

EL HOMBRE DEL HIDROCARBURO, EL CAMBIO CLIMÁTICO, EL ANTROPOCENO, LA “GRAN ACELERACIÓN” Y LOS LÍMITES DEL PLANETA

Mariano Marzo Carpio.

Catedrático de Estratigrafía,

Universidad de Barcelona

Facultad de Ciencias de la Tierra

Departamento de Dinámica de la Tierra y del Océano

Energía y desarrollo

Según la mitología griega, dos Titanes, Prometeo y su hermano Epimeteo, tenían encomendada la tarea de proporcionar a cada animal un poder que les ayudara en su lucha por la supervivencia. Las serpientes recibieron colmillos para inyectar veneno, los osos una enorme fuerza y las gacelas una gran velocidad. Pero cuando llegó el turno del hombre ya no quedaban poderes por distribuir. Conmovido por su desamparo, Prometeo robó el fuego a los Dioses y se lo dio a los humanos. Encolerizado, Zeus, el rey del Olimpo, encadenó al Titán a una montaña donde permaneció hasta que Hércules lo liberó. Con el mito de Prometeo, los griegos expresaron la enorme importancia que el fuego tenía en sus vidas.

Con anterioridad al fuego, la potencia de los humanos se fundamentaba en la fuerza de sus músculos. El “descubrimiento” y control del fuego cambió el día a día del hombre primitivo, permitiéndole ver en la oscuridad, calentarse, mantener a raya a los predadores, cocinar, secar y endurecer la madera, así como el acceso al uso de los metales. ¿Cuándo se produjo “el regalo” de Prometeo? Las primeras pruebas de la utilización del fuego por los humanos provienen de China y se remontan unos 500.000 años en el pasado.

Habría que esperar cientos de miles de años para que se produjera otro gran salto cualitativo en la utilización de la energía por el hombre. Este consistió en la domesticación de los animales. Ciertas pruebas arqueológicas sugieren que hace unos 12.000 años los perros ya estaban domesticados en China y el suroeste asiático. Ovejas, cabras y cerdos lo habrían sido alrededor del 8.000 AC, el ganado vacuno hacia el 6.000 AC y los caballos, burros y búfalos en torno al 4.000 AC. La utilización de la potencia de los animales permitió a los humanos multiplicar su productividad, de modo que la extensión de tierra cultivable y el número de cosechas por unidad de superficie experimentaron un crecimiento espectacular.

Con un suministro alimenticio más adecuado y seguro, el hombre empezó a evolucionar hacia el sedentarismo, lo que les permitió crear y acumular herramientas nuevas, mejores y más grandes. Como consecuencia, los avances en el desarrollo de la tecnología energética empezaron a sucederse a mayor velocidad. Pero incluso así, con las excepciones de la vela, el molino de viento, la noria y la pólvora, la tecnología utilizada por la gente corriente no cambió mucho en el transcurso de varios milenios. Los romanos contemporáneos de Jesucristo posiblemente habrían entendido sin demasiadas dificultades la ciencia y la tecnología del siglo XVI.

No fue hasta finales del siglo XVII, con la invención de la máquina de vapor, cuando se produjo el definitivo despegue tecnológico. Con posterioridad a este acontecimiento la vida de las personas empezó a cambiar a un ritmo

frenético, marcado por los continuos progresos tecnológicos y la progresiva sustitución de las fuentes de energía primaria. Una trayectoria que ha desembocado en una absoluta dependencia de los hidrocarburos (carbón, petróleo y gas natural).

El hombre del hidrocarburo.

Con anterioridad a la Revolución Industrial, el desarrollo de las sociedades humanas quedaba acotado por la tasa a la que estas eran capaces de aprovechar la radiación solar y sus transformaciones al incidir sobre nuestro planeta. La producción de alimentos y de combustibles quedaba limitada por la baja eficiencia de la fotosíntesis, así como por un suministro insuficiente de nutrientes a las plantas. Los rendimientos medios de los cultivos eran bajos, ocasionando desnutrición crónica y hambrunas recurrentes, mientras que el almacenamiento de la energía estaba seriamente coartado por la baja densidad energética de la biomasa y la escasa potencia específica de las principales fuerzas motrices (los músculos de los humanos y de los animales de tiro). Aun así, las sociedades antiguas fueron capaces de aumentar gradualmente el uso per cápita de la energía aprovechando el agua y el viento y desplegando una creciente fuerza de trabajo, mayoritariamente integrada por esclavos y animales.

