

06/2011

8 de junio de 2011

Gonzalo Sirvent Zaragoza

EL CAMBIO CLIMÁTICO. SITUACIÓN
ACTUAL Y PERSPECTIVA
ECONÓMICA DEL PROBLEMA

EL CAMBIO CLIMÁTICO. SITUACIÓN ACTUAL Y PERSPECTIVA ECONÓMICA DEL PROBLEMA

Resumen:

La influencia creciente del hombre sobre la Biosfera es una realidad. Con la Revolución industrial comenzó una nueva época geológica –el Antropoceno- en la que se están gestando cambios muy profundos, en particular en los mecanismos que regulan el clima. El cambio climático se empezó a manifestar hace escasas décadas y desde el cuarto informe del IPCC solamente tiene explicación mediante modelos que tienen en cuenta la emisión de CO₂ a la atmósfera por el hombre. La concentración de este gas es hoy muy superior a su intervalo natural desde hace 650.000 años y aumenta rápidamente. Las consecuencias pueden ser muy graves. La ciencia económica proporciona conceptos y teorías muy valiosas para explicar los orígenes del problema –un consumo desenfrenado de recursos y un mal funcionamiento del mercado-, para cuantificar los daños y para combatirlo: imponer un “coste social” a las emisiones de CO₂, establecer un mecanismo de “comercio de emisiones” y ayudando al diseño de políticas económicas apropiadas. Todo ello debe hacerse con un enfoque “sistémico” del problema, para lo que debería aprobarse urgentemente un Acuerdo “Kioto II”, de carácter vinculante.

Palabras clave:

Antropoceno, efecto invernadero, Protocolo de Kioto, Panel Intergubernamental de expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), curva de Keeling, nivel anual de emisiones, nivel de concentración en partes por millón, CO₂ equivalente, realimentaciones, capacidad de absorción, subida de las temperaturas, impactos, crecimiento exponencial, coste del carbono, comercio de emisiones, nuevas tecnologías, medidas de mitigación.

Summary:

The growing influence of the human kind on the Biosphere is a reality. A new geological period started with the Industrial Revolution –the Anthropocene-. This period is producing very deep changes in the environment, particularly in the mechanisms that regulate the climate. The climatic change begun to be appreciated a few decades ago, but after the Fourth Evaluation Report from the IPCC it has been explained through models that incorporate the human emissions of CO₂ to the atmosphere. The concentration level of this gas is today very much higher than it has been during the last 650.000 years and it is rising very fast. So, the consequences can be very worrying. The Economic Science provide concepts and theories very useful to understand the last reasons of the problem – uncontrolled consumption of resources and a market that does not work properly-, to evaluate the damages and to face the problem: establishing a “social tax” for the carbon dioxide emissions, setting up a mechanism of “cap and trade” and helping to design adequate economic policies. These policies must be done using a systemic approach to the problem and approving urgently a new and compulsory “Kyoto II” Agreement.

Key words:

Anthropocene, green house effect, Kyoto Protocol, Intergovernmental Panel of experts on Climate Change (IPCC), Keeling curve, annual CO₂ emissions, concentration level in parts per million, CO₂ equivalent, feedback, absorption capacity, temperature rising, impacts, exponential growth, carbon cost, “cap and trade”, new technologies, mitigation measures.

1. INTRODUCCIÓN

El clima de la Tierra puede sufrir alteraciones si se dan determinadas circunstancias. Estas alteraciones pueden ser bruscas y pueden verse sometidas a procesos de realimentación que alargan su duración y las hacen más profundas. Una de las causas principales la constituyen los llamados Ciclos de Milankovitch, descubiertos en la década de 1920 por el astrónomo yugoslavo Milutin Milankovitch. Estos ciclos son consecuencia de las variaciones periódicas en la inclinación del eje de rotación de la Tierra, su movimiento de precesión y la excentricidad de la órbita terrestre y se repiten con diferentes periodos que llegan hasta los 100.000 años. Milankovitch demostró que podían llegar a alterar la temperatura del planeta en 5°C y que han sido la causa principal de las glaciaciones, uno de los principales exponentes de los cambios naturales que afectan al clima terrestre. Otras causas destacadas del cambio climático al que la Tierra se ha ido enfrentando en su evolución son los ciclos de actividad solar, el impacto de grandes meteoritos o las erupciones volcánicas de gran entidad.

En particular, la última glaciación alcanzó su máximo hace aproximadamente 30.000 años, tuvo lugar simultáneamente en los dos hemisferios y los hielos llegaron a cubrir un tercio de las tierras emergidas¹. La capa de hielo empezó a disminuir hace unos 20.000 años. Posteriormente, tras un periodo de gran inestabilidad climática, hace 8.000 años se inició una época de temperaturas más cálidas y más estable, una especie de largo verano. Fue esta época precisamente la que permitió a la humanidad una vida más sedentaria y el florecimiento de las grandes culturas. Esta etapa geológica dura hasta nuestros días y se conoce como el “Holoceno”.

Pero hace poco más de 200 años –un instante con perspectiva geológica- entró en juego un nuevo factor con potencial para provocar un nuevo cambio climático: el hombre. En efecto, con la Revolución Industrial comienza un vertiginoso proceso de crecimiento económico, pero también de influencia humana en el medio ambiente, capaz de alterar el equilibrio de los grandes subsistemas que interactúan para formar el sistema climático terrestre, en particular el equilibrio en la composición de la atmósfera. De hecho, para muchos científicos hacia el año 1800 d.C. comienza una nueva época geológica: el “Antropoceno” o era de la Humanidad².

Hoy en día se conoce con gran exactitud la concentración de los llamados gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera y su evolución a lo largo del tiempo. Los GEI se emiten principalmente como consecuencia de la quema de combustibles fósiles en los sectores energético, industrial, del transporte, tala de bosques y otros. También se sabe que el principal causante de este efecto es el dióxido de carbono y la forma en que actúa. De hecho, existen modelos matemáticos muy precisos que reproducen el funcionamiento de la atmósfera y permiten cuantificar el efecto de las emisiones de CO₂ en la temperatura de la

¹ En Europa el hielo cubrió la mayor parte de Gran Bretaña, así como el norte de Alemania y Polonia.

² Aunque para algunos científicos la influencia del hombre comenzó hace 8.000 años con la agricultura, lo cierto es que la Revolución Industrial marca un antes y un después indiscutible en el grado de influencia del hombre sobre la Biosfera.

Tierra y en todo el ecosistema.

A continuación se expondrá, desde una perspectiva económica, cómo la humanidad ha ido tomando conciencia del problema que representa el cambio climático antropogénico – consecuencia del hombre-, qué cambios se están produciendo en el clima, qué se está haciendo para frenar el proceso y qué más se puede hacer para mitigar sus preocupantes efectos.

2. PRIMERAS VOCES DE ALARMA

Los economistas llevan muchos años preocupándose por el vertiginoso ritmo de crecimiento que siguen la producción industrial, el consumo de recursos básicos y la generación de residuos desde la Revolución Industrial³, y que ha ido extendiéndose desde un pequeño grupo de países hasta la práctica totalidad del planeta. Desde los inicios de esta revolución los economistas percibieron que había unos “costes sociales” y los libros de economía siempre han alertado de las “des-economías externas”⁴. Uno de los economistas modernos de mayor prestigio que ha abordado este problema es el premio Nobel Paul Samuelson, recientemente fallecido.

Samuelson defendió hace más de cuarenta años el concepto de Bienestar Social Neto, en el que se descontaba del PNB el deterioro del medio ambiente⁵. También potenció el término fuertemente descriptivo “Navío Espacial Tierra” (inicialmente acuñado por Kenneth Boulding), y llegó incluso a afirmar que la contaminación del aire podría cambiar el clima en un futuro. Otro gran economista, Jan Tinbergen, también premio Nobel, se interesó en la misma época por los problemas del crecimiento económico, defendiendo una mayor atención a las fuentes de energía limpias como la de origen solar, la eólica o la mareomotriz. Incluso algunos se refirieron ya en aquellos años al problema que representaba la generación de CO₂ y el “efecto estufa” que provocaba, como Robert Heilbroner.

Pero fue en marzo de 1972 cuando el Club de Roma publicó el famoso “informe Meadows” sobre “Los límites del crecimiento”. Este estudio se llevó a cabo en el MIT (*Massachusetts Institute of Technology*) bajo la dirección de Dennis L. Meadows y se basó en la “dinámica de sistemas” mediante la simulación por ordenador de un complejo modelo que predecía un colapso del crecimiento acompañado de graves consecuencias, que tendría lugar antes de

³ Aunque algunos economistas plantearon el problema desde un primer momento, Malthus (1766-1834) probablemente sea el más conocido con sus famosas profecías sobre el crecimiento de la población y los alimentos, el problema de los límites del crecimiento se empieza a considerar como un asunto grave y relativamente próximo en el tiempo, en la segunda mitad del siglo XX.

⁴ Hay múltiples ejemplos. Alguno de ellos podrían ser “*Introducción a la Economía Positiva*” (Richard G. Lipsey, 1963; Barcelona, Vicens-Vives, pags.486 y 487) cuando distingue entre el coste privado de una empresa y el “coste social” que genera o el “*Curso de Economía Moderna*” de Paul Samuelson, Madrid, Aguilar 1975, pags. 893/895, cuando se refiere a las “des-economías externas”.

⁵ La obra de Paul Samuelson “*Economics*”, con un total de 18 ediciones y traducido a más de 40 lenguas, ha sido probablemente el libro de texto moderno de mayor utilización en las facultades de ciencias económicas de todo el mundo.

cien años.

Este informe, aunque muy criticado, alcanzó rápida difusión mundial⁶ y acaparó una gran atención en los círculos académicos. Veinte años después, el Club de Roma publicó un nuevo informe titulado “Más allá de los límites del crecimiento”⁷ en el que trató de corregir aquellos defectos que habían sido criticados con mayor rigor. Las principales conclusiones de este informe fueron tan preocupantes como las anteriores y los autores volvían a plantear la necesidad de frenar el ritmo de crecimiento de la población, del consumo de recursos no renovables y de la contaminación.

