

# Cambio climático

A. RUIZ DE ELVIRA

*Catedrático de Física Aplicada, Universidad de Alcalá*

## RESUMEN

El ser humano, con su ansia por consumir energía, un ansia derivada de un desarrollo cultural procedente de una larga etapa de escasez, está produciendo un cambio en el medio ambiente en el que tiene que desarrollar su vida que le está llevando hacia un desastre de manera acelerada, un desastre similar a otras caídas de imperios como el romano, el español o la civilización maya. La temperatura del planeta está aumentando y esto lleva a un cambio físico de difícil adaptación en un corto espacio de tiempo. La solución a este problema pasa por una revolución en la cultura dominante que lleve a un disfrute de lo que se tiene en vez de a un ansia (razonablemente pueblerina) de acumulación de objetos y experiencias. La supervivencia de la especie humana deriva, hoy, de otra consideración distinta de aquella de hace miles de años: En vez de necesitar seres humanos como mano de obra necesitamos los cerebros de esos seres humanos como creadores de ideas. En vez de una riqueza derivada de una energía inmediata, necesitamos energía sofisticada en formas cada vez más tecnológicas. La supervivencia de cada uno deriva ahora de la supervivencia del conjunto de la sociedad, de nuestra capacidad para frenar el cambio climático. Solo rechazando los memes culturales antiguos es esto posible. En un número dedicado a cultura y desarrollo como el presente de *Quorum* es importante señalar éstos puntos.

**Palabras clave:** Energía, cambio climático, cultura, supervivencia, ideas.

Este número de *Quórum* se ocupa de «Cultura y Desarrollo», y creo que el tema del que voy a tratar no puede estar más cerca de estos dos conceptos. En efecto, el cambio climático del que ya no tiene duda nadie sobre el planeta es consecuencia directa de la cultura

que domina actualmente al 100% de la población de la Tierra y del esfuerzo de desarrollo que están haciendo distintos pueblos por cambiar de vida y acceder, de nuevo de acuerdo con la cultura imperante, a otra basada en un consumo desatado de energía y en una vida alocada.

Cambios climáticos ha habido muchos a lo largo de la historia del planeta. En particular, en el último millón doscientos mil años podemos contar alrededor de 20, en los pasos de los intervalos glaciales a interglaciales de esta etapa geológica. Sin embargo estos cambios climáticos, y el resto de ellos (salvo los impactos de meteoritos) han tenido lugar en escalas de tiempo de unos 4000 años. El cambio actual es comparable en magnitud a los anteriores, pero está teniendo lugar en 200 años. La razón de este ritmo exagerado es que estamos acelerando el ritmo de intercambio de energía habitual en la Tierra, de, digamos unos 100 w/m<sup>2</sup>, a, al menos, 1000 w/m<sup>2</sup>, gracias a que estamos quemando en 200 años el carbono que tardó millones de años en formarse.

¿QUÉ ES EL CAMBIO CLIMÁTICO DEL QUE ESTAMOS HABLANDO?

La realidad del cambio climático está clara la vemos cada uno de nuestros días. Las fotos de nuestros abuelos nos los muestran enfundados en capas y más capas de lana. Nuestras montañas estaban, en los años 20, cubiertas de hielo, las hojas de los árboles se caían a primeros de octubre y hasta el 40 de Mayo no se quitaba uno el sayo.

El explorador noruego Fridtjof Nansen navegó en 1893 en un barco anclado en el hielo, arrastrado por las corrientes de este mismo hielo en el Ártico desde Siberia hacia Groenlandia. Aunque él se bajó del barco a mitad de camino para tratar de llegar al Polo Norte, sus compañeros alcanzaron Groenlandia en un viaje de 2 años. No vieron una gota de agua libre. Hoy se puede navegar en verano hasta el Polo Norte por agua sin hielo.

En España ya no quedan glaciares. En los Pirineos queda algo de hielo en las cumbres, pero muy poco y desapareciendo de año en año. Los glaciares de Alaska han retrocedido varios kilómetros a lo largo del siglo XX.