La extracción a gran escala y la combustión del carbón, petróleo y gas natural significaron un cambio fundamental en el tipo e intensidad de los usos de la energía. Los tres hidrocarburos citados abarcan un amplio muestrario de moléculas orgánicas, generadas tras un complejo y largo proceso: la lentísima transformación, durante periodos de entre cien mil a cien millones de años, de la materia orgánica inicialmente sintetizada por la fotosíntesis en la biosfera y luego acumulada como detritus vegetales y animales en el fondo de cuencas sedimentarias (lagos, mares y océanos). En ausencia de oxígeno, parte de esta materia orgánica puede escapar a la descomposición bacteriana para, posteriormente, a medida que va siendo enterrada bajo sucesivos acúmulos de sedimento, transformarse bajo la acción combinada de presiones y temperaturas crecientes. La madre naturaleza ha posibilitado, a través de la fotosíntesis y del proceso geológico descrito, el almacenamiento de la energía solar en los enlaces químicos de los átomos de hidrógeno y carbono que integran las moléculas de los hidrocarburos o combustibles fósiles.

Durante milenios, los humanos obtuvieron los alimentos, el calor y la potencia mecánica necesarios para su supervivencia de la radiación solar y su transformación casi inmediata (flujos de agua y viento), así como de la energía proporcionada por conversiones metabólicas y de la biomasa que ocurrían en cuestión de meses, unos pocos años o, a lo sumo, unas pocas décadas. Por contra, los combustibles fósiles, con la excepción de la turba, son el resultado de intensos cambios de la biomasa durante lapsos de tiempo geológicos. Utilizando un símil económico, podemos considerar que las sociedades premodernas dependían para su desarrollo de unos ingresos solares, instantáneos o mínimamente retardados, que se reponían de forma constante. En cambio, la civilización moderna basa su esplendor en el uso de una herencia solar. Un capital que estamos dilapidando a gran velocidad y que, a la postre, tan solo habrá sido disfrutado durante una pequeña fracción del tiempo que se necesitó para acumularlo.

Las sociedades preindustriales eran, en teoría, energéticamente sostenibles en un horizonte temporal de miles de años, aunque en la práctica muchas de ellas comprometieron su desarrollo por una excesiva deforestación y erosión del suelo. En cambio, la civilización moderna se basa en el aprovechamiento, sin duda insostenible, de una herencia solar única que no puede ser repuesta a la escala temporal de una civilización. Pero esta herencia nos ha dado acceso a unos recursos energéticos muy concentrados y fáciles de almacenar y que han podido ser utilizados a un ritmo creciente. El uso de los combustibles fósiles ha permitido a los humanos superar los límites al consumo de energía impuestos por la baja eficiencia de la fotosíntesis y por los bajos rendimientos de las corrientes de agua y aire. Como resultado, el consumo energético global ha aumentado a unos niveles sin precedentes: el consumo mundial de energía primaria (biomasa, combustibles fósiles, renovables y nuclear) ha pasado de algo más de 10×10^{18} julios (10 EJ) en 1750 a más de 400 EJ a principios de este siglo.

Cambio climático y crecimiento.

Como explicábamos en el apartado precedente somos el hombre del hidrocarburo: en 2013, los combustibles fósiles representaron el 81,4% de toda la energía primaria consumida en el mundo. Un porcentaje que se repartió de la siguiente manera: 31,1% para el petróleo, 28,9% para el carbón y 21,4% para el gas. Y las previsiones de futuro nos indican que el dominio de dichos combustibles se prolongará en las próximas décadas.

Nuestra civilización depende en demasía de fuentes energéticas ricas en carbono, cuya combustión en cantidades crecientes ha situado a la humanidad frente a un inesperado desafío: las elevadas cantidades de dióxido de carbono (CO₂) y otros gases de efecto invernadero emitidas a la atmósfera están sobrecalentado el planeta.

Existe un amplio consenso científico en que estamos asistiendo a un cambio climático global forzado por la acción humana. Y ante dicha evidencia podemos preguntarnos ¿por qué se hace tan difícil la lucha contra el cambio climático? Medios y responsables políticos insisten que todo se reduce a una cuestión de lograr un acuerdo mundial para reducir las emisiones de los gases contaminantes, en particular del dióxido de carbono (CO₂), lo que requiere de una transformación del actual sistema energético. Una condición sin duda necesaria, pero que, como a continuación se expone, quizás, no resulte suficiente.