3. DE MONTREAL A KIOTO. CARA Y CRUZ DE UNA RESPUESTA GLOBAL.

El Protocolo de Montreal

A principios de los setenta, los científicos descubren que estaba disminuyendo de forma alarmante la capa de ozono, y con ello un gran factor protector de la radiación solar ultravioleta. El proceso de deterioro era además muy rápido y se temía una gran incidencia en el número de cánceres de piel, además de otros efectos perjudiciales. Al mismo tiempo se descubre el principal responsable de este proceso: el cloro de los clorofluorocarbonos (CFCs)⁸, compuestos químicos de gran utilización en los equipos y sistemas de refrigeración en todo el mundo. En 1975 se estaban vertiendo 500.000 toneladas anuales de estos productos a la atmósfera, cuando los científicos calculaban que un solo átomo de cloro podía descomponer 100.000 moléculas de ozono⁹.

El problema era muy serio. Por tanto, y a pesar de algunas opiniones de incredulidad o interesadamente en contra, el mundo fue tomando conciencia del problema al comprobarse que aumentaban los casos de cáncer de piel y que el deterioro de la capa de ozono era una realidad. Finalmente, en 1987 se reunieron representantes de más de cien países en Montreal y firmaron el Protocolo que lleva su nombre, por el que se comprometían a fijar límites anuales en la fabricación y utilización de los CFCs y otros productos hasta su eliminación, hoy en día prácticamente conseguida, tras varias revisiones del Acuerdo y un escrupuloso cumplimiento por parte de los firmantes.

El Protocolo de Montreal ha sido un acuerdo modélico de cooperación internacional. Gracias a él se ha detenido un proceso muy serio de alteración del equilibrio de la atmósfera y actualmente se espera que para mediados de siglo la capa de ozono se haya recuperado en su totalidad¹⁰. El problema se detectó a tiempo y se supo reaccionar a tiempo. Esta es la cara de la moneda de la cooperación internacional. Sin embargo, no ha sucedido lo mismo, de

⁶ Se vendieron nueve millones de ejemplares de este informe, traducido a 29 idiomas.

⁷ “MEADOWS Donella, *“Más allá de los límites del crecimiento”*, Madrid, Ed.El País, Aguilar, 1992

⁸ El Bromo de los halones también tenía un gran impacto agresor contra la capa de ozono, razón por la que también fue incluido en los planes del Protocolo de Montreal. Por su parte, los hidrofluorocarbonos (HFCs) tienen una influencia 20 veces menor que los CFCs.

⁹ FLANNERY Tim, *El clima está en nuestras manos*, Madrid, Taurus, 2007,202.

¹⁰ Este retraso es inevitable al ser la vida de los CFCs de varias décadas.

momento al menos, con el problema del calentamiento global de la Tierra, a pesar de que los tiempos de permanencia del CO₂ en la atmósfera son muy superiores¹¹.

El Protocolo de Kioto

Con el problema del ozono, el proceso de preocupación por nuestras emisiones a la atmósfera y su influencia en el ecosistema había alcanzado un nivel muy alto. De repente, puede decirse que el mundo se dio cuenta de que se enfrentaba a un problema global de agresión al medio ambiente, en particular a la atmósfera, de consecuencias imprevisibles y que afectaban a todos.

Tras varios hitos –creación del IPCC¹², Conferencia de Río de Janeiro¹³–, el 10 de diciembre de 1997 más de ciento sesenta estados alcanzaron el Acuerdo conocido como Protocolo de Kioto, que no ha sido ratificado por todos ellos (la ausencia más destacada es la de Estados Unidos, en aquel momento primer emisor mundial de CO₂), por el que los países industrializados se comprometían a reducir las emisiones globales de dióxido de carbono y otros cinco GEI alrededor de un 5% sobre los niveles de 1990 antes de 2012¹⁴. Así mismo, se establecían las bases para llevar a cabo un comercio mundial de emisiones, herramienta económica imprescindible para detener su crecimiento, a la que luego me referiré. Este Protocolo tiene carácter vinculante, si bien no entró en vigor hasta febrero de 2005, una vez ratificado por un número de países que acumulase el 55% de las emisiones globales y expira en 2012.

El grado de cumplimiento por parte de los países que lo firmaron es variable. El mayor esfuerzo ha sido el de la Unión Europea, que para 2012 habrá reducido sus emisiones un 14,2%, frente al 8% al que se había comprometido. Lo peor es que algunos países en fuerte proceso de desarrollo quedaron excluidos, como China y La India. En particular, es una gran paradoja la situación de China, hoy en día el principal emisor mundial de CO₂. Ello, unido a la ausencia de EE.UU. y al bajo grado de cumplimiento de muchos de los países firmantes ha supuesto que hoy en día el nivel mundial de emisiones sea más de un 40% superior al de 1990, con el agravante de que el deterioro del clima está siendo más rápido de lo que se

¹¹ La razón principal de este fracaso reside en que los combustibles fósiles constituyen la pieza fundamental del actual modelo energético, en el que todos –empresas y ciudadanos– necesitamos emitir CO₂ y en que nadie quiere asumir los elevados costes necesarios para reducir la contaminación.

¹² En 1988 la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) constituyeron el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), con la misión de evaluar la mejor información científica, técnica y socioeconómica disponible sobre el cambio climático en todo el mundo. Desde entonces ha emitido cuatro informes de gran interés. Actualmente se están iniciando los trabajos del Quinto Informe.

¹³ Esta Conferencia, conocida como Cumbre de la Tierra, tuvo lugar en 1992 y marcó un antes y un después en la preocupación mundial sobre el ecosistema Tierra. En ella se adoptaron importantes acuerdos, en particular el establecimiento de un Convenio Marco sobre el Cambio Climático (UNFCCC) con el objetivo de “estabilizar la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera, a fin de evitar interferencias antropogénicas peligrosas en el sistema climático”.

¹⁴ Estos gases son el dióxido de carbono, el óxido nitroso, el metano y determinados fluoruros. El acuerdo adoptado fue reducir sus emisiones en un 5,2% a nivel mundial con respecto a los niveles de 1990. En particular, la Unión Europea debía reducir sus emisiones un 8% y EE.UU un 7%.

esperaba.

4. PANEL INTERGUBERNAMENTAL DE EXPERTOS EN EL CAMBIO CLIMÁTICO (IPCC). CUARTO INFORME DE EVALUACIÓN

Exposición

En 2007 el Panel Intergubernamental de expertos en el Cambio Climático (IPCC) publicó su Cuarto Informe de Evaluación, el más completo y alarmante de todos hasta ahora, elaborado por dos mil quinientos expertos de alrededor de cien países. Fue impulsado y coordinado por su Presidente, Dr. Rajendra K. Pachauri. Como consecuencia de este informe, el Dr. Pachauri fue galardonado con el Premio Nobel de la Paz en diciembre de dicho año.

Las conclusiones más destacadas del Informe¹⁵ pueden resumirse de la siguiente forma:

1. El calentamiento del sistema climático es inequívoco, como evidencian los aumentos observados del promedio mundial de las temperaturas¹⁶ del aire y del océano, el deshielo generalizado y el aumento mundial del nivel del mar.
2. En promedio, las temperaturas del Hemisferio Norte durante la segunda mitad del siglo XX fueron *muy probablemente*¹⁷ superiores a las de cualquier otro período de 50 años de los últimos 500 años y *probablemente* las más altas a lo largo de, como mínimo, los últimos 1300 años.
3. Las concentraciones atmosféricas de CO₂ (379 ppm) y CH₄ (1774 ppmm) en 2005 exceden con mucho el intervalo natural de valores de los últimos 650.000 años¹⁸.
4. La mayor parte del aumento promedio de la temperatura observada en la segunda mitad del siglo XX se debe, *muy probablemente*, al aumento de los gases de efecto invernadero de origen antropogénico (fruto de la actividad del hombre). El CO₂ es el gas que produce un mayor efecto y su aumento es consecuencia principalmente de la utilización de combustibles de origen fósil.
5. Las observaciones evidencian un aumento de la actividad ciclónica tropical intensa en el Atlántico Norte desde aproximadamente 1970.

¹⁵ Para mayor información se puede consultar el documento “Cambio Climático 2007. Informe de síntesis”, del IPCC, disponible en www.ipcc.ch o también los informes elaborados por los tres grupos de trabajo que se constituyeron.

¹⁶ El Cuarto Informe de Evaluación utilizó innumerables datos registrados en sus estudios y obtuvo múltiples conclusiones de interés. Una de las más simples e impactantes fue que de los doce últimos años (1995-2006), once figuraban entre los doce años más cálidos registrados instrumentalmente en los últimos 150 años.

¹⁷ Cuando en el informe se emplea la expresión “extremadamente probable” se reconoce una probabilidad superior al 95%. Si la expresión es “muy probablemente” se indica una probabilidad superior al 90%. Finalmente, la expresión “probablemente” equivale a una probabilidad mayor del 66%.

¹⁸ La composición que ha ido teniendo la atmósfera desde hace muchos milenios se conoce con gran precisión a partir del análisis de las burbujas de aire contenidas en las muestras de hielo extraídas de las capas que recubren Groenlandia y La Antártida. Estas capas tienen 1 km. de espesor en el primer caso y un espesor promedio de 2,5 km. en el segundo (que alcanza cerca de 5 km. en algunos lugares).

6. El promedio anual de la extensión de los hielos marinos árticos ha disminuido en un 2,7% por decenio, con disminuciones estivales aún más acentuadas, de un 7,4% por decenio.
7. Dado el tiempo de vida en la atmósfera de los gases de efecto invernadero, la subida de la temperatura media de la Tierra a finales de siglo con relación al periodo preindustrial estará comprendida entre 1,8°C y 4°C (valores promedio más probables), dependiendo de la entidad de las medidas de control de emisiones que se adopten¹⁹.
8. *Muy probablemente* aumentará la frecuencia de los valores extremos cálidos, de las olas de calor y de las precipitaciones intensas.
9. *Muy probablemente* aumentarán las precipitaciones en latitudes altas, y *probablemente* disminuirán en la mayoría de las latitudes medias y bajas.
10. Con un *grado de confianza alto*, numerosas áreas semiáridas (entre ellas la Cuenca Mediterránea) experimentarán una disminución de sus recursos hídricos.
11. Es *probable* un desplazamiento hacia los polos de las trayectorias de las tempestades extra-tropicales, con los consiguientes cambios de las pautas de viento, precipitación y temperatura.
12. La subida del nivel del mar a finales de siglo estará comprendida entre 19 cm. y 58 cm, dependiendo del escenario de emisiones de gases de efecto invernadero que siga la actividad humana.

