

Fundamentos científicos del calentamiento global: ¿Qué sabemos realmente? ¿Estamos tomando medidas para evitarlo?

Presentado en la XIII Jornadas Ambientales. Abril 2008. Universidad de Salamanca

Guillermo Sánchez (Trabaja en ENUSA Industrias Avanzadas. S.A. y profesor asociado en la Universidad de Salamanca, <http://web.usal.es/guillermo>)

Desde hace unos 35 años se está observando de forma clara un aumento apreciable de la temperatura media del planeta. ¿Nos encontramos ante un cambio climático excepcional? ¿Son los gases invernadero emitidos por los seres humanos los causantes? ¿Qué consecuencias puede tener? ¿Qué podemos hacer? A estas preguntas trata de responder el Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC). El IPCC se creó en 1988 a partir de la Organización Meteorológica Mundial y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Su objetivo principal es suministrar a los gobiernos información para la toma de decisiones relacionadas con el cambio climático. No realiza investigaciones, recopila lo que se va publicando en revistas solventes, seleccionando y transcribiendo a un lenguaje claro aquella información que considera más relevante. Son miles los artículos y científicos consultados. El IPCC lo componen distintos grupos de trabajo. Cada uno emite su informe técnico. Además, el IPCC elabora resúmenes para responsables políticos. Son estos los que acaban trascendiendo. En la redacción de estos resúmenes se cuenta con delegados de los gobiernos para asegurar, según se dice, que el lenguaje utilizado resulte claro para los responsables políticos. En este artículo nos referiremos al cuarto informe del IPCC, aprobado en Valencia en noviembre 2007. En él se concluye que hay indicios inequívocos de que nos encontramos en un calentamiento excepcional debido en parte a las emisiones de gases invernadero de origen antropogénico, sin embargo persisten muchas incertidumbres de cuales serán las consecuencias en lo que resta de siglo. En cualquier caso, parece claro que si no se reducen en breve sustancialmente las emisiones de gases invernadero la tendencia en el incremento de temperatura, y sus consecuencias asociadas, persistirán más allá del siglo XXI y podrían llegar a ser catastróficas. Sin embargo la falta de consenso sobre cuales deberían ser estas medidas y una confianza sobre las posibilidades de las energías renovables no fundada en datos realistas están retrasando la toma de medidas eficaces.,

La atmósfera de la Tierra en el pasado

El clima en la Tierra viene variando desde que hace más de 4000 millones de años la Tierra se rodeó de una atmósfera, en parte debido al impacto de cometas que la dotaron de casi toda el agua que ahora tiene. La atmósfera primigenia se parecería sustancialmente a la actual de Venus con un contenido altísimo en CO₂. Así se mantuvo durante más de 2000 millones de años. Entonces apareció la fotosíntesis y el CO₂ fue siendo sustituido por oxígeno. La irradiación solar ha ido aumentando desde la formación del Sol como consecuencia de las reacciones termonucleares que ocurren en su núcleo. Al principio casi todas las reacciones de fusión procedían de interacciones hidrógeno y helio. Tal cual se van consumiendo los isótopos de estos elementos se generan otras reacciones más energéticas con isótopos más pesados que aumentan la irradiación. Por esta causa la irradiación solar que recibe la Tierra ahora es 25% veces mayor que cuando se formó. En esa primera época el efecto invernadero causado por la alta concentración de CO₂ hizo que la temperatura del planeta se mantuviese sustancialmente por encima de la que le correspondía si no existiese ese CO₂, permitiendo que existiese el agua líquida. Incluso hoy en día sin CO₂ la temperatura media del planeta sería de 18 °C bajo cero.

Normalmente las variaciones climáticas se han ido produciendo de forma suave, en comparación con la vida humana, aunque periódicamente ocurren episodios catastróficos (vulcanismo intensivo, impactos de meteoritos, etc.) cuya principal consecuencia es provocar

cambios climáticos que han dado origen a extinciones masivas. La extinción más conocida es la de los dinosaurios en el cretáceo (hace 65 millones de años). Con anterioridad habían tenido lugar al menos cuatro grandes extinciones, siendo la más destructiva la del pérmico que acabó con el 95% de las especies.