## ¿NECESITAMOS MÁS PRUEBAS DE UN CAMBIO CLIMÁTICO?

Hoy la concentración de CO<sub>2</sub> es de 370 ppm (partes por millón). A lo largo del último millón doscientos mil años la concentración de CO<sub>2</sub> nunca había superado las 280 ppm. La Tierra se mantiene a unos 15 °C porque hay CO<sub>2</sub> en la atmósfera, y oscila entre los 12 °C y los 25 °C de temperatura media siguiendo las variaciones de la concentración de este gas y la disposición geográfica de los continentes.

La acción del CO<sub>2</sub> es similar a la de una manta de lana: retiene durante un cierto tiempo el calor que emite la Tierra entre la superficie de ésta y la estratosfera, aumentando así la temperatura de la superficie del planeta. ¿Que ocurre si en una noche de verano nos ponemos una manta de lana? ¿Y si nos ponemos otra? Nos cocemos ¿no?

No hay teoría directa que nos pueda dar una respuesta exacta a la pregunta de cuanto sube la temperatura si se duplica o cuadruplica la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera. El proceso es enormemente complejo. La única forma de obtener indicaciones sobre las subidas posibles de temperatura es establecer escenarios distintos de emisión, que implican una distribución en el tiempo y en el espacio de las emisiones de CO<sub>2</sub> y del resto de los gases traza de la atmósfera. Estos escenarios de emisión se combinan con modelos matemáticos de radiación, de absorción de esta radiación, de circulación general de la atmósfera y del océano, de la interacción entre estos dos fluidos, de la interacción de estos dos fluidos con el hielo de los casquetes polares y con la biosfera (que cambia la reflectividad del suelo, es decir, su albedo), y algunos otros procesos adicionales.

Escenarios y modelos matemáticos nos ofrecen un rango de predicciones sobre las subidas posibles de temperatura de la superficie del planeta y de su distribución geográfica y en el tiempo. Para una subida de la concentración de CO<sub>2</sub> del 1% anual, hasta alcanzar las 550 ppm, los modelos predicen un aumento de 3 °C de la temperatura media global (TMG) del planeta, con un margen de variación de 1 °C. Para un aumento de la concentración de CO<sub>2</sub> de un 2% anual hasta alcanzar las 1120 ppm los modelos predicen una subida de la TMG de 6 °C con los mismos márgenes de variación.

Hace unos 17.000 años, probablemente al alcanzar el nivel del mar su punto más bajo y quedar al aire los depósitos de metano del talud continental, se inició el último calentamiento natural del ciclo glacial-interglacial. Este calentamiento, y la consiguiente subida de CO<sub>2</sub>, duraron unos 5.000 años, hasta alcanzar el óptimo climático reciente hace unos 12.000 años. Al fundirse el hielo de casquetes polares y montañas, se produjo un aumento del nivel del mar de unos 120 metros. Está documentado que el Mar Negro queda aislado del Mediterráneo en las etapas glaciales. Al subir el nivel del mar pasa éste a través del Bósforo en una inmensa catarata que es muy probablemente el fenómeno descrito en la leyenda del Diluvio Universal. Al mismo tiempo, el deshielo de las montañas de Irán y Turquía produjo una avalancha de barro fértil hacia Mesopotamia, de la misma manera que el deshielo del Himalaya produjo el mismo efecto en las cuencas de los ríos Indo y Ganges de la India y del Amarillo y Azul en al China. Abundancia de agua, temperaturas altas y barro fértil se combinaron con la capacidad de imaginación de la nueva especie aparecida en la Tierra unos 30.000 años antes para generar un desarrollo gigantesco de una agricultura incipiente en los comienzos de la deglaciación. Con la captura sistemática de energía solar mediante la fotosíntesis comenzó una explosión de la población desconocida antes para animales del tamaño humano. El aumento de la población siguió su curso hasta alcanzar el máximo posible con este tipo de energía: Unos 600 millones de individuos hasta la puesta en cultivo de las tierras americanas, cuando la población basada en la fotosíntesis pasó a su máximo natural de unos 800 millones de individuos.