Estas conclusiones son muy claras. Las he agrupado de forma que las seis primeras son hechos constatados. Tras su lectura resulta evidente que el cambio climático ya está aquí. Por su parte, las seis conclusiones restantes constituyen predicciones fundadas acerca de lo que va a suceder en los próximos años.

Con relación a estas predicciones, el Cuarto Informe de Evaluación determina también una serie de “impactos” sobre los ecosistemas, la industria, las ciudades, la salud, el agua y la producción de alimentos, unas veces con carácter general y otras veces referidos a determinadas zonas o regiones geográficas. Entre los de carácter general son de destacar los siguientes impactos:

- a) Olas de calor
Empobrecimiento de cosechas por estrés térmico, mayor peligro de incendios, aumento de la demanda de agua, incremento de la mortalidad por causas térmicas.²⁰
- b) Variación en el régimen de Precipitaciones

¹⁹ Este Informe analiza seis escenarios de desarrollo económico, demográfico y tecnológico y, como consecuencia de ellos, el número de gigatoneladas de “CO2 equivalente” (con ellas se expresa el efecto conjunto de todos los GEI emitidos) que se expulsarían a la atmósfera anualmente. En el peor de esos escenarios, a finales de siglo la temperatura podría subir hasta 6,4°C.

²⁰ Recuérdese la fuerte ola de calor que se vivió en Europa en 2003 y que produjo en torno a 30.000 muertos, ancianos en su mayoría.

Gonzalo Sirvent Zaragoza

Daños a cultivos, erosión de los suelos y crecida de los ríos en latitudes altas. Degradación de la tierra, deterioro y pérdida de cultivos, escasez de agua y alimentos en latitudes más bajas.

- c) Aumento de la intensidad ciclónica
Daños a cultivos, arbolado e infraestructura, cortes de corriente eléctrica, inundaciones, migraciones.
- d) Subida del nivel del mar
Salinización de estuarios y sistemas de agua dulce, costo de la necesaria protección costera, migraciones.

Estos impactos se reflejarán con mayor crudeza en algunos continentes y regiones geográficas, pero afectarán a una mayoría de países. En el informe del IPCC se puede ver más detallado el efecto previsto en diferentes zonas de la Tierra. En este sentido, las peores consecuencias se darán en África, aunque ningún continente se librará de los efectos del cambio. En este continente se prevé que en pocos años entre 75 y 250 millones de personas estén expuestas a un mayor estrés hídrico, un descenso de la productividad de los cultivos de hasta un 50% en algunos países y un coste de adaptación a la subida del nivel del mar a finales de siglo comprendido entre un 5% y un 10% del PIB. En cualquier caso, el grado de intensidad de estos impactos dependerá de las medidas de control de emisiones de CO₂ que adoptemos.

Comentarios sobre el Informe

En aras de la objetividad, habría que decir que el Cambio Climático también tendrá algunos impactos positivos, en particular en los países o regiones situados en latitudes más altas, tales como Canadá o Rusia, donde se obtendrá un mayor rendimiento agrícola y otros beneficios derivados de un clima más benigno para ellos. La apertura de la ruta del Ártico a la navegación será otro de los pocos beneficios previsibles. Sin embargo, en términos generales, los perjuicios del cambio serán importantes para toda la Biosfera, llegando a ser muy graves en algunos casos, como se ha visto. Además existe el peligro de que el cambio se acelere hasta que el sistema que regula el clima alcance un nuevo punto de equilibrio. De hecho, la comunidad científica aconseja no superar una subida máxima de las temperaturas de 2°C a finales de este siglo, lo que coincide aproximadamente con los escenarios más exigentes de reducción de emisiones contemplados por el IPCC.

En lo que respecta a los efectos *generales* más perjudiciales del cambio climático en curso, además de los impactos anteriormente citados, son de destacar la subida del nivel del mar, una mayor inestabilidad atmosférica, importantes y múltiples problemas de Seguridad de ámbito mundial²¹ y la existencia de procesos naturales de realimentación positiva que actúan sobre el calentamiento y que llevan implícita la posibilidad de una aceleración del

²¹ Ver Cuaderno de Estrategia núm. 150 del IEEE. *Seguridad, Modelo Energético y Cambio Climático*, Madrid, IEEE, 2011.

mismo. Posteriormente me referiré a este último fenómeno.

Así mismo, existe otro efecto que, si bien no afectará a todo el planeta, sí se manifestará en muchas regiones: la desertificación de terrenos. Este problema, según el IPCC afectará a mediados de siglo a las dos terceras partes de los países del mundo. En particular, las tierras cultivables descenderán en dos tercios en África y en un tercio en Asia. Por su parte, España, el país más árido de Europa, tiene un 67% de su territorio amenazado por este problema²². Además puede producirse, de nuevo, una realimentación positiva, esta vez entre los terrenos sin protección vegetal y las lluvias torrenciales, típicas en el área Mediterránea, que a su vez incrementarán aún más el ritmo de erosión del suelo.

La subida del nivel del mar

La comunidad científica considera importante la subida del nivel del mar que se producirá a lo largo de este siglo. Hasta hace poco se pensaba que a finales de siglo estaría comprendida entre 19 cm. y 58 cm., dependiendo del escenario de emisiones, de acuerdo con el Cuarto informe del IPCC. Ocurre, sin embargo, que el deshielo se está acelerando según alertan las últimas observaciones por satélite. Existen, de hecho, informes elaborados para la Cumbre de Copenhague de 2009, que prevén una subida generalizada del nivel del mar entre 0,5m y 1 m²³ para el año 2100 como consecuencia de un ritmo más acelerado del previsto hasta ahora en la disminución del hielo de los glaciares y de las gigantescas masas de hielo que cubren Groenlandia y La Antártida²⁴. Así pues, parece que se producirá una subida más importante de lo que se pensaba. Este aumento de nivel es, en gran medida, inevitable, dada la lentitud con que reacciona el clima frente a posibles medidas correctoras.

Una subida del nivel del mar comprendida entre 0,5 m y 1 m. constituiría un serio problema para algunas zonas costeras, como en Bangladesh²⁵, Vietnam o Egipto, donde el mar penetraría de forma importante en la costa y también se notaría de forma importante en algunos países europeos (Países Bajos, Reino Unido, Dinamarca y norte de Alemania). Además afectaría a muchas grandes ciudades, en particular a Londres, Nueva York, Tokio, El Cairo, Bangkok o Shanghái, así como a muchas islas del Caribe y Pacífico. Por su parte, al estar la población mundial muy concentrada en las zonas costeras²⁶, una subida de 1 m. llegaría a afectar a un 10% de la población mundial y solamente en EE.UU. tendría efectos sobre 180 ciudades costeras y 40 millones de personas. Naturalmente los daños producidos por los temporales –más frecuentes e intensos según el IPCC- serían también mayores.

²² DUARTE Carlos. *Cambio Global. Impacto de la actividad humana sobre el sistema Tierra*. Madrid, CSIC, 2009,72

²³ Puede verse el informe elaborado por 26 científicos al respecto en www.conpenhagendiagnosis.com

²⁴ Si estas masas de hielo se fundieran en su totalidad, el nivel del mar se elevaría más de 6 m. como consecuencia de la capa de Groenlandia y en torno a otros 60 m. como consecuencia de la capa de La Antártida. No obstante, para ello los científicos consideran que se requeriría un período de varios siglos.

²⁵ Según el informe STERN, elaborado en 2007 para el gobierno británico, más del 20% de Bangladesh podría quedar sumergido de producirse un aumento de 1 m. en el nivel del mar.

²⁶ Más del 50% de la población mundial vive en la costa o a menos de cien kilómetros del litoral.

5. CUMBRES DE COPENHAGUE Y CANCUN

Situación Actual

Hoy en día el problema de las emisiones de GEI se ha agravado con la industrialización rapidísima de China, seguida de cerca por otros países²⁷ y exenta de los objetivos de emisiones de Kioto, como ya se ha dicho. Actualmente este país es el mayor emisor mundial (21%), seguido de EE.UU. (20%) –que no ratificó el Tratado–, la Unión Europea (13%) y los BRICS (otro 12%, excluida China). Por tanto, entre los siete países/entes políticos citados provocan el 66% de las emisiones mundiales²⁸. Estos países, en particular China y EE.UU., son los que tendrían que enfrentarse con mayor decisión al problema y, en opinión de Manuel Marín, liderar las imprescindibles y urgentes negociaciones internacionales al respecto.

Esta nueva situación, con las emisiones de CO₂ un 40% por encima del nivel deseable y en rápido crecimiento, y con el Tratado de Kioto llegando a su fin, hace imprescindible alcanzar un acuerdo “Kioto II” que se enfrente a un problema que se nos está escapando de las manos. De ahí, los intentos de las Cumbres de Copenhague y Cancún.

Cumbre de Copenhague

Tuvo lugar en diciembre de 2009, con la participación de más de 190 países. Su objetivo era la renovación del Tratado de Kioto a partir de 2012, esto es la firma de un nuevo Tratado vinculante que estableciera claramente los límites máximos de emisiones y un calendario para su puesta en práctica. Sin embargo, lo único que se consiguió fue un acuerdo *in extremis* entre EE.UU., China, India, Brasil y Sudáfrica, un acuerdo meramente político, al margen de la Conferencia, que establecía unos objetivos, y a cuyas deliberaciones no fue invitada la Unión Europea. Finalmente la Conferencia “tomó nota” del acuerdo y el documento fue firmado por muchos países, aunque otros expresaron su oposición al mismo.

Las negociaciones quedaron abiertas para una nueva Cumbre y quedaba mucho por concretar sobre cómo conseguir los objetivos establecidos, en particular el de no permitir un crecimiento mayor de 2°C a lo largo del siglo, con respecto a los valores preindustriales. Este es un objetivo realmente deseable, que quedó formalmente establecido, pero que requeriría definir y adoptar unos compromisos muy ambiciosos que habría que cuantificar y aceptar por todos²⁹. En consecuencia, no parece que se vaya a alcanzar.

La Unión Europea, verdadero ejemplo y autoridad internacional, al menos de carácter moral, con relación al esfuerzo necesario para frenar el cambio climático, se comprometió

²⁷ Se trata del bloque formado por los llamados BRICS: Brasil, Rusia, India, China y Sudáfrica.