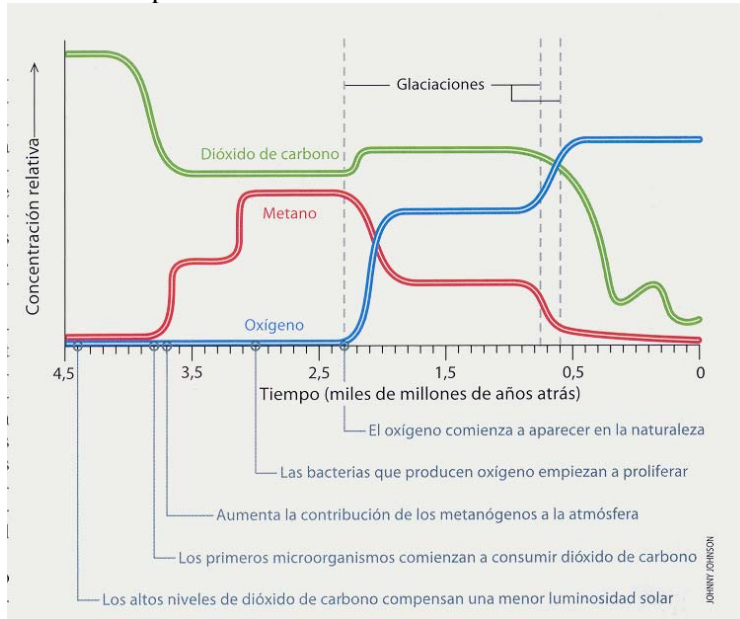


Fig. 1 Evolución de la composición de la atmósfera en la Historia de la Tierra.

Otro factor fundamental en los cambios climáticos son las glaciaciones que se producen cíclicamente debido a las características de la órbita terrestre. La última glaciación alcanzó su momento álgido hace 18000 años en el que una parte importante del hemisferio norte quedó cubierta por gigantescas capas de hielo de 3 o 4 km de espesor, similares a la del actual Inlandis en Groenlandia. El posterior deshielo incrementó el nivel del mar en 130 m. La tendencia natural del ciclo glacial hacia un enfriamiento progresivo se ha visto modificada por la intervención humana. En la actualidad deberíamos haber alcanzado el punto de inflexión de un periodo interglacial encaminándonos hacia una nueva glaciación. Sin embargo los datos parecen indicar lo contrario, al menos por el momento (Fig. 2).

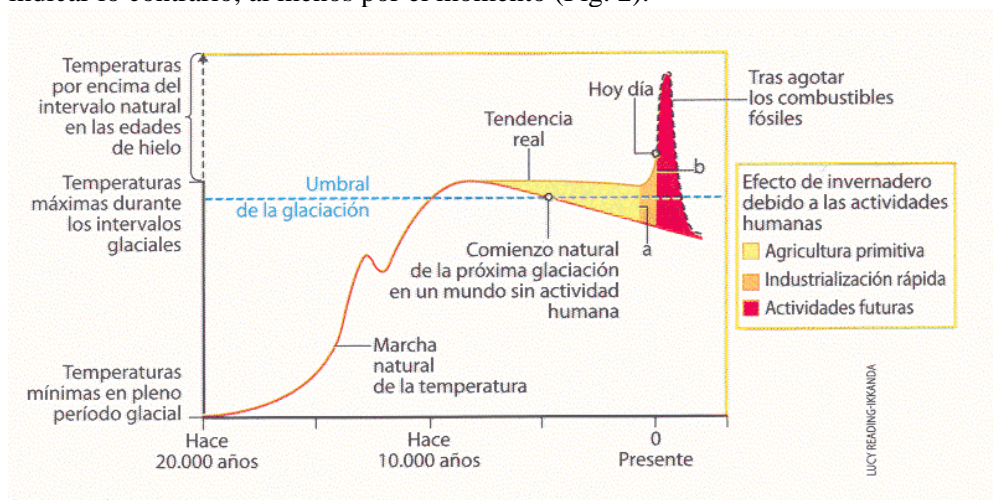


Fig. 2 Evolución relativa de la temperatura desde la última glaciación y proyección futura supuesto que tras unos cientos de años una vez consumida los combustibles fósiles se vuelve a al tendencia natural encaminándonos a una nueva glaciación. (Fuente Investigación y Ciencia. Colección Temas 45))

¿Está realmente cambiando el clima?