La Identidad de Kaya, formulada por el economista energético japonés Yoichi Kaya, relaciona el CO₂ emitido por la actividad humana con el producto de cuatro variables, consideradas a escala global: 1) la población, 2) el producto interior bruto (PIB) per cápita, 3) la energía utilizada por unidad de PIB (o intensidad energética), y 4) las emisiones de CO₂ emitidas por unidad de energía consumida (o intensidad de carbono del mix energético).

Para que el resultado final de una multiplicación de cuatro factores sea cero, basta con que uno de ellos lo sea. Pero, hoy por hoy, este supuesto constituye un sueño aparentemente lejano que pasa por la investigación y el desarrollo. Lo que si esta en nuestra mano es tratar de reducir las emisiones de CO₂. Ahora bien, para lograr este objetivo no podemos obviar dos hechos. El primero es que las proyecciones de Naciones Unidas sugieren que, aunque en la actualidad estamos ya asistiendo a un descenso de las tasas de fertilidad, la

población mundial seguirá creciendo en los próximos cincuenta años, pasando de 7.000 millones de personas a un máximo de 9.500 millones, para después estabilizarse en respuesta a una mejora generalizada de las condiciones de vida. El segundo, es que el vigente paradigma socioeconómico asume como un dogma indiscutible que el PIB mundial per cápita puede y debe seguir creciendo indefinidamente.

Los dos condicionantes comentados han llevado a la comunidad internacional a concluir que la lucha contra el cambio climático debe centrarse en intentar rebajar la intensidad energética y la de carbono. En el caso de la primera, se busca mejorar la eficiencia (es decir, hacer más, o lo mismo, con menos) tanto desde el punto de vista de la oferta como del de la demanda, mientras que en el caso de la intensidad de carbono se persigue avanzar hacia la descarbonización del mix energético, promoviendo el despliegue de fuentes de energía limpias en CO₂ (renovables y nuclear). Paralelamente, de forma complementaria a las actuaciones citadas, se pretende rebajar la cantidad de CO₂ antropogénico mediante su secuestro, ya sea por medios artificiales o naturales (por ejemplo, inyectándolo y almacenándolo en el subsuelo o evitando la deforestación).

Esta estrategia para reducir las emisiones de CO₂ confía en que la innovación tecnológica, junto a toda una batería de medidas adoptadas en materia de política energética por los gobiernos, serán capaces de compensar los efectos derivados del crecimiento demográfico y económico. Sin embargo, tal y como se detalla en los gráficos adjuntos, elaborados por la Agencia Internacional de la Energía (el consejero en temas energéticos de la OCDE), durante el periodo 1990-2012, a escala global, las mejoras introducidas en materia de intensidad energética e intensidad de carbono no fueron capaces de subsanar el aumento de las emisiones aparejadas al crecimiento, muy particularmente, al económico. Ciertamente, resulta preocupante constatar como a nivel global, este último se ha convertido en el primer impulsor del aumento de las emisiones de CO₂.

Sin embargo, dentro de este panorama preocupante, se atisba un hecho esperanzador. Y es que los datos correspondientes al periodo 1990-2013, desagregados por países industrializados y emergentes, muestran que los primeros sí que han sido capaces de desacoplar en cierta medida el crecimiento económico y demográfico del de las emisiones de CO₂. Estas no solo se han estabilizado, sino que incluso han disminuido ligeramente, gracias a una espectacular mejora de la intensidad energética y a la progresiva descarbonización del mix energético. Ante este hecho cabe preguntarse ¿podría, a medio-largo plazo, generalizarse la tendencia observada en los países industrializados a las economías emergentes y al mundo en general?

Lamentablemente, las proyecciones en el horizonte 2040 contenidas en un informe del gobierno de los EE.UU. (*US EIA, International Energy Outlook 2013*) no son precisamente optimistas al respecto. Según esta fuente, en los próximos veintisiete años, el mundo podría reducir su intensidad energética e intensidad de carbono en relación a los valores de 2010. Sin embargo, estas mejoras se verían ampliamente contrarrestadas por el crecimiento del PIB per cápita y por el aumento de la demografía, de forma que, en conjunto, la multiplicación de los cuatro factores de Kaya arrojaría el resultado de que las emisiones globales de CO₂ se incrementarían cerca de un 46% en el transcurso del periodo 2010-2040.

Nos guste o no, a la luz de la identidad de Kaya, el análisis de la historia del consumo energético, así como del crecimiento económico y demográfico de la humanidad en los últimos cien años, nos indica que el cambio climático es, en buena parte, consecuencia de un desarrollo económico y demográfico sin precedentes, posibilitado por el uso masivo de los combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas). Afirmar, como a menudo se hace, que el cambio climático es tan solo el resultado del uso masivo de dichos combustibles es una verdad a medias. Equivale a culpar a la bala, o la pistola que la dispara, de un asesinato, sin analizar quien aprieta el gatillo.