²⁸ Si a ellos se añaden Japón, Canadá, Méjico y Corea, entre todos acumulan prácticamente al 80% del total de emisiones. Ver Cuaderno de Estrategia núm. 150, Madrid 2011, Manuel Marín, para mayor información.

²⁹ Este objetivo obligaría a un drástico plan de reducción de emisiones para que la concentración de CO₂ eq. se estabilizara en 450 ppm. en un par de décadas (actualmente en 430 ppm. y en rápido ascenso).

en Copenhague a una reducción del 20% de los niveles de emisión de 1990 para el año 2020 y ello, a pesar de su falta de protagonismo en las negociaciones. EE.UU, por su parte, se comprometió a una reducción de solamente el 4%, siempre que fuera autorizada por el Congreso. En cualquier caso, estas reducciones no tienen carácter vinculante, al no conseguir avanzar en un proceso de "Kioto II", como pretendía la ONU.

El futuro tras Copenhague es, pues, bastante incierto. De hecho existen estudios que plantean escenarios de estabilización de emisiones compatibles con los acuerdos demasiado genéricos de esta Cumbre, en el que la concentración de CO₂ equivalente (concepto que recoge el efecto conjunto de todos los GEI, de los que el CO₂ es el principal actor) se estabilizaría en 650 ppm frente a las 450 ppm que serían necesarias según los científicos para no superar una subida de 2°C. Este escenario supondría una subida de las temperaturas en torno a 3,5°C para finales de siglo.

Cumbre de Cancún

El pasado mes de diciembre tuvo lugar en Cancún la siguiente cumbre sobre el clima. Tampoco se avanzó sustancialmente, limitándose a formalizar las propuestas voluntarias de Copenhague. La Cumbre no fue capaz de definir unas medidas de control de emisiones de carácter obligatorio ni consiguió renovar el Acuerdo de Kioto. De hecho, algunas grandes potencias tuvieron un papel activo dirigido a evitar un tratado vinculante y presionaron a favor que se abandonase definitivamente el objetivo de renovar el Protocolo de Kioto y su sustitución por unas promesas no vinculantes y un sistema de revisiones periódicas, lo que sería un paso atrás muy serio.

No obstante, hubo algún logro destacable, como los avances en la adopción de medidas para frenar la deforestación (actualmente responsable de un 20% de las emisiones de CO₂), así como determinados acuerdos financieros para ayudar a los países pobres en la reducción de sus emisiones. Pero el gran acuerdo vinculante sigue sin conseguirse.

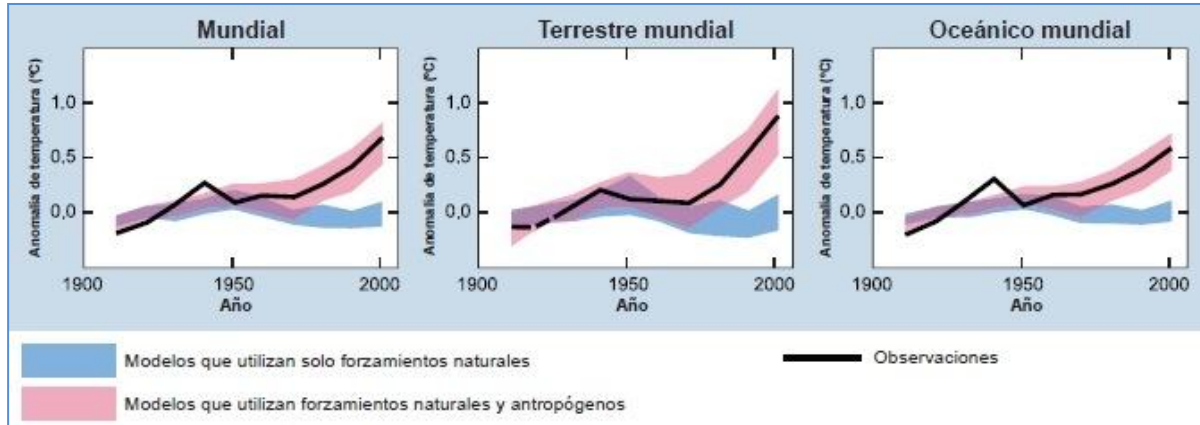
6. ACCIÓN DEL HOMBRE SOBRE EL CLIMA.

El segundo Informe de Evaluación del IPCC, publicado en 1995, se limitaba a exponer sospechas razonables sobre la influencia de la actividad humana en los cambios que se observaban en el clima. A partir del Cuarto Informe, la relación de causalidad es evidente para una mayoría de científicos e instituciones de prestigio en todo el mundo.

En los gráficos siguientes puede apreciarse el ajuste entre el promedio de las temperaturas realmente registradas a lo largo del siglo XX y las predicciones efectuadas por los diferentes modelos matemáticos con que se cuenta. En azul se representa la temperatura global prevista por cinco modelos climáticos que sólo tienen en cuenta los efectos naturales, tales como la actividad solar y volcánica, en un total de 19 simulaciones. Por el contrario, en rosa

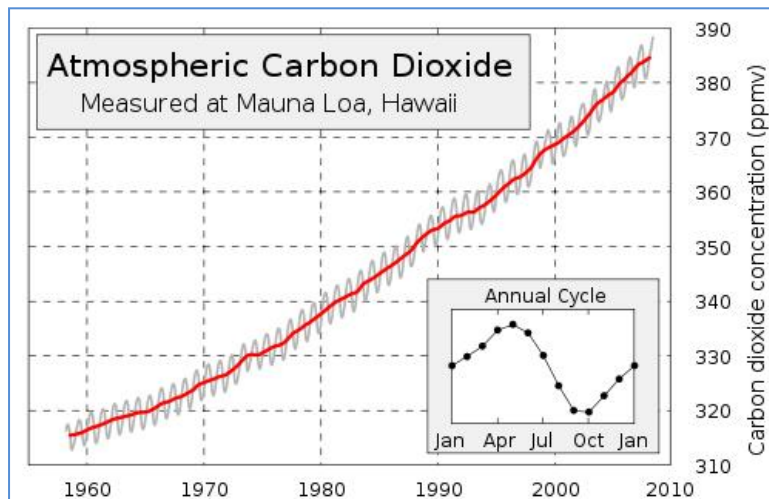
Gonzalo Sirvent Zaragoza

se representa el resultado de 58 simulaciones con catorce modelos climáticos que también tienen en cuenta los efectos del hombre, principalmente el efecto invernadero³⁰.



Obsérvese que para los modelos que no tienen en cuenta la acción del hombre, la temperatura media del planeta debería haber permanecido constante. Por el contrario, el incremento habido en la segunda mitad del siglo pasado (en torno a 0,5°C) sólo se explica por los modelos que tienen en cuenta el llamado forzamiento antropogénico, como consecuencia de la actividad industrial.

Veamos ahora cómo está evolucionando la concentración de CO₂ en la atmósfera. Para ello, se cuenta con la curva obtenida por el climatólogo Charles Keeling en sus mediciones en lo alto del monte Mauna Loa en Hawái a partir de 1958 y que se representa en el siguiente gráfico³¹. Nótese cómo la curva refleja una sinusoide cada año, consecuencia de la mayor



función clorofílica que tiene lugar en la primavera en el hemisferio Norte, con la consiguiente disminución de la concentración de CO₂, y el efecto contrario que se inicia en el otoño. Esta curva demuestra, pues, una gran precisión en sus datos registrales. En ella se aprecia claramente que la concentración de CO₂ creció en 55 ppm entre los años 1960 y 2000, así como una

pendiente creciente, del orden de 18 ppm por década en la actualidad.

³⁰ Fuente: Cuarto Informe de Evaluación del IPCC.

³¹ Fuente: Wikimedia commons (datos contrastados con otras fuentes).

En preocupante contraste con esta evolución, hoy en día se sabe que la concentración atmosférica de este gas en los mil años previos a la Revolución Industrial sólo aumentó en 20 ppm y que se mantuvo en un nivel de concentración en torno a las 280 ppm, frente a las más de 380 ppm en la actualidad (388 ppm. en septiembre de 2010, según datos tomados en el observatorio atmosférico de Izaña, en Tenerife)³².

7. ¿QUÉ SE PUEDE HACER?

El problema de fondo al que nos enfrentamos es el crecimiento exponencial de la producción y por tanto del consumo de recursos, acompañado de una generación de residuos a un nivel que el medio ambiente no es capaz de absorber. Y para resolver este problema, es necesaria una profunda modificación del modelo económico que hemos seguido hasta ahora –en particular del modelo energético-, teniendo en cuenta además que es urgente actuar, pues lo que ahora decidamos tardará en notarse años.

El agotamiento de unos recursos que son escasos es la otra cara del problema global de fondo, que todavía no se está manifestando con crudeza –aunque la actual subida de los precios de las materias primas supone una voz de alerta que no deberíamos menospreciar-. Detrás de todo ello se encuentra el hecho de que hemos desarrollado un modelo de crecimiento económico que es insostenible³³.

Debemos cambiar a un modelo de desarrollo “sostenible” que debería tener como objetivo principal conseguir cuanto antes disminuir la pendiente ascendente de la curva de “Keeling”, mediante una reducción progresiva de las emisiones de CO₂ y, a continuación, conseguir que la curva se mantenga horizontalmente de forma indefinida en el tiempo en un determinado nivel de estabilización. Este nivel debería estar lo más cerca posible de las 450 ppm de CO₂ equivalente (CO₂ eq)³⁴, cifra que ha sido tomada como referencia en las últimas cumbres sobre el calentamiento climático. Este nivel de concentración se correspondería con un calentamiento de 2°C desde la Revolución Industrial, pero lo más probable es que dicho valor se supere, ante la ausencia de unos planes obligatorios contundentes de reducción de emisiones y porque la subida actual de las temperaturas ya es del orden de 0,75°C. En definitiva, el reto es estabilizar la curva en un valor lo más bajo posible y poner en marcha las medidas correctoras necesarias cuanto antes.

En cualquier caso, un objetivo sensato de estabilización, de acuerdo con el informe STERN, encargado por el gobierno británico al prestigioso economista Nicholas Stern y publicado en

³² Entrevista al científico D. Angel Gómez, de fecha 10.09.10, publicada en prensa.