Desde 1850, que se tienen registros instrumentales, se ha producido un incremento de la temperatura media del planeta que ha sido mucho más evidente desde 1970 (Fig. 3). Se estima que de 1906 a 2005 el incremento medio fue $0.74\text{ }^{\circ}\text{C}$ (0.56 a 0.92) $^{\circ}\text{C}$, siendo más acusado en el hemisferio boreal. La casi totalidad del incremento observado se ha producido en los últimos 35 años.

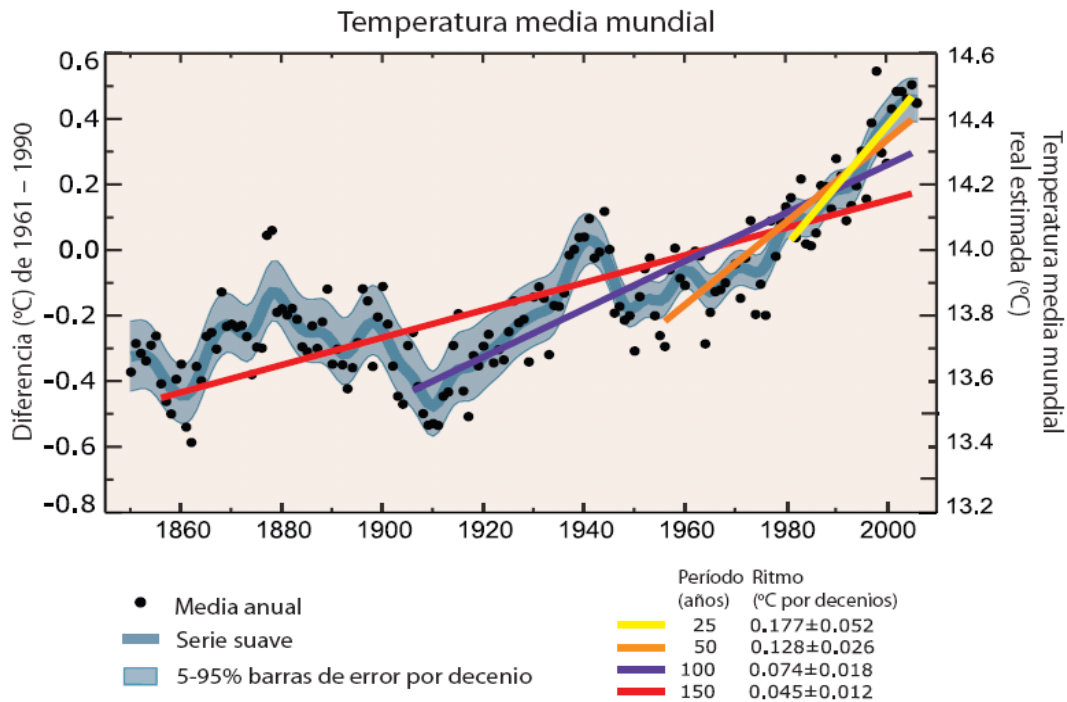


Fig. 3.- Evolución de temperatura (en el hemisferio norte) desde que se tienen registros instrumentales. Se toma como valor de referencia la media del periodo 1961-1990. (Fuente: 4º Informe IPCC)

Algo similar ha ocurrido con el nivel del mar que ha aumentado en los últimos años (1993-2003) a una tasa de 3.1 (2.4 a 3.8) mm/año (Fig. 6), casi el doble de la que se obtiene si consideramos un periodo más amplio. La mayor parte del aumento es atribuida a la expansión térmica del agua. También se observa una disminución en los hielos y en variaciones en la pluviométrica que ha aumentado en algunas zonas (ej.: Norteamérica y Sudamérica) disminuyendo en otras, como es en el Mediterráneo y en el Sahel. Respecto a los glaciares parece claro que algunos de los más importantes están disminuyendo su superficie. La superficie cubierta del hielo del Ártico también está disminuyendo. Es curioso que otros casos, como el Kilimanjaro que se muestra, por su espectacularidad, como paradigma de efecto del cambio climático probablemente no sea así. Se sabe que perdió la mayor parte de su capa helada antes de 1960, en un periodo en el que no se observaron incrementos de temperatura. Su deshielo es atribuido a un efecto de sublimación asociado a su posición en el ecuador. No es correcto mostrar una foto del Kilimanjaro de 1912 y otra de 2006 como ejemplo de efectos del cambio climático, sin indicar que en 1960 la situación ya era muy parecida a la actual.

