columna de sedimentos de 39 centímetros de las marismas de Urdaibai, España, que contiene hidrocarburos aromáticos policíclicos que registra la contaminación generada en los últimos setecientos años, se suma a las pruebas tangibles que apoyan la idea de que el ser humano ha entrado en, y más aún creado, una nueva época geológica: el Antropoceno (Leorri *et al.*, 2014). En esta nueva época los seres humanos hemos alcanzado el nivel de un agente transformador de escala geológica global, de manera equivalente a otros grandes procesos que han modelado el desarrollo del planeta.

La comprensión científica de los tiempos que estamos viviendo puede beneficiarse al destacar y caracterizar con precisión esta nueva etapa en la historia del planeta. Sea como sea, formal o coloquialmente, el Antropoceno es más o menos sinónimo con el presente y el ahora en las ciencias de la tierra; es probable que su inicio resulte siempre más o menos arbitrario, pero eso no cambia mucho su relevancia (Cohen, 2014).

Gráfica 2. Variaciones de la temperatura promedio en la superficie de la Tierra en los últimos veinte mil años.



Fuente: adaptado de McMichael, 2003.

2. Revista que se encuentra disponible en <http://www.journals.elsevier.com/anthropocene?gclid=CLTDqqGVIL8CFQdggodmZUAIA>

En todo caso, cualquiera que sea la posición que se tenga respecto de la existencia o no de algo que podamos llamar Antropoceno, es innegable que la influencia humana ha alcanzado tal magnitud que junto con la globalización de los mercados está ocurriendo una globalización del cambio ambiental.

Challenger (1998) señaló que “el clima responde en forma relativamente lenta a los cambios en los mecanismos de retroalimentación que lo moldean”, de modo que si empezamos a actuar ahora para frenar la tendencia hacia el calentamiento, los resultados de nuestras acciones no serán evidentes sino hasta dentro de varias décadas. Sin duda, en los años venideros la evolución biológica continuará su marcha cotidiana. Nuevas y variadas especies surgirán y es posible que de entre ellas surja alguna que pueda ocupar nuestro nicho sin apenas notarlo y menos evitarlo. El desafío del Antropoceno no lo es para la vida en el planeta, es para el *Homo sapiens* y sus hábitos. La humanidad ha desarrollado

conocimiento amplísimo y depende inevitablemente de la tecnología para generar su sustento. El cambio ambiental inducido por la humanidad ha originado el deterioro de la capa estratosférica de ozono y el cambio climático global. La actividad humana además está afectando la existencia de las comunidades bióticas al generar importantes pérdidas de especies y graves niveles de contaminación ambiental que se traducen en cambios drásticos en el funcionamiento y constitución de la biósfera. Lo agravamos por el gran número de habitantes y por los patrones de producción y consumo de bienes y servicios. Estamos en la actualidad en la encrucijada del Antropoceno que nos desafía a encontrar nuevas formas de relación con la biósfera que no atenten contra nuestra propia existencia. Paradójicamente esto requiere no sólo modular, fuera de nosotros, el cambio ambiental que acompaña nuestras actividades, sino la reinvención de la propia naturaleza humana dentro de cada uno de nosotros mismos.



Bibliografía

- Albaiges, J. (2001). Mario Molina: de la investigación al compromiso ambiental. *Medio Ambiente: Tecnología i Cultura*, 30: 120-122.
- Brice, W. R. (2002). Abraham Gesner (1797-1864)-A Petroleum Pioneer. *Oil-Industry History*, 3(1): 72-80.
- Brown, G. H. (2014). The anthropocene: A geomorphological and sedimentary view, en R. Rocha *et al.* (eds.), STRATI 2013. *Springer Geology* (pp. 909-914).
- Cafaro, K. (2013). Expanding parks, reducing human numbers, and preserving all the wild nature we can: a superior alternative to embracing the anthropocene Era. *The George Wright Forum*, 30(3): 261-266. Disponible en <http://www.georgewright.org/303cafaro.pdf>
- Challenger, A. (1998). *Utilización y conservación de los ecosistemas terrestres de México: pasado, presente y futuro*. México CONABIO, Instituto de Biología UNAM, Agrupación Sierra Madre S. C.
- Cohen, K. M. (2014). The Anthropocene and the present is the key to the Past, en STRATI 2013. *Springer Geology* (pp. 919-923). Disponible en http://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-319-04364-7_173
- Commoner, B. (1972). *The Closing Circle (Nature, Man, and Technology)*. New York: Bantam.
- Crutzen, P. J. (2002). Concepts: Geology of mankind. *Nature*, 415, 23.
- Crutzen, P. J. (2006). The Anthropocene, en E. Ehlers y Kraftt, T. (eds.), *Earth System Science in the Anthropocene: Emerging Issues and Problems* (pp. 13-18). Berlin: Springer.
- Crutzen, P. J. y Stoermer, E. F. (2000). The Anthropocene. *Global Change Newsletter* 41: 17-18.
- Escudero, A. (1997). *La Revolución industrial*. Madrid: Anaya.
- Fernández Durán, R. (2010). *El Antropoceno: la crisis ecológica se hace mundial. La expansión del capitalismo global choca con la biósfera*. Madrid: Pelegrina: Disponible en <http://estudiosdelaener.blogspot.mx/2010/04/el-antropoceno-la-crisis-ecologica-se.html>
- Ferrari, L. (2013). Energía finita en un planeta finito, 14(9). Disponible en <http://www.revista.unam.mx/vol.14/num9/art30/index.htm>
- Harden, C. P., Chin, A., English, M. R., Fu, R., Galvin, K. A., Gerlak, A. K., McDowell, P. F., McNamara, D. E.,