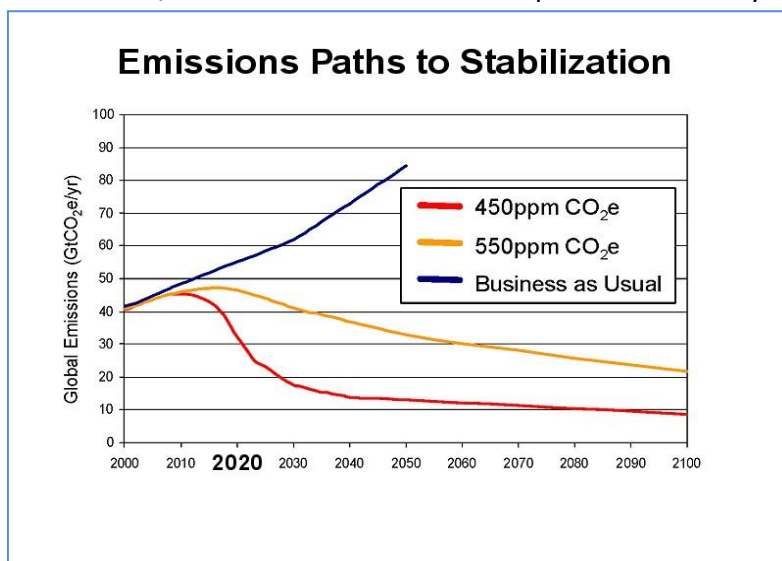
³³ Crecimiento sostenible es aquel que satisface las necesidades actuales sin comprometer las futuras. Para ello se deben satisfacer tres condiciones: a) las tasas mundiales de consumo de recursos no deben exceder las tasas de regeneración, b) las tasas de utilización de recursos no renovables (petróleo o gas natural) no pueden exceder las tasas de desarrollo de sustitutos renovables y c) las tasas de emisión de agentes contaminantes no pueden ser superiores a la capacidad de asimilación del medio ambiente.

³⁴ Como la curva de Keeling recoge exclusivamente la concentración de CO₂, su nivel debería estabilizarse aproximadamente en 410 ppm, valor que se correspondería con las 450 ppm. de CO₂ eq.

2006, así como otras opiniones de prestigio, se podría cifrar entre 450 ppm y 550 ppm de CO₂ eq.³⁵ Ello no es fácil de conseguir: hay que tener en cuenta que a diferencia del metano, cuya vida en la atmósfera es del orden de una década, la cantidad de CO₂ perdura en ella durante siglos, por ser insuficientes los mecanismos naturales de absorción³⁶.

Por último, téngase en cuenta que, según el citado informe STERN, aunque de repente el mundo decidiera congelar las emisiones de CO₂ en su nivel actual, a mediados de siglo se alcanzaría inevitablemente un nivel de concentración de 550 ppm *que seguiría aumentando a continuación*. Por lo tanto, los planes que habría que aprobar deben ser muy exigentes: no es suficiente con congelar las emisiones, primero hay que frenar drásticamente su crecimiento para llegar a un máximo cuanto antes, pero a continuación es necesario continuar disminuyéndolas de forma progresiva (a pesar del crecimiento económico) hasta situarlas en un valor aproximado de la mitad del actual. Y todo ello debe lograrse con un PIB mundial que será cuatro veces superior al actual a mediados de siglo.

¿Cuánto habría que reducir exactamente las emisiones de CO₂? De acuerdo con los estudios del cuarto informe de evaluación del IPCC y con el informe STERN, habría que reducir las emisiones anuales de CO₂ eq., actualmente situadas en torno a 40Gt y en proceso de crecimiento, hasta unas 30 Gt. de CO₂ eq en el año 2050 y aproximadamente a 20 Gt de CO₂



eq a finales de siglo. Este escenario se corresponde aproximadamente con un nivel de concentración de CO₂ eq de 550 ppm., tal y como puede apreciarse en el siguiente gráfico (fuente: informe STERN). En él se representan dos modelos de escenarios de emisiones que permitirían conseguir la estabilización de la concentración de CO₂ eq en 450 ppm (rojo) y 550 ppm (amarillo), respectivamente.

El primero probablemente sea excesivamente utópico, el segundo aún es posible. Junto a ellos figura el patrón que seguirían las emisiones de CO₂ si se continúa con el modelo económico actual. Este escenario es conocido como "BAU" (Business as Usual) y tendría consecuencias muy serias y duraderas.

³⁵ El nivel actual de concentración de CO₂ eq. es de 430 ppm, como se ha dicho anteriormente.

³⁶ Con el nivel actual de emisiones, los grandes sumideros de carbono del planeta no pueden absorber tanto CO₂ como se emite. Los océanos absorben en torno a un 33% y los bosques algo menos de un 25%.

Las cifras expuestas dan una idea de la magnitud del desafío, aunque algunos autores son todavía más exigentes en las medidas a adoptar³⁷.

Para lograr el deseado escenario de estabilización entre 450 ppm. y 550 ppm. es imprescindible un acuerdo tipo “Kioto II”. Para entender mejor la urgencia en llegar a ese acuerdo vinculante, me referiré a continuación al problema de las realimentaciones positivas (otros autores utilizan el término retroalimentaciones), que antes cité. Este fenómeno se presenta en algunos procesos naturales y tiende a aumentar la rapidez del cambio. En particular puede hablarse, al menos, de los siguientes procesos de realimentación:

- a) Con el calentamiento de la Tierra, se fundirá la capa de “permafrost”³⁸ de las zonas muy frías y se producirá liberación de metano a la atmósfera, agravándose con ello el efecto invernadero y, por tanto, el proceso de subida de las temperaturas.
- b) El incremento del riesgo de incendios y la consiguiente pérdida de masa forestal que tiene lugar con la subida de las temperaturas, disminuye la capacidad pulmonar del planeta para absorber CO₂ (además de generarse más GEIs en la combustión) y con ello vuelve a aumentar el efecto invernadero.
- c) Al subir la temperatura disminuye la capacidad de absorción de CO₂ por los océanos, lo que aumenta su ritmo de concentración en la atmósfera y, por tanto, el calentamiento y así sucesivamente.
- d) Al fundirse las capas de hielo del Ártico y de los glaciares se produce una mayor absorción de calor por la Tierra, lo que de nuevo aumenta el calentamiento y con él el deshielo.

Todos estos subprocesos tienden a acelerar el ritmo de subida de las temperaturas mientras no se agoten las fuentes que los alimentan o sean contrarrestados por otros procesos de signo contrario, hasta que se llegue a un nuevo punto de equilibrio. Tras ellos podría estar la explicación de que tan sólo cuatro años después del último informe del IPCC ya existan registros y predicciones más pesimistas sobre el deshielo y la subida del nivel del mar.

Un enfoque económico del problema

La ciencia económica nos dice, en primer lugar, porqué se llega a un consumo desenfrenado de recursos y a la consiguiente generación de residuos que atacan al medio ambiente. En

³⁷ Según el informe *Copenhagen Diagnosis 2009* de Ian Allison y otros autores, más alarmista, el nivel de emisiones de CO₂ debería empezar a disminuir drásticamente antes de 2020 hasta alcanzar un nivel prácticamente “nulo” de emisiones para mediados de siglo.

³⁸ El “permafrost” es la capa de hielo que existe en los niveles superficiales del suelo en zonas muy frías y que se ha ido formando a lo largo de muchos siglos. Las extensiones más importantes se dan en Canadá y Siberia. En Alaska (EE.UU.) alcanza una profundidad de 400 metros y en algunas áreas de Siberia (Rusia) un kilómetro y medio de grosor.

segundo lugar, nos puede ayudar a cuantificar estos daños. En tercer lugar, también proporciona herramientas para reconducir la situación.

El principal concepto, que está detrás de todos los males, es la insostenibilidad de un crecimiento económico exponencial en un medio limitado, como es el planeta. Se trata de una simple ley matemática según la cual la cantidad de todos aquellos productos que se generen o consuman a un ritmo $r\%$ anual, se duplica cada " $70/r$ " años. Pongamos algunos ejemplos: el actual crecimiento anual del PIB mundial que podemos situar en torno al 4% supone que, si se mantiene esta tasa, se duplica cada 18 años. Y que para el año 2047 se habrá cuadruplicado. Las mismas cifras son aplicables a cualquier producto que siga una senda exponencial de crecimiento de este orden, por ejemplo las necesidades de agua, o la generación de residuos. Si una cantidad que crece anualmente según una determinada tasa se duplica cada " x " años, se cuadruplica cada " $2x$ " años, se multiplica por ocho cada " $3x$ " años, etc. Estas leyes no son problemáticas hasta que se alcanza un determinado valor de escala, existiendo algunas fábulas muy conocidas al respecto³⁹. Sin embargo, actualmente los avisos de que ya se ha llegado a una escala que hace insostenible los actuales ritmos de crecimiento, con siete mil millones de habitantes y el modelo de industrialización alcanzado o en desarrollo, son múltiples.

En la tabla siguiente se recogen los años necesarios para alcanzar una magnitud doble o cuádruple de la inicial, en función del ritmo de crecimiento anual:

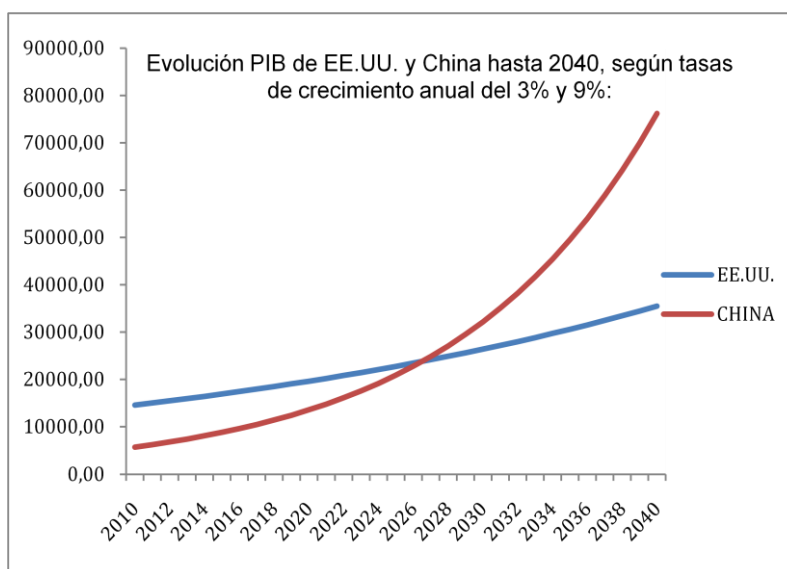
<u>Tasa de crecimiento</u> <u>anual</u>	<u>Periodo de Duplicación</u> <u>(años)</u>	<u>Periodo de Cuadruplicación</u> <u>(años)</u>
1%	70	140
2%	35	70
3%	23	46
4%	18	36
5%	14	28
7%	10	20
10%	7	14

Un ejemplo muy serio de lo que supone el crecimiento exponencial lo constituye la economía de China, con un crecimiento medio en torno a un 9% anual desde hace décadas. Esto supone que su PIB se duplica cada 8 años, o lo que es lo mismo, que se multiplica por ocho cada veinticuatro años aproximadamente. ¿Qué nivel alcanzará a mediados de siglo? ¿A qué coste?