El 4º informe del IPCC es menos concluyente en sus apreciaciones cuando se refiere a periodos más largos. Por ejemplo dice que probablemente (con un 66% de probabilidad) la segunda mitad del siglo XX es el periodo más cálido de los últimos 1300 años. Del año 950 al 1100 fue una época calida, aunque de unas décimas de grado menos que la actual. Hace pocos años viajé a Groenlandia y visite el primer asentamiento en dicha isla que fue realizado por el vikingo Eric El Rojo en torno a 980, en plena época calida. Los vikingos abandonaron

Groenlandia alrededor del año 1400, coincidiendo con el inicio de un periodo frío, conocido como la Pequeña Edad del Hielo, que se prolongaría más de cuatro siglos.

Otro episodio climático pudo ser una de las causas que provocaron el fin de la civilización maya. Cuando se visita el corazón de la misma (Mesoamérica) sorprende que de forma repentina se colapsara dicha civilización con un abandono masivo de sus ciudades con imponentes construcciones. La composición isotópica del oxígeno encontrado en las conchas fósiles procedentes de sedimentos de los lagos de la península del Yucatán muestra que en dicha zona se produjo un periodo extraordinariamente seco, en torno a 1100-1300, que justamente coincide con el fin de la civilización maya (¿Coincidencia o causa?). Por eso es fundamental dilucidar si el incremento de temperatura observado en los últimos años es realmente excepcional. Parece ser que es así, al menos para los últimos 1300 años en los que los datos de temperatura se conocen con una precisión alta. Así se ha podido deducir por varios caminos (las capas que forman los troncos de árboles antiguos, composición de hielos permanentes, etc.). Para periodos de hasta 400000 años se utilizan como indicador de temperatura las composiciones isotópicas del oxígeno e hidrógeno obtenidas de muestras de hielos permanentes procedentes del Inlandis y del continente antártico. El grado de precisión es insuficiente para asegurar categóricamente, como algunos hacen, que la temperatura actual es la más alta de ese periodo. También se utiliza como referencia el nivel del mar: menor temperatura provocaran más hielos sobre las superficies continentales y consiguientemente un nivel del mar bajo y viceversa. Así sabemos que en el actual periodo interglaciar (el Holoceno), el nivel del mar es más bajo en 2 o 3 metros que en el anterior periodo interglaciar (el Eemianense) que se produjo hace unos 70000 años. De ello se deduce que en ese periodo las temperaturas fueron probablemente más altas que las actuales. Con esto lo que pretendo poner de manifiesto es que las afirmaciones categóricas del tipo “la más alta de 200000 años” y otras parecidas hay que tomarlas con mucho escepticismo. Lo importante no es saber si tenemos el récord temperatura del cuaternario. Lo importante es dilucidar si nuestra influencia sobre el clima es lo suficientemente importante como para que se vuelva contra nosotros mismos.

¿Es el hombre responsable del cambio climático?

Entre 1995 y 2006 se han registrado los 11 años (sobre 12) más calurosos desde que se tienen registros instrumentales (1850). Desde un punto de vista estadístico es muy improbable que se produzca una racha continuada de incrementos de temperatura de forma aleatoria. De persistir la tendencia de los últimos 50 años estaríamos ante variaciones en las condiciones climáticas extraordinarias. Sabemos que deberíamos encaminarnos a un periodo glacial, el suave enfriamiento esperado es compensado sobradamente por una tasa de incremento de temperatura muy superior. No obstante a largo plazo (15000 -2000 años), sin la distorsión producida por el hombre, podemos asegurar que acabaremos en una nueva edad del hielo, donde gran parte de lo que ahora denominados Mundo Desarrollado quedará cubierta por el hielo. No cabe duda de que si la civilización que conocemos sigue hasta entonces deberá tomar medidas para evitar el enfriamiento global. Puede parecer paradójico pero de esta afirmación podemos estar mucho más seguros que de cual será el clima dentro de 300 años. Por ahora parece que lo más razonable es preocuparnos por el siglo en el que estamos.