- Peterson, J. M., LeRoy, Poff, N., Rosa, E. A., Solecki, W. D. y Wohl, E. E. (2013). *Understanding human-Landscape interactions in the Anthropocene Environmental Management*. New York: Springer Science+Business Media
- Hettinger, N. (2014). Valuing naturalness in the Anthropocene: Now more than ever. en G. Wuertner *et al.* (eds.), *Keeping the wild: against the domestication of earth*, (pp. 174-179).
- Höök, M. y Tang, X. (2012). Depletion of fossil fuels and anthropogenic climate change-A review. *Energy Policy*, 52(2013), 797-809.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). (2013). *Climate change 2013: The physical science basis. Contribution of working group I to the fifth assessment report of intergovernmental panel on climate change*. Disponible en http://www.climate2013.org/images/report/WG1AR5_ALL_FINAL.pdf
- Kaplan, J. O., Krumhardt, K. M., Ellis, E. C., Ruddiman, W. F., Lemmen, C. y Goldewijk, K. K. (2011). Holocene carbon emissions as a result of anthropogenic land cover change. *The Holocene*, 21: 775-791.
- Kiehl, J. T. y Trenberth, K. E. (1996). Earth's Annual Global Mean Energy Budget. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 78(2). Disponible en http://climateknowledge.org/figures/Rood_Climate_Change_AOSS480_Documents/Kiehl_Trenberth_Radiative_Balance_BAMS_1997.pdf y en http://www.profesorenlinea.cl/Ciencias/Efecto_invernadero.htm
- Lambin, E. F. y Geist, H. J. (eds). (2006). *Land-use and land-cover change: local processes and global impacts. The IGBP Global Change Series*. Berlin: Springer.
- Leorri, E., Mitra, S., Irabien, M. J., Zimmerman, A. R., Blake, W. H. y Cearreta, A. (2014). A 700 year record of combustion-derived pollution in northern Spain: Tools to identify the Holocene/Anthropocene transition in coastal environments. *Science of The Total Environment*, 470-471: 240-247.
- Leis, H. R. (2001). La modernidad insostenible: las críticas del ambientalismo a la sociedad contemporánea. Montevideo: PNUMA, Nordan-Comunidad. Disponible en <http://www.ambiente.gov.ar/infoteca/caea/descargas/leis01.pdf>
- Martin, J. R. (2012). Economía Biofísica. *Investigación y Ciencia*, 6: 68-75.
- Meadows, D. H., Meadows, D. L., Randers, J., Behrens, W. (1972). *The limits to growth*. New York: Signet Books.
- McClure, S. B. (2013). *Domesticated animals and biodiversity: Early agriculture at the gates of Europe and long-term ecological consequences. Anthropocene*.
- McMichael, A. J. (2003). Global climate change and health: an old story writ large, en A. J. McMichael, D. H. Campbell-Lendrum, C. F. Corvalán, K. L. Ebi, A. K. Githeko, J. D. Scheraga y A. Woodward (eds.). *Climate change and human health risks and responses* (pp. 1-17). Switzerland: WHO Geneva.
- NRC (National Research Council). (2010). *Landscapes on the edge: new horizons for research on Earth's surface*. Washington: The National Academies Press.
- Portillo, L. (2010). Primera Revolución Industrial. *Historia Universal*. Disponible en <http://www.historialuniversal.com/2010/07/primer-revolucion-industrial.html>
- Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin III, F.S., Lambin, E. F., Lenton, T. M., Scheffer, M., Folke, C., Schellnhuber, H. J., Nykvist, B., de Wit, C. A., Hughes, T., van der Leeuw, S., Rodhe, H., Sörlin, S., Snyder, P. K., Costanza, R., Svedin, U., Falkenmark, M., Karlberg, L., Corell, R.W., Fabry, V. J., Hansen, J., Walker, B., Liverman, D., Richardson, K., Crutzen, P. y Foley, J. A. (2009). Planetary boundaries: Exploring the safe operating space for humanity. *Ecology and Society*, 14(2): 32 Disponible en <http://www.ecologyandsociety.org/vol14/iss2/art32/>
- Ruddiman, W. F. (2003). The anthropogenic greenhouse gas era began thousands of years ago. *Climatic Change*, 61: 261-293.
- Ruddiman, W. F. (2005a). How Did Humans First Alter Global Climate? *Scientific American*, 292: 34-41.
- Ruddiman, W. F. (2005b). Calentamiento antropogénico preindustrial. *Investigación y Ciencia*, 344: 2-39.
- Steffen, W., Crutzen, P. J. y McNeill, J. R. (2007). The Anthropocene: Are humans now overwhelming the great forces of Nature? *Ambio*, 36: 614-621.
- Steffen, W., Grinevald, J., Crutzen, P. y McNeill, J. (2011). The Anthropocene: conceptual and historical perspectives. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 369(1938): 842-867.
- Tverberg, G. E. (2012). Oil supply limits and the continuing financial crisis. *Energy*, 37(1): 27-3.
- Vitousek, P. M., Mooney, H. A., Lubchenco, J. y Melillo, J. M. (1997). Human domination of earth's ecosystems. *Science*, 277: 494-499.
- Wignall, P. (2005). Large Igneous provinces: Origin and environmental consequences: The link between large igneous province eruptions and mass extinctions. *Elements*, 1(5): 293-297.