³⁹ En particular aquella, sin duda conocida por muchos lectores, en la que un rey se comprometió a proporcionar tantos granos de trigo como resultaran de colocar uno en la primera casilla de un tablero de ajedrez, dos en la segunda, cuatro en la tercera y así sucesivamente hasta completar el tablero, resultando que no había suficiente trigo en el mundo para saldar su deuda.

Gonzalo Sirvent Zaragoza

El coste dependerá de las medidas que adopte para disminuir las emisiones de GEI, de que se consiga implantar un nuevo modelo energético mundial y de la capacidad del planeta para garantizar los recursos necesarios para esta economía de impresionantes dimensiones y ritmo de expansión. Pero, en cualquier caso, tendrá importantes repercusiones globales. En cuanto al valor del PIB de China, es previsible que sea la primera potencia económica mundial a partir de 2027⁴⁰ aproximadamente y que si mantiene el ritmo de crecimiento de los últimos veinte años, su PIB en el año 2035 sea ocho veces superior al actual y esté próximo a duplicar el de EE.UU. en esas fechas, cuando actualmente solamente supone el 40% de la economía norteamericana. Estas predicciones se recogen en el siguiente gráfico⁴¹:



Si se piensa en las cifras anteriores, parece claro que estamos próximos a los límites del crecimiento y que el problema global al que nos enfrentamos afecta al planeta entero: “nuestro tablero de ajedrez”. El cambio climático, por su parte, no es sino la consecuencia de las agresiones al medio ambiente producidas por un modelo de crecimiento insostenible.

En lo que respecta a cuantificar los daños causados, una vez identificados éstos gracias a los informes de los científicos, se evalúan y normalmente se expresan en forma de tanto por ciento del PIB perdido (por ejemplo a causa de malas cosechas, inundaciones y demás impactos citados por el IPCC). A su vez, se hacen proyecciones de futuro sobre las medidas de mitigación y de adaptación al cambio climático que habría que emprender y se valora tanto su coste como el beneficio que proporcionarían.

⁴⁰ Si se supone que el ritmo de crecimiento de las economías de China y EE.UU. se mantiene en los próximos años en la media aproximada de los últimos 20 años, la primera igualará a la segunda en 2027, la duplicará en 2039 y la triplicará a mediados de siglo.

⁴¹ Fuente: elaboración propia a partir de datos del FMI para 2010 y suponiendo unas tasas de crecimiento anual del 3% y 9%.

Hoy en día los costes derivados del cambio climático empiezan a ser importantes, pero sobretudo preocupan los que se irán materializando a lo largo del siglo. Estos costes, de no ser cuantificados y repercutidos en el precio de quienes utilizan energía procedente de la quema de combustibles fósiles, continuarán creciendo en todo el mundo y nada impedirá que lleguen a causar un daño excesivamente elevado o persistente en el tiempo en pocos años.

Para comprender y enfrentarse mejor al problema de un crecimiento que empieza a ser excesivo para las capacidades del planeta de absorber residuos y de aportar los recursos necesarios, así como para abordar el problema de los costes y su repercusión en los precios, la ciencia económica aporta conceptos o construcciones teóricas que pueden ser de gran utilidad, además del de “costes sociales” o “costes externos” ya citados. Entre ellos están los de amortización de un bien (que compense su deterioro), asignación eficiente de recursos, función de producción, mercado y tipos de competencia, teorías de la oferta, de la demanda y de la formación del precio o la teoría del crecimiento, entre otros.

Entre estos conceptos el de mercado y, en particular, el de “competencia perfecta” son de gran utilidad. Téngase en cuenta que el mercado puede ser el mecanismo más perfecto que existe de asignación de recursos cuando funciona adecuadamente -la famosa “mano invisible” de Adam Smith-, es decir cuando existe una situación de “competencia perfecta”, entendiendo por tal aquella en que la que el elevado número de ofertantes y demandantes hace que ningún actor sea capaz de influir sobre los precios, la información circula libremente y la curva de demanda es perfectamente elástica con relación al precio. Esta situación de mercado es la que consigue una asignación de máxima eficiencia de los recursos disponibles. Por el contrario, cuando las características de un mercado se alejan de ella, se pierde eficacia y se producen serias distorsiones.

En el gran mercado de la energía –principal responsable de la generación de CO₂-, no existe competencia perfecta y, en particular, no llega a los precios la información adecuada sobre los “costes externos” que los diferentes productores o consumidores de energía generan, con tan graves consecuencias como estamos viendo.

Este mercado, auténtico corazón impulsor de nuestro desarrollo, está muy lejos de la “competencia perfecta” por muchas razones, además de la falta de información sobre los costes externos. Por una parte, existen poderosos intereses económicos que tienden a buscar la maximización del beneficio a corto plazo, en contra de un interés general que precisaría de unos objetivos más prudentes y de una visión más a largo plazo. Además, los combustibles fósiles, especialmente el petróleo, constituyen un bien estratégico, por lo que las grandes empresas energéticas poseen una destacada capacidad de influencia en los centros de poder. A ello se une que este mercado constituye, en gran medida, un “oligopolio”, es decir una situación que permite que unos cuantos actores modifiquen los precios según su conveniencia. Finalmente, la demanda de petróleo es muy “rígida”, concepto económico que hace hincapié en la escasa disminución de la demanda de un bien cuando sube su precio, lo que se produce cuando existe una gran dependencia del mismo y se carece de unos sustitutos adecuados.

Por todo ello, se producen importantes distorsiones en el mercado y es imprescindible que las autoridades políticas actúen sobre él, en particular cuantificando y repercutiendo los “costes externos” en el precio de la energía y de los bienes industriales producidos, mediante un sistema impositivo adecuado al nivel de contaminación de cada actor y que la recaudación se destinen a combatir la contaminación y sus perniciosos efectos. De lo contrario, se dará la situación de que para muchos países o empresas resulte prácticamente gratuito continuar emitiendo –de forma creciente– agentes contaminantes a un medio ambiente que es de todos, que se encuentra sometido a un proceso de evolución muy peligroso y que está próximo a sufrir muy serias alteraciones climáticas prácticamente irreversibles si no se actúa a tiempo. En definitiva, es imprescindible una regulación de los mercados que los aproxime en lo posible a la citada “competencia perfecta”. Esta necesidad tiene además un carácter internacional, al afectar la contaminación a todo el planeta.

Esta situación de falta de información, de transparencia o de regulación de un mercado, es en cierto modo similar a la que ha provocado la actual crisis económica por culpa de una concepción económica ultra liberal, en este caso de los mercados financieros, en la que se pensaba erróneamente que para que fueran eficaces apenas precisaban de regulación, tremenda falacia finalmente desenmascarada aunque con las graves consecuencias que estamos sufriendo.

Veamos ahora, de una forma genérica, qué medidas de tipo económico serían necesarias para que el mercado de la energía funcionase adecuadamente y poder frenar a tiempo el actual proceso de deterioro del clima⁴²:

- Determinar el coste social de emitir una cantidad de referencia de dióxido de carbono a la atmósfera, por ejemplo una tonelada, y repercutirlo sobre la curva de costes de producción de las empresas, mediante un sistema impositivo que aplique el gasto correspondiente de forma adecuada.
- Establecer e imponer unos límites a la cantidad de emisiones por países y empresas con un mecanismo adecuado de penalización y estímulo, del tipo “comercio de emisiones” o sistema “cap and trade”, ya establecido internamente por la Unión Europea. De esta manera se crearía un mercado interno en todos los países, pero también externo y de carácter mundial, en el que se comprarían y venderían “derechos de emisión”.
- Promover la modificación de las curvas de las funciones de producción de las empresas y medios de transporte, de manera que se consiga un notable incremento de la eficiencia y una elevada disminución de las emisiones de los GEI, especialmente, de CO₂. En particular, es imprescindible apostar por un nuevo modelo energético. Para ello hace falta evidentemente un gran trabajo de I+D+i, pero es crucial llevar a

⁴² Estas medidas son básicamente las que está aplicando la Unión Europea o las que defiende Al Gore en su libro *Nuestra Elección*, Barcelona, Gedisa, 2010, pags. 342 a 346, cuya implantación sería necesaria a nivel mundial.

Gonzalo Sirvent Zaragoza

cabo unas políticas económicas que lo subvencionen y una coordinación internacional al respecto.

El coste social del carbono

Si se determinase con una cierta fiabilidad el coste de los efectos derivados de emitir una tonelada de CO₂ a la atmósfera y se cobrara como impuesto a todo aquel que contamine, no cabe duda de que supondría un estímulo para emitir menos y se animaría a modificar convenientemente las curvas de producción, esto es se estimularía el uso de tecnologías menos contaminantes.

Determinar el coste de los efectos externos de emitir una tonelada de CO₂ no es fácil. Se necesita el concurso de expertos diversos en el cambio climático, tanto en sus causas como en sus impactos económicos –es necesario un enfoque multidisciplinar, en el que además de climatólogos participen ingenieros industriales, arquitectos, expertos en urbanismo o en catástrofes naturales, ingenieros agrónomos, etc.-. El Cuarto Informe de Evaluación del IPCC abordó este tema. Para el IPCC, dependiendo del nivel de ambición que se establezca en las medidas de mitigación del cambio climático, su coste oscilaría entre un beneficio equivalente al aumento de un 1% del PIB mundial o el valor equivalente de una disminución del 5,5% en dicho PIB. Finalmente, este informe se decantó por un coste social del carbono de 12 dólares por tonelada de CO₂ en 2005, que iría subiendo hasta situarse en un margen comprendido entre 20 y 80 dólares por tonelada de aquí al año 2030, en función de la situación. La repercusión de este coste en los precios y su aplicación en medidas de mitigación del cambio climático contribuiría fuertemente al objetivo antes citado de estabilizar la concentración de este gas entre 450 ppm y 550 ppm a mediados de este siglo.