El clima es algo verdaderamente complejo. Esquemáticamente podemos decir que los agentes que más contribuyen a su evolución global son: la irradiación solar y terrestre (la desintegración radiactiva de los isótopos naturales y el enfriamiento del manto son una fuente de irradiación interna), la composición de la atmósfera (incluido gases y aerosoles), el agua en su distintas formas (océanos, hielos, nubes), y el albedo superficial (reflectividad de la superficie terrestre. Por ej.: la nieve refleja más que los bosques). De los factores anteriores donde más puede actuar el hombre es en la composición atmosférica, reduciendo hasta casi eliminar la emisión de gases invernadero (CO₂, metano, óxido nítrico y halocarburos). Pero también puede intervenir sobre los cultivos que modifican el albedo e influyen en la presencia de CO₂ y metano (las plantaciones de arroz son grandes emisoras de éste gas). Probablemente la extinción de

especies que se está observando este más influida por la ocupación de espacios por la especie humana que por cualquier otra causa, incluido el cambio climático.

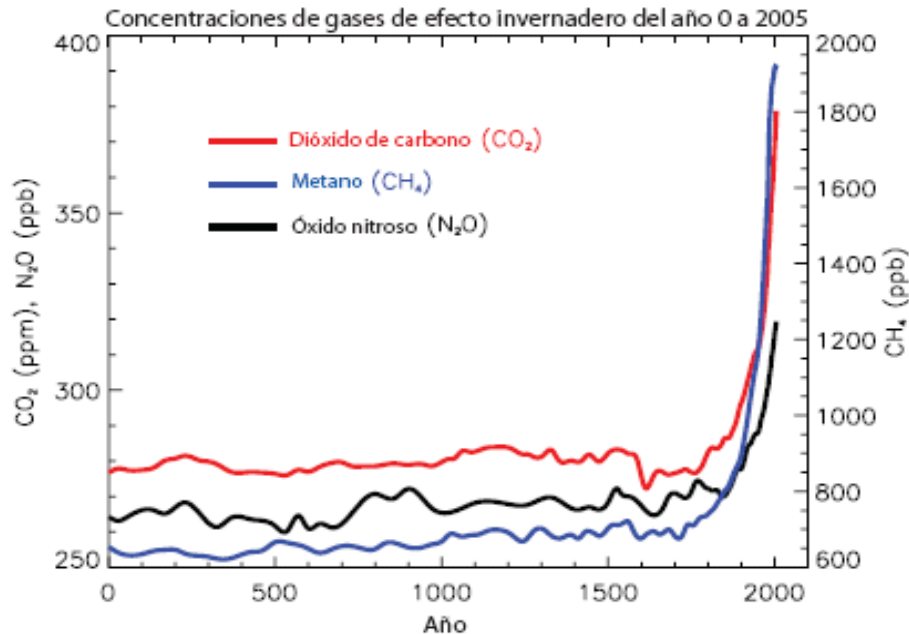


Fig. 4.- Evolución de los gases invernadero en los últimos 2000 años. Aunque el aumento ha sido sustancial en los últimos años, debe tenerse en cuenta que en la grafica como base de la escala se toma 250 ppm de CO₂ y 600 ppm de N₂O. (Fuente: 4º Informe IPCC)