Ciertamente, el CO₂ que (junto a otros gases de efecto invernadero) provoca el actual desequilibrio climático proviene en su mayor parte de la quema de combustibles fósiles, pero no deberíamos olvidar que sin carbón, petróleo y gas, el consumo energético mundial no podría haberse multiplicado por un factor cercano a cinco durante el periodo 1950-2000, posibilitando que durante el mismo periodo el PIB mundial se multiplicara por siete y la población mundial por algo más de dos. Desgraciadamente, el precio a pagar ha sido que las emisiones de CO₂ se han multiplicado por casi cinco durante los cincuenta años considerados.

El Antropoceno, la “gran aceleración” y los límites del planeta.

Como nos muestra el ejemplo del cambio climático, las evidencias de que la humanidad se ha convertido en una imponente fuerza geológica de dimensión planetaria son tan numerosas, variadas y relevantes, que los científicos se están tomando muy en serio la posibilidad de diferenciar una nueva época en la escala de los tiempos geológicos, denominada Antropoceno. La propuesta, planteada en el año 2000 por el premio Nobel de Química P. Crutzen y su colaborador E. Stoemer, plantea que como consecuencia del impacto de la humanidad sobre el sistema Tierra nuestro planeta habría dejado atrás el Holoceno para adentrarse en el Antropoceno.

Esta idea ha generado una gran controversia en el seno de la comunidad científica, particularmente en la Comisión Internacional de Estratigrafía, el organismo encargado de analizar cualquier propuesta de modificación de la escala de los tiempos geológicos. Sin embargo, este debate no es óbice para que el concepto, con una importante carga simbólica, se haya popularizado rápidamente, desbordando el ámbito científico. Tras ser aceptado de manera entusiasta por los colectivos más preocupados y comprometidos con la defensa del medioambiente, interesados en subrayar el potencial destructivo de los humanos, el término Antropoceno se ha convertido en un tópico de moda en las redes sociales y los medios de comunicación, hasta colarse en las agendas de las elites del mundo empresarial, financiero y político.

En este contexto, no deja de resultar significativo el proyecto de reestructuración radical emprendido por el Museo Nacional de Historia Natural del Instituto Smithsonian en Washington DC. En la actualidad, la reputada sala de los dinosaurios del museo se encuentra casi vacía y cerrada al público por obras. La idea es que cuando vuelva a abrirse en 2019, los esqueletos del *Tyrannosaurus rex* y del *Triceratops* dejen de ser las estrellas exclusivas de la exposición para compartir protagonismo con un nuevo espacio dedicado al Antropoceno. Se trata de invitar a los visitantes, en su calidad de miembros de la especie animal hoy dominante en la Tierra, a que se informen y reflexionen

sobre el impacto de la actividad humana en nuestro planeta y de sus consecuencias potenciales

Pero, más allá de su utilización como un recurso comunicativo ¿está el término Antropoceno justificado en base a la aplicación de los criterios comúnmente utilizados en Estratigrafía para diferenciar otras épocas del registro geológico? La respuesta es que todavía se está trabajando en el tema. Frente al innegable entusiasmo y aceptación popular suscitados por el concepto de Antropoceno, los científicos saben que la identificación y definición formal de una nueva época geológica es una tarea muy ardua. No en vano, la escala de los tiempos geológicos, verdadero andamiaje sobre el que se sustentan los estudios sobre el pasado del planeta, constituye uno de los grandes logros científicos de la humanidad, de manera que cualquier propuesta de modificación debe superar una serie de rigurosas exigencias científicas.