Para el informe STERN, el coste del cambio climático para el año 2050 se situará entre el 0,5% y el 1% del PIB, aumentando posteriormente hasta cantidades muy superiores que podrían llegar a ser del orden del 20% del PIB, de no reaccionar a tiempo. Según este informe, el coste *actual* de la tonelada de CO₂ debería situarse entre 25 y 30 dólares para cumplir el objetivo de estabilizar las emisiones entre 450 ppm y 550 ppm.

Por su parte, la Unión Europea acaba de manifestar su intención de establecer un coste de 20 euros para la tonelada de carbono⁴³. Así pues, el coste podría establecerse entre 20 y 30 dólares con un aceptable nivel de coincidencia ente los expertos. En cuanto a su evolución futura, podría ser muy superior si no se reacciona con prontitud y decisión.

El comercio de emisiones

Antes de que el mundo tuviera que enfrentarse con el deterioro de la capa de ozono o con los problemas derivados de la alta concentración de GEI en la atmósfera, fue necesario actuar frente a una externalidad importante, ya antigua, que se hizo famosa en la década

⁴³ Según noticia de prensa publicada el 13 de abril de 2011 en los medios especializados en asuntos económicos. Este precio debería subir hasta los 30 euros antes de 2020, según la Comisión Europea.

Gonzalo Sirvent Zaragoza

de los ochenta por la gravedad de sus efectos y porque era capaz de atravesar fronteras: la "lluvia ácida". Esta lluvia era consecuencia de las altas emisiones de óxido de azufre y óxido de nitrógeno por parte de las centrales eléctricas y de algunas industrias. La lluvia ácida, junto a la caída directa de estas partículas, disueltas en el aire, dañaba gravemente los bosques, los lagos y ríos, los cultivos y la piedra. Para combatirla era necesario consumir carbón con bajo contenido de azufre –más caro- o la instalación de lavadoras especiales en las chimeneas capaces de capturar el SO₂. El coste de estas medidas se evaluó en seis mil millones de dólares anuales en EE.UU.

En 1990 este país estableció un programa de control de emisiones y de estímulo, mediante el que se fijaban unos límites de emisiones y se creaban unos "bonos" o "derechos de emisión" que se otorgaban a aquellas empresas que no superaban los límites establecidos y que éstas podían vender a otras que no eran capaces de evitar superar sus propios límites. De esta manera, se creaba un comercio de bonos y se dejaba actuar al mercado y sus poderosas fuerzas cuando están convenientemente reguladas. El éxito fue espectacular, pues en 2004 se había reducido los niveles de emisiones un 40% por debajo de los niveles de los años ochenta. El mecanismo de mercado, conocido como "cap and trade" había sido un éxito.

La Unión Europea también utiliza este mecanismo con éxito y, en particular, desde el 1 de enero de 2005, lo aplica a los gases responsables del efecto invernadero⁴⁴. Actualmente, los gobiernos comunitarios han establecido límites a la cantidad de CO₂ que pueden emitir cada año unas 10.500 instalaciones (centrales eléctricas y grandes plantas) que, en conjunto, generan casi la mitad de las emisiones de CO₂ de la UE. Además, el comercio de emisiones se lleva a cabo no solamente entre empresas sino también entre países. Gracias a estas medidas la Unión Europea espera reducir, como mínimo, un 20% sus emisiones de GEI en el año 2020. De hecho, ofrece reducirlas hasta un 30% si otros países se comprometen a un esfuerzo similar e incluso se plantea reducciones muy superiores en el entorno del año 2050. En EE.UU., sin embargo, no se ha conseguido implantar este sistema, fuertemente contestado políticamente⁴⁵, ni tampoco en China.

Otro gran logro de la Unión Europea es que desde el 1 enero de 2012 también se aplicará el mecanismo de "cap and trade" a todos los aviones que aterricen o despeguen desde un aeropuerto comunitario. Realmente, el esfuerzo y el ejemplo de Europa ante un problema que es de todos está siendo extraordinario y se hubiera merecido un mayor protagonismo en las cumbres de Copenhague y Cancún.

En cualquier caso, sería imprescindible implantar el mecanismo de "control de emisiones" a nivel mundial. Lógicamente, su puesta en marcha requeriría de unas negociaciones complejas y una fuerte voluntad por parte de todos. Esta es, de hecho, una herramienta imprescindible que habría que implantar en un futuro próximo.

⁴⁴ Este sistema es conocido como Comercio de Emisiones de la Unión Europea (ETS)

⁴⁵ ISBELL Paul, *La política energética y la lucha contra el cambio climático: la complicada encrucijada americana*, Madrid, IEEEE, Cuaderno de Estrategia 150, 2011

Política económica y Nuevas Tecnologías

Mediante los dos tipos de medidas anteriormente expuestos, al tratar los empresarios o consumidores de emitir menos CO₂ y evitar así el coste de los impuestos asociados, se produce un estímulo generador para la investigación y el empleo de nuevas tecnologías. Pero, también existen otras medidas de política económica que actúan en el mismo sentido y que son el complemento imprescindible para que estas nuevas tecnologías, algunas muy avanzadas, tengan éxito.

De hecho hoy en día existen, en diferentes fases de desarrollo, tecnologías mucho más limpias y eficientes, que prometen disminuir de forma importante la producción de GEI en los próximos años si se las apoya políticamente para facilitar su desarrollo y entrada en los mercados. Posteriormente se citan las que podrían considerarse más destacadas y que se convertirán, sin duda, en importantes “medidas de mitigación” del cambio climático.

Con respecto a las medidas de *política económica* necesarias, la idea principal es llevar a cabo una adecuada utilización de la política fiscal, no solamente impositiva, como ya se ha visto, sino también del gasto. Esto es, el empleo de subvenciones y créditos a bajo coste, la inversión en I+D+i, junto con otras medidas de apoyo, tales como dar facilidades administrativas, adherirse a acuerdos internacionales, aprobar un planeamiento a medio y largo plazo, elevar los estándares de eficiencia que se exigen, etc., todo ello dirigido principalmente a las universidades, organismos y empresas que trabajan, bien en fuentes de energía que contaminan mucho menos, bien en nuevas tecnologías o prácticas orientadas a conseguir una mayor eficiencia en cualquier sector o proceso industrial. Este conjunto de medidas debe facilitar y canalizar la toma de decisiones, al tiempo que sirve de estímulo al imprescindible esfuerzo en I+D+i. Por el contrario, es necesario retirar aquellas subvenciones que todavía se destinan a los combustibles fósiles, como recientemente ha reconocido el presidente Obama⁴⁶. Estas subvenciones, llevadas a cabo por los gobiernos de todo el mundo, alcanzaron en 2009 la cifra de 312.000 millones de dólares y suponen una grave distorsión del mercado energético en sentido contrario al deseable⁴⁷.

Con todo ello, se trata de promover, nacional e internacionalmente, lo que se conoce como Medidas de Mitigación del cambio climático, entre las que ocupan un lugar muy destacado las nuevas tecnologías. Las principales medidas de mitigación, en opinión del IPCC y de otros organismos, serían las siguientes:

- Utilización de carbón de mayor calidad.

⁴⁶ El pasado mes de abril la prensa informó que el presidente de EE.UU. Barack Obama había propuesto eliminar 4.000 millones de dólares de las subvenciones que las empresas petroleras y gasistas reciben cada año en EE.UU., informando que pretendía dirigir esos recursos hacia fuentes de energía menos contaminantes (ABC, 24.04.2011).

⁴⁷ World Energy Outlook. Resumen ejecutivo. Disponible en www.worldenergyoutlook.org

Gonzalo Sirvent Zaragoza

- Sustitución del carbón por gas natural⁴⁸.
- Mayor empleo de centrales térmicas con turbinas de gas y ciclo combinado.
- Captura y reciclado de la energía calórica residual en las plantas generadoras de electricidad (sistemas CHP o de cogeneración)⁴⁹.
- Reemplazo de los motores eléctricos industriales actualmente en servicio por otros ya existentes de mucha mayor eficiencia.
- Nuevos procesos de forjado directo del acero.
- Reemplazo de los actuales sistemas de bombeo y tuberías, muy poco eficientes.
- Nuevos procesos de destilación en refinerías de petróleo (separación por membrana).
- Creación de redes eléctricas inteligentes unificadas⁵⁰.
- Sistemas de generación de energías renovables, cada vez más eficientes.
- Técnicas de almacenamiento y captura del CO₂ (Técnicas CAC)⁵¹ en centrales térmicas y en industrias diversas (cemento, amoníaco, hierro).
- Técnicas/prácticas orientadas a conseguir una mayor eficiencia tecnológica⁵², en particular:

⁴⁸ Actualmente el carbón es el combustible fósil más contaminante, al tiempo que su empleo supone un porcentaje muy elevado de la energía total que se produce en muchos países (53% en EE.UU. y un 30% en la Unión Europea). La combustión del carbón genera un alto nivel de contaminación, no solamente por el CO₂, sino también por el dióxido de azufre o el mercurio expulsados, junto con importantes cantidades de cenizas y sedimentos de carbón.

⁴⁹ La cogeneración de calor y electricidad (CHP por sus siglas en inglés: Combined Heat and Power) permite una eficiencia de hasta un 90% en una central eléctrica de este tipo, frente a un 35% en las convencionales o un 55% en las llamadas de ciclo combinado. Ver “planta de cogeneración del Hospital Central de la Defensa” pag. 216 en:

http://www.ieeee.es/Galerias/fichero/cuadernos/CE_150_SeguridadModeloEnergeticoCambioClimatico.pdf

Esta técnica reduce además de forma drástica las emisiones de CO₂. Según Al Gore (Nuestra Elección, pag.254) en EE.UU. se ha calculado que el uso de la cogeneración en las instalaciones industriales que actualmente desaprovechan el calor residual podría crear un millón de puestos de trabajo y evitar el 60% de las emisiones de CO₂ previstas en este país hasta 2030. Los países que más utilizan la CHP son Holanda, Dinamarca, Finlandia y Rusia.