La razón para ésto es sencilla de entender y relevante para la tesis aquí mantenida. La superficie cultivable en el planeta unida a la energía disponible por fotosíntesis no da para más seres humanos, y estos con una vida limitada a la supervivencia. Hoy somos unos 7.000 millones camino de los 10.000 millones. La razón de esto es la inyección gigantesca de energía en los cultivos. Esta energía es la que el planeta almacenó durante millones de años en forma de carbón y petróleo. Pero esta energía, que nos ha conducido a un paraíso en la Tierra, se obtiene a base de emisor CO<sub>2</sub> de forma acelerada ya que, como hemos visto, a partir de 1850 la cantidad de CO<sub>2</sub> en la atmósfera ha crecido de manera exponencial.

La razón es evidente: la puesta en marcha de un sistema de suministro de energía a cada ser humano derivado de la energía capturada hace unos 300 millones de años por la fotosíntesis y almacenada en el subsuelo en forma de carbón y petróleo, en un proceso de eficiencia total esencialmente nula. Al extraer estos dos vectores energéticos (denominamos vectores a aquellas sustancias que almacenan energía potencial para convertirla en su momento en energía cinética y trabajo) a un ritmo muy superior a de su acumulación, y quemarlos para la obtención de energía cinética, el ser humano está lanzando a la atmósfera una cantidad adicional de CO<sub>2</sub> que no puede absorberse a ese mismo ritmo por el sistema terrestre.

De hecho el aumento actual de CO<sub>2</sub> es de unas 6 gigatoneladas (o miles de millones)/año, lo que equivale a un incremento de unas 1.6 ppm/año, y acelerando. El mecanismo básico de absorción del CO<sub>2</sub> es la captura del mismo por el océano a través de la acción de las olas, y este mecanismo es bastante más lento que el ritmo de las emisiones humanas.

Para resolver el problema debemos considerar varios escenarios o hipótesis: La primera, que se baraja en todos los centros de decisión del mundo, es tratar de que la concentración de CO<sub>2</sub> no pase de las 550 ppm. Para esto las emisiones deben disminuir drásticamente a partir de 2040 hasta no superar las 2 gigatoneladas de CO<sub>2</sub> por año y seguir disminuyendo a lo largo del próximo siglo. Si se superasen esas 550 ppm las consecuencias serían, muy probablemente, desastrosas, en el sentido de que una vez superadas, los esquemas de realimentación positiva del sistema climático impedirían la vuelta atrás de la subida de temperatura.

Antes de seguir adelante con nuestro análisis debemos considerar la importancia de la subida de temperaturas sobre el esquema socio-económico de nuestra civilización actual.

Aunque se diga poco, o se ignore en los tratados socio-económicos, la situación actual se basa en un equilibrio esencialmente inestable de los agentes sociales. El sistema se basa en la confianza en el desarrollo futuro. Para entender ésto nos basta tomar el ejemplo de España. En la actualidad la deuda de las familias españolas es igual al producto interior bruto anual del país. Esto quiere decir que la

economía española se apoya en la idea de que a lo largo de los, digamos, próximos 20 años, el PIB va tener un superavit anual (generación sobre deuda) del 0.05, para poder pagar la deuda en el plazo de esos 20 años. Si por algún motivo esto no fuera así, la deuda revertería sobre las familias que se encontrarían en la imposibilidad de pagarla. El esquema de financiación está basado en la esperanza de que el futuro produzca más que el pasado, en vez de en el sistema de capital acumulado y puesto a producir.

Pues bien, España, y con ella el 90% de la población del planeta, solo es capaz de producir, sin energía añadida, los productos fotosintéticos. El resto de a producción y servicios deriva de la inyección constante de energía procedente de los yacimientos de petróleo y carbón. Hoy día es imposible convertir esta energía directamente en alimento. Para producir éste es necesaria la presencia de suelo fértil y de agua.

Un calentamiento del planeta tiene como consecuencia inmediata el desplazamiento de las zonas de precipitación, al mismo tiempo que un cambio substancial de las especies cultivables de acuerdo con los rangos de temperatura invierno/verano. El calentamiento presente eliminaría la lluvia de España, y con esto un colapso de nuestra civilización.

Los colapsos de civilizaciones no han sido nunca efecto directo de la causa climática. Es muy probable que una de las causas del colapso final de Roma fuese la disminución de las cosechas de su granero principal, el norte de África. Es conocido que una de las causas del colapso de la civilización maya en Yucatán fue un periodo muy extenso de sequía en esa península.