La composición de la atmósfera se conoce con bastante precisión para un periodo de más de 600000 años (La Fig. 4). Esto es posible pues la nieve al caer atrapa los gases de la época, cuando se hiela los gases quedan confinados en el hielo. En zonas de hielos permanentes como la Antártida y Groenlandia, las capas de hielo más profundas tienen una antigüedad de casi un millón de años, las muestras obtenidas de estas capas son un autentico viaje al pasado. Ese periodo abarca las últimas cuatro glaciaciones. Los resultados muestran que en los periodos interglaciares la concentración de CO₂ es sustancialmente más alta que en plena glaciación. Esto sugiere que, dado que las glaciaciones tienen un origen astronómico, el cambio de la concentración de CO₂ podría producirse como consecuencia de variaciones en la temperatura y no a la inversa. El acuerdo general es que se trata de un efecto de retroalimentación en el que ambos factores intervienen. Sin embargo desde el inicio de la época industrial, hace unos 200 años, la concentración de gases invernadero está experimentando un incremento drástico. Es razonable pensar que este incremento esté relacionado con la actividad humana. Los datos son mucho más concluyentes desde 1955, gracias al empeño de un científico, Keeling, que instaló un medidor de CO₂ en Hawaii, donde se ha comprobado un incremento continuado de CO₂ registrándose en los últimos 10 años la concentración más alta del periodo. Pero aun así ¿podemos estar seguros que somos los humanos los responsables del incremento de estos gases? El IPCC entiende que así es. Argumenta que algunos gases invernadero (como los halocarburos) no se producen en la naturaleza. En el caso de otros gases se observa que las concentraciones más altas se dan en las zonas más densamente pobladas. Además, en el caso del CO₂ su composición isotópica muestra que en gran parte procede de la combustión de los combustibles fósiles. Esto se sabe pues los combustibles fósiles prácticamente carecen de carbono 14 ya que éste se ha desintegrado en su totalidad, el CO₂ de origen natural presenta una concentración relativamente constante de ¹⁴C debido a que se produce en la estratosfera continuamente por las interacciones con los rayos cósmicos.

Hay otros factores que refuerzan la hipótesis de que el cambio climático está influenciado sustancialmente por la intervención humana:

a) El calentamiento es mayor sobre el continente que sobre el océano y mayor en la superficie del mar que en las capas profundas. Esto se explica suponiendo que el calentamiento inducido

por gases invernadero de origen antropogénico: primero calientan la troposfera (la atmósfera más próxima a la superficie), a continuación las aguas superficiales desde donde se va transmitiendo hacia aguas profundas.

b) La troposfera se ha calentado mientras que la estratosfera (que está inmediatamente encima) se ha enfriado. También se explica asumiendo que el origen son los gases invernadero antropogénicos que calientan la troposfera y a su vez disminuyen el ozono estratosférico (éste tiene un efecto de enfriamiento). Si la causa fuese cambios en la irradiación solar ambas capas se calentarían por igual.