⁵⁰ Existen estudios muy avanzados al respecto. Se trataría de utilizar líneas de transporte de larga distancia mucho más eficientes conectadas a todas las grandes fuentes de generación de electricidad del país, incluidas las de origen eólico o solar, asociadas a redes inteligentes de distribución enlazadas por internet y a unidades de almacenamiento de nueva generación – tales como nuevas baterías de sodio y azufre- capaces de emitir con gran rapidez nuevas cantidades de electricidad en función de la intermitencia de la generación o de la demanda de consumo.

⁵¹ Se trata de capturar el CO₂ generado, licuarlo y transportarlo hasta lugares donde existan depósitos subterráneos seguros en el subsuelo o bajo el lecho marino, en los que se almacenaría en grandes cantidades. Las diferentes tecnologías para poder llevar a cabo este proceso están bastante desarrolladas y podrían comenzar a emplearse en pocas décadas.

Gonzalo Sirvent Zaragoza

- Aislamiento de edificios y utilización de energía solar⁵³.
- Vehículos eléctricos e híbridos⁵⁴.
- Iluminación más eficiente⁵⁵.
- Biocombustibles.
- Mejora de las técnicas de cultivo.
- Reforestación
- Reciclado.

El apoyo a todas estas medidas de mitigación con unas adecuadas políticas económicas, se debe hacer sin perder de vista el imprescindible “enfoque sistémico” que requiere la solución del problema. Esto es, que el cambio climático tiene un carácter global tanto en sus causas como, sobre todo, en sus efectos. Por tanto, las medidas que adopte un solo país no lo solucionarán, al tiempo que pueden dejarlo en una situación de desventaja competitiva. Para ello, la mejor forma de actuar de forma coherente con la naturaleza sistémica del problema, es conseguir el Acuerdo internacional obligatorio que se ha venido defendiendo en estas páginas.

8. CONCLUSIONES

El crecimiento económico exponencial no puede durar indefinidamente. El mundo está próximo a los límites del crecimiento si continúa el actual modelo energético. Es urgente frenar la agresión al medio ambiente y apostar por un crecimiento sostenible. Los economistas llevan muchos años alertando de este problema, si bien se está empezando a manifestar de forma alarmante desde hace pocos años.

⁵² Existen múltiples formas de obtener una mayor eficiencia en prácticamente todos los sectores de la economía. A modo de ejemplo, según la Agencia Internacional de la Energía la inversión de un dólar en equipamientos y artículos eléctricos más eficientes ahorraría más de dos dólares de inversión en infraestructuras de generación y transporte de electricidad. Por otra parte, en EE.UU. el estado de California – que por sí sólo constituye una de las principales economías del mundo- ha demostrado que es posible mejorar la eficiencia hasta conseguir en la actualidad un consumo de electricidad per cápita del orden del 50% del existente en el resto del país.

⁵³ Hoy en día el consumo final de energía en los edificios de un país de la Unión Europea o en EE.UU., supone en torno al 40% de las necesidades energéticas totales, estimándose que se podría ahorrar entre un 25% y un 50% en eficiencia energética con medidas tales como: un adecuado rendimiento eléctrico de su iluminación, empleo de electrodomésticos más eficientes, un buen aislamiento y técnicas de micro-generación solar o eólica, todo ello con la consiguiente reducción de las emisiones de CO2 asociadas.

⁵⁴ Los avances en este campo están siendo muy rápidos, con nuevas baterías de iones de litio. Existen grandes inversiones sobre el coche eléctrico en China, Japón, EE.UU. y la UE. Como dato anecdótico, el pasado 5 de mayo se pudo leer en prensa española la llegada a España de autobuses eléctricos de fabricación china.

⁵⁵ La eficiencia de las bombillas modernas (tipo fluorescente compacto o Led) es muy superior, pudiendo llegar a emitir hasta 70 veces más cantidad de luz por vatio de electricidad consumido, en comparación con las bombillas incandescentes tradicionales.

Como parte del problema anterior, la Tierra está sufriendo un proceso de calentamiento desde hace escasas décadas. El proceso es cada vez más evidente y tiene tendencia a acelerarse. Desde el Cuarto Informe de Evaluación del IPCC, publicado en 2007, los científicos no tienen dudas de que la principal causa del cambio climático es el hombre. De hecho estamos ante un nuevo período geológico –el Antropoceno- que para la mayoría de los autores se inició hace poco más de 200 años, con la Revolución Industrial.

La subida generalizada de las temperaturas es consecuencia de los GEI emitidos a la atmósfera por la actividad del hombre. La capacidad de absorción de los sumideros naturales de CO₂ no es suficiente, por lo que la permanencia previsible de este gas en la atmósfera –principal responsable del efecto invernadero- es del orden de siglos. En consecuencia, el nivel actual de CO₂ (388 ppm) continuará creciendo hasta mediados de este siglo aún en el mejor escenario de reducción de emisiones.

Las consecuencias del cambio climático en curso son múltiples y gravemente perjudiciales para todo el planeta (ver exposición y comentarios sobre el Cuarto Informe de Evaluación del IPCC), especialmente si no se actúa con urgencia y decisión.

Debería establecerse el objetivo de estabilizar la concentración de CO₂ eq. en la atmósfera en un margen situado entre 450 ppm. y 550 ppm (actualmente en torno a 430 ppm). Aún así, la temperatura de la Tierra subirá al menos 2°C con respecto al inicio de la Revolución Industrial⁵⁶. Para ello es imprescindible un “Acuerdo tipo KIOTO II” de carácter vinculante, que establezca un riguroso programa de reducción de emisiones y el empleo de herramientas económicas de apoyo a los planes de reducción.

Es necesario un liderazgo mundial frente a este problema. La ONU está tratando de ejercerlo, pero falta el auténtico liderazgo de EE.UU. que debería arrastrar a China cuanto antes, e incluso prepararla para ejercerlo dentro de quince años cuando es muy probable que se convierta en la principal economía del mundo. Junto a ellos, también se debería invitar a aportar ideas a la Unión Europea, dado su peso económico y el gran esfuerzo que está llevando a cabo para frenar el cambio climático.

La ciencia económica proporciona conceptos y teorías que permiten explicar las razones que provocan el mal funcionamiento del mercado, ayudan a cuantificar los costes “externos” o “sociales” y facilita herramientas muy valiosas para enfrentarse al problema, tales como el empleo de técnicas impositivas sobre el CO₂ emitido o la creación del mecanismo de mercado conocido como “cap and trade”, esto es un sistema de penalización y estímulo mediante el comercio de “derechos de emisión”, que permita ahorrar a las empresas que se enfrentan con éxito al problema de reducir sus emisiones e incluso obtener un beneficio vendiendo sus “derechos” a otras más contaminantes. Estas medidas deberían implantarse con carácter internacional y su eficacia ya ha sido demostrada.

⁵⁶ Ya ha subido aproximadamente 0,75°C desde la Revolución Industrial, la mayor parte en la segunda mitad del siglo XX.

Finalmente, es necesaria una política económica global (nacional e internacional) de apoyo a las nuevas tecnologías, algunas ya en fase muy avanzada de desarrollo, y a un amplio abanico de medidas que permitirían mejorar la eficiencia. Son las medidas de mitigación del cambio climático. Todas ellas, debidamente aprovechadas, pueden aportar soluciones de enorme interés ante el reto al que nos enfrentamos.

9. REFLEXION FINAL

El cambio climático es un proceso extremadamente complejo que requiere de un enfoque multidisciplinar para enfrentarse al mismo, esto es el concurso de expertos en múltiples áreas interrelacionadas. La ciencia económica puede ayudar a su comprensión y aportar soluciones, al igual que otras muchas disciplinas. Pero para ella, la obligación es mayor, si cabe, por ser este cambio consecuencia *“del mayor y más generalizado fracaso del mercado jamás visto en el mundo”*⁵⁷. Por otra parte, la economía aporta una visión global del problema y unas herramientas de enorme interés. En cualquier caso, todos los enfoques son necesarios ante la gravedad de este fenómeno, del mismo modo que todos los países deben actuar frente al mismo, dado su carácter “global”.

No hay tiempo que perder. La curva de Keeling ya ha alcanzado demasiada altura y, lo que es peor, demasiada pendiente. Además, deben tenerse presente las limitaciones de absorción de los sumideros naturales de carbono, los retrasos naturales de varias décadas en este tipo de procesos y las realimentaciones que tienden a acelerarlos. En definitiva, la naturaleza, a diferencia de lo que sucede con las crisis económicas *“no otorga planes de rescate”*, según frase afortunada de Jonathan Lash, presidente del Instituto Mundial de Recursos. Por todo ello, hay que reaccionar cuanto antes y la humanidad debe firmar urgentemente un nuevo Acuerdo vinculante que establezca límites a las emisiones de CO₂, en sustitución del Protocolo de Kioto, próximo a su vencimiento. Nuestros hijos y nietos nos lo agradecerán.

Gonzalo Sirvent Zaragoza⁵⁸
Contralmirante

⁵⁷ STERN Review. *La economía del cambio climático*. 2007, 1.

⁵⁸ Las ideas contenidas en los Documentos Marco son de responsabilidad de sus autores, sin que reflejen, necesariamente, el pensamiento del IEEE o del Ministerio de Defensa.

BIBLIOGRAFÍA

- TAMAMES Ramón, *Ecología y desarrollo*, Madrid, Alianza Editorial, 1985.
- MEADOWS Donella, MEADOWS Dennis y RANDERS Jorgen, *Más allá de los límites del crecimiento*, Madrid, El País Aguilar, 1992.
- DUARTE Carlos M. (Coordinador) y otros 13 autores, *Cambio global. Impacto de la actividad humana sobre el sistema Tierra*, Madrid, CSIC, Colección Divulgación, 2009.
- AL GORE, *Nuestra Elección. Un plan para resolver la crisis climática*, Barcelona, Gedisa, 2010.
- *Seguridad, modelo energético y cambio climático*, Cuaderno de Estrategia núm. 150, Madrid, IEEE, 2011.
- FLANNERY Tim, *El clima está en nuestras manos*, Madrid, Taurus, 2007.
- *Cambio climático 2007. Informe de síntesis*, Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), 2008 (acceso en www.ipcc.ch).
- *STERN Review. La economía del cambio climático*, 2007 (acceso en www.catedracambioclimatico.uji.es).
- ALLISON Ian y otros 25 autores, *The Copenhagen Diagnosis. Updating the world on the latest climate science*, 2009. (acceso en www.copenhagendiagnosis.org).