En efecto, durante cientos de años los mayas pusieron en cultivo tierras que dependían cada vez más de las lluvias en vez de depender como las primeras en cultivarse, de esquemas estables de irrigación. Esto permitió un crecimiento de la población por encima de lo que podían proporcionar estanques y canales de riego. Una sequía prolongada a lo largo de 70 años mantuvo en regadío los valles pero produjo el colapso del cultivo en tierras más altas. Los habitantes de estas tierras avanzaron sobre los valles. Los conflictos sociales derivados de guerras e invasiones más o menos pacíficas acabaron con un esquema, que como todos los esquemas sociales, es metastable.

El cambio climático, si no lo impedimos, producirá disrupciones similares a las de la civilización maya, pero a una escala global, derivadas de cambios ambientales en escalas más rápidas de lo que los seres humanos son capaces de adaptarse.

La única posibilidad es reducir drásticamente las emisiones de  $\text{CO}_2$  a la atmósfera, y para ésto eliminar la combustión de carbono como fuente de energía. La energía es, sin embargo, imprescindible para nuestra vida, y un suministro de energía del orden de 32.500kwh/persona.año es lo que se precisa para una vida de lujo similar a la española actual. ¿Tenemos posibilidad de utilizar otra energía distinta del carbono fósil?

Sobre cada metro cuadrado de superficie del planeta caen, durante las 6 horas centrales del día y en las bandas latitudinales comprendidas ente los 50 °S y los 50 °N unos 800w. La superficie de esta región es de unos 200 millones de  $\text{km}^2$ . De estos unos 2/5 son suelo emergido, es decir unos 80 millones de  $\text{km}^2$ . El rendimiento actual de las celdas fotovoltaicas es superior al 10%. Asumamos un 10% de manera conservadora. Es decir, podemos obtener 80 w/ $\text{m}^2$  y 80 millones de watios u 80.000 kw por kilómetro cuadrado de ese suelo. Si asumimos 6 horas de funcionamiento (3 antes y tres después del mediodía solar) diarias y 365 días al año, obtenemos 175 millones de kwh por kilómetro cuadrado de suelo. Puesto que tenemos 40 millones de  $\text{km}^2$ , podemos obtener  $7 \times 10^{13}$  kwh de energía. Al ritmo de consumo de un español actual eso es energía para 215000 millones de personas. Puesto que no es razonable pensar en más de 10000 millones de personas en el planeta, necesitaríamos pues un 5% de esa energía, es decir, un 5% de 40 millones de  $\text{km}^2$  o 2 millones de  $\text{km}^2$ , es decir, 4 veces la superficie de España. Esto para una población de 10.000 millones de personas viviendo con un consumo energético anual similar al español.

Tenemos pues recursos más que suficientes para las necesidades energéticas mundiales sin necesidad de quemar carbono fósil. Esta energía que llega del sol puede capturarse de múltiples maneras: Vía energía fotosintética, vía energía térmica y su derivada la eólica y vía electricidad producida por celdas fotovoltaicas y convertida en hidrógeno como vector de almacenamiento.

¿Podemos hacerlo? Veamos el caso de España. España tiene instalada en la actualidad una potencia eléctrica de unos 50 gigawattios. El coste actual de 1Gw de celdas fotovoltaicas es de 6.000 millones de euros, el equivalente al presupuesto de autovías de tres años del gobierno del estado español. Si se destinase solo la mitad de ese presupuesto a las celdas podríamos disponer de 1 Gw de potencia fotovoltaica cada 6 años. Puesto que una inversión de tal magnitud abarataría substancialmente los costes de fabricación de celdas, y éstas están aumentando substancialmente su rendimiento, es razonable suponer que una inversión modesta podría proporcionar 10 Gw fotovoltaicos en 20 años. Simultáneamente, los desarrollos en el resto de las energías sustentables que he citado anteriormente nos producen la convicción de que con un ligero cambio de énfasis en el desarrollo industrial, es posible substituir la generación de energía eléctrica por actual por un esquema sustentable en un plazo de 20 años.

Hacerlo así implica cambiar solo las direcciones del desarrollo, y de ninguna manera el sentido, el signo del mismo. No solo esto: El invertir en el desarrollo de tecnologías completamente nuevas es equivalente a relanzar la economía en una dirección productiva, con generación de empleos de calidad mantenibles en el tiempo.