La decisión de formalizar el Holoceno en 2008 fue una de las más importantes tomadas recientemente por la Comisión Internacional de Estratigrafía. Este organismo ha subdividido la historia de la Tierra en una serie de unidades parecidas a los años, meses y días de un calendario. El intervalo de tiempo comprendido entre el presente y los últimos 2,58 millones de años, que aparece jalonado por una sucesión de fases glaciares e interglaciares, se conoce como periodo Cuaternario, que a su vez comprende dos épocas: el Pleistoceno y el Holoceno. La segunda abarca la última de las fases interglaciares del Cuaternario. Su inicio está fechado hace unos 11.700 años y está oficialmente registrado en un testigo de sondeo de hielo proveniente de Groenlandia. El punto exacto (*golden spike* o remache dorado en la jerga estratigráfica) coincide con la aparición de un intervalo caracterizado por un aumento de los valores del deuterio (que sirven para determinar la temperatura del aire) y una brusca caída en los contenidos de polvo atmosférico. Este momento marca el inicio de ascensos generalizados de la temperatura global y del nivel del mar, fenómenos ambos que alcanzaron sus máximos hace unos 11.000 y 8.000 años, respectivamente. Posteriormente, hasta tiempos recientes, las temperaturas y el nivel del mar se estabilizaron, dibujando una gráfica prácticamente plana, únicamente perturbada por pequeñas oscilaciones milenarias de la temperatura global del orden de 1°C de amplitud. Este perfil plano refleja el periodo más prolongado de estabilidad del clima y del nivel del mar experimentado por el planeta en los últimos 400.000 años.

El Holoceno, representa, por tanto, una larga época de tranquilidad, clave en el desarrollo de la civilización humana, que daríamos por finalizada si la nueva subdivisión del Antropoceno fuera aceptada formalmente. Pero ¿estamos en condiciones de asegurar que la actividad humana ha puesto definitivamente fin a una tendencia iniciada hace 11.700 años? Y si así fuera ¿cuándo habría ocurrido esto? Obviamente, no tenemos la suficiente perspectiva temporal para responder afirmativamente a la primera pregunta, mientras que la segunda admite varias opciones, entre las que destacan las dos que a continuación les comento.

Cuando Crutzen y Stoemer propusieron en el año 2000 el término Antropoceno, pensaban que su fecha de inicio debía situarse a finales del siglo dieciocho, en los comienzos de la Revolución Industrial. Ello se justificaba en base a que desde entonces hasta los albores del presente milenio, el *Homo sapiens* ha debilitado la capa de ozono sobre la Antártida, multiplicado por dos la concentración de metano en la atmósfera e incrementado en un tercio la de

dióxido de carbono, de manera que el planeta se está calentando, el nivel medio del mar se eleva y los océanos se acidifican.

Con posterioridad, las investigaciones del Grupo de Trabajo sobre el Antropoceno, han permitido elaborar una lista aún más extensa de cambios inducidos por la acción humana sobre el planeta, identificando incluso algunos anteriores a la Revolución Industrial. Sin embargo, lo más relevante es que diversos trabajos (veáse, por ejemplo: *W. Steffen et al., "The trajectory of the Anthropocene: The Great Acceleration" The Anthropocene Review, 2015*) que analizaban la evolución desde 1750 a la actualidad de una serie de indicadores socio-económicos, así como de las tendencias mostradas por otros parámetros que informan sobre "la salud" del sistema Tierra, mostraban un hecho llamativo: un cambio espectacular en la magnitud y velocidad del impacto humano desde 1950 en adelante. Un fenómeno conocido como la "gran aceleración" y cuyo comienzo marcaría para muchos investigadores el inicio del Antropoceno. Un inicio, que podría concretarse en el 16 de julio de 1945, es decir, en la fecha en la que tuvo lugar la detonación de la primera bomba atómica en Alamogordo (Nuevo Méjico).

La razón de esta propuesta es simple. Los isótopos radioactivos liberados de dicha explosión llegaron a la atmosfera, dispersándose por todo el planeta, para luego ser fijados en los sedimentos o en los hielos de las regiones árticas o antárticas. Los científicos no tienen más que estudiar las anomalías radioactivas de los sedimentos recientes de cualquier parte del mundo, o del hielo de los casquetes polares, para encontrar la primera evidencia inequívoca del impacto de la actividad humana a escala planetaria, lo que constituiría el remache dorado del límite Holoceno-Antropoceno.

En cualquier caso, más allá de esta anécdota estratigráfica, es importante que retengamos la idea de que la "gran aceleración" marca el inicio de un crecimiento sin precedentes del sistema socio-económico global, es decir, del componente humano del sistema Tierra. Y no deberíamos subestimar la escala y velocidad del cambio observado: en poco más de dos generaciones, o si lo prefieren, en un periodo de tiempo inferior al de una vida, la humanidad se ha convertido en una fuerza geológica de ámbito planetario.

Hay que plantearse si la "gran aceleración" puede proseguir de manera indefinida. Y en este sentido tenemos que volver a reflexionar seriamente sobre los límites del planeta (véase al respecto: *Will Steffen et al., "Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet", Science , 13 February 2015, vol 347 ,issue 6223*)