¿Podemos hacer esto? Estoy seguro de que podemos, y no solo eso, estoy seguro de que debemos hacerlo. Aunque en España en la actualidad existen un cierto número de empresas que desarrollan alta tecnología, ese número es pequeño en volumen de negocio frente a empresas cuya tecnología más avanzada se limita a poner un ladrillo encima de otro.

Cuando España recibía una cantidad gigantesca de plata desde el continente americano, ese dinero se invirtió esencialmente en actividades no productivas: Guerras y bienes raíces. El resultado fue que el momento que que las minas dejaron de producir, la economía española se hundió en la miseria, a pesar de mantener, en medio de esa miseria y por espacio de 200 años, las colonias americanas. Invertir en ladrillos no genera el desarrollo necesario para mantener de manera constante la economía de un país. Las ideas que de la riqueza flotan en la actualidad en el ambiente español, incluidos diversos ministros de hacienda que son y han sido, no se basan en la actividad intelectual, la única que verdaderamente produ-

ce una riqueza que se mantiene, al ir cambiando las ideas, en el tiempo.

Combatir el cambio climático es necesario, y al mismo tiempo es inmensamente útil para lanzar a países concretos y a la humanidad en su conjunto en una dirección de un desarrollo real. Es nuestro deber y será nuestro placer hacerlo.

Como hemos visto, el cambio climático deriva de la quema salvaje de carbón y petróleo por la sociedad humana. Como el resto de los animales los seres humanos necesitamos energía para vivir, y al encontrar estos dos combustibles hemos avanzado alocadamente por un camino casi sin retorno. Al disponer de una energía que encontramos sin esfuerzo, hemos dado vía libre al crecimiento de población y a una destrucción acelerada del medio ambiente que necesitamos para vivir. Al encontrar esa energía deberíamos habernos restringido en su uso, pero la cultura dominante nos forzaba a utilizarla.

¿De qué deriva una cultura? Richard Dawkins ha acuñado el término «mem» como equivalente social del gen biológico. La elección de una serie de alternativas va generando una vía social de avance. Durante una larga etapa humana en la que no había otra energía que la derivada directamente de la fotosíntesis, o indirectamente del metabolismo de la vegetación fotosintética, la posibilidad de extraer energía útil derivaba del número de animales y de personas. Las personas funcionaban como herramienta de trabajo y como soldados para el robo sistemático. En ambos casos era útil y se hizo culturalmente valioso el crecimiento de la población, y se desarrolló un mem que se llegó a codificar en uno de los libros, que una parte de los habitantes del planeta considera sagrado, mediante un mandato de obligado cumplimiento pues se aceptaba como exógeno al sistema social: «Creced, multiplicaos y llenad la Tierra». Este mem cultural ha generado, al existir una disponibilidad creciente de energía, una superpoblación totalmente innecesaria.

Al mismo tiempo, se desarrolló otro mem cultural: el ansia de posesión por encima de las necesidades básicas: Puesto que para garantizar la supervivencia individual y familiar se hacía necesario disponer de otras personas como herramientas, la posesión de esa y otras

riquezas equivalentes se convirtió en un mem cultural adicional. De nuevo la disponibilidad de energía ha llevado al desarrollo de una idea de consumo y de aceleración del ritmo vital totalmente innecesaria pero que se mantiene y propaga a la población mundial. Para satisfacer estos dos memes culturales se busca la energía más sencilla y rápida, pero la más contaminante, en vez de dedicar esfuerzos en dos direcciones: La reducción de la población y el uso de otras energías no contaminantes.

La supervivencia deriva, hoy, de otra consideración distinta de aquella de hace miles de años: En vez de necesitar seres humanos como mano de obra necesitamos los cerebros de esos seres humanos como creadores de ideas. En vez de una riqueza derivada de una energía inmediata, necesitamos energía sofisticada en formas cada vez más tecnológicas. La supervivencia de cada uno deriva ahora de la supervivencia del conjunto de la sociedad, de nuestra capacidad para frenar el cambio climático. Solo rechazando los memes culturales antiguos que acabo de analizar es esto posible. En un número dedicado a cultura y desarrollo como el presente de Quorum ha sido importante señalar éstos puntos.