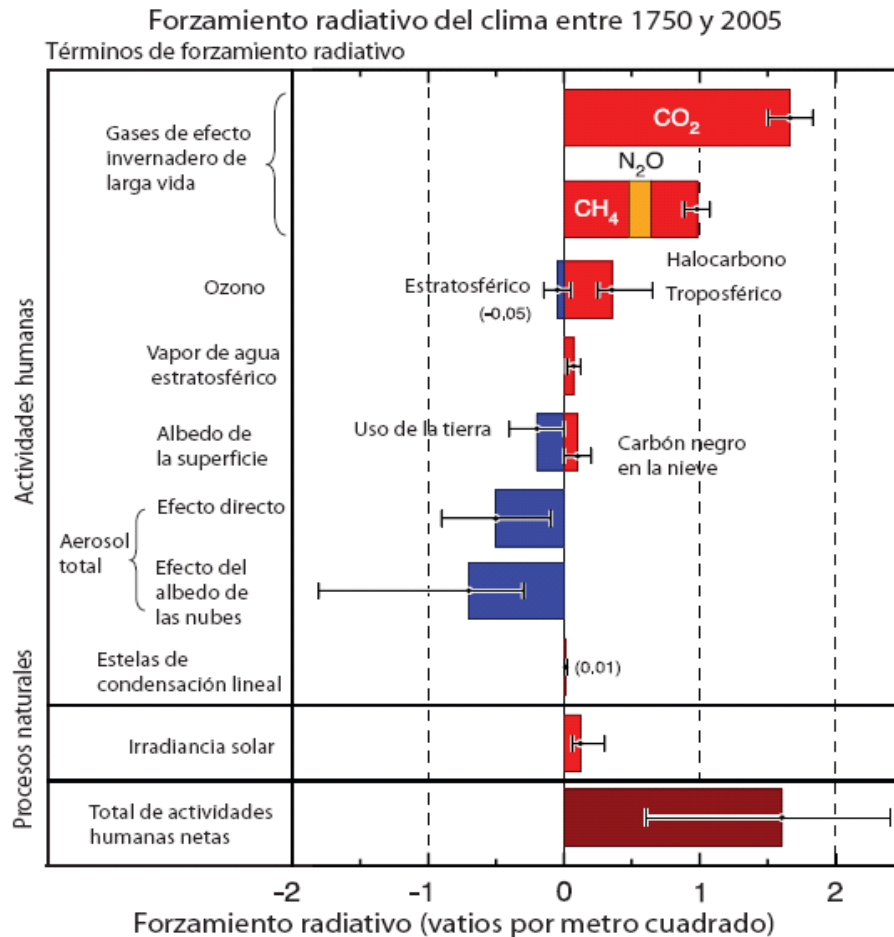


Fig. 5.- Reforzamiento radiativo (RF) actual para los factores más significativos que inciden en el balance energético. Se incluye los intervalos de confianza calculados con un 90% de incertidumbre. El balance neto promedio es 1.6 W/m², que corresponde al calor que queda atrapado en el planeta.(Fuente: 4º Informe IPCC)

¿En qué medida el incremento de estos gases afecta al clima? Para cuantificar estos procesos se recurre al concepto de forzamiento radiativo. Se entiende por tal al cambio causado en el equilibrio global de energía de la Tierra con respecto al que tenía en la época preindustrial, se expresa en vatios por metro cuadrado. La fig. 5 muestra el estado del conocimiento actual sobre los factores que más contribuyen el forzamiento radiativo. Se puede observar que además de los gases invernadero hay otros factores que también influyen de forma significativa. Algunos presentan un carácter fuertemente negativo, como los aerosoles que impiden el paso de la luz solar causando un efecto de enfriamiento. Se presenta una situación aparentemente paradójica: Las medias que se han tomado para reducir la emisión de partículas estarían contribuyendo a acelerar el efecto invernadero, esto explicaría parcialmente la aceleración en el incremento de temperatura producida en últimos años. El resultado global de la fig. 2 es que el reforzamiento radiativo de origen antropogénico en media es de 1.6 W/m² pero el verdadero

valor estará con un 90% de probabilidad en el intervalo $(0.6 - 2.4) \text{ W/m}^2$. Esta cifra corresponde al balance entre la energía que nos llega del Sol que en media es 340 W/m^2 , y la energía saliente que es 338.4 W/m^2 . En un sistema en equilibrio el balance es cero, pero vemos que es 1.6 W/m^2 (equivale a una pequeña bombillita navideña cada metro cuadrado de superficie terrestre, incluidos océanos, brillando permanentemente). Puede parecer poco pero van alejando a la Tierra de las condiciones de equilibrio. Este calor es atrapado y su energía se disipa calentando los océanos y fundiendo las capas de hielo y nieve. El intervalo de incertidumbre es considerable $(0.6 - 2.4) \text{ W/m}^2$ y las consecuencias variarán mucho dependiendo si el valor real está más cerca del límite superior o del inferior. Cuando se intentan hacer valoraciones sobre efectos locales las incertidumbres aumentan. La atmósfera es un ente global en la que los sucesos concretos no se pueden sustraer del conjunto pero establecer relaciones entre hechos locales, como el huracán Katrina, y el cambio climático cae dentro de la especulación, aunque se justifique citando al efecto mariposa, frecuentemente mal interpretado.

¿Podemos predecir el futuro?

La situación es aún más complicada cuando se intentan hacer predicciones a largo plazo. En algo tan complicado como es el comportamiento de la atmósfera no se dispone de modelos que, a semejanza de las leyes de Newton, puedan predecir con exactitud el futuro. Los modelos se contrastan con el pasado combinando la evolución sin efecto antropogénico más el reforzamiento radiativo producido por la intervención humana. El resultado se compara con la evolución que realmente se ha producido obteniéndose una concordancia aceptable. Aun así sigue persistiendo grandes incertidumbres en el tratamiento de algunos parámetros, especialmente en el tratamiento de las nubes. Los modelos deben ser alimentados con distintos supuestos de tasas de emisiones de gases invernadero, y esto es mucho más difícil de prever. Por ejemplo.: España emite casi un 35 % más de lo que se comprometió a emitir en el acuerdo de Kioto. Para tratar estos casos el panel ha estudiado distintos escenarios para varios supuestos de emisión. Con las reservas anteriores el panel da como estimación más probable un aumento de la temperatura media global para finales del siglo XXI de 1.8 a 4°C. Este rango es suficientemente amplio como para que las consecuencias varíen sustancialmente según nos encontremos en el límite inferior o superior del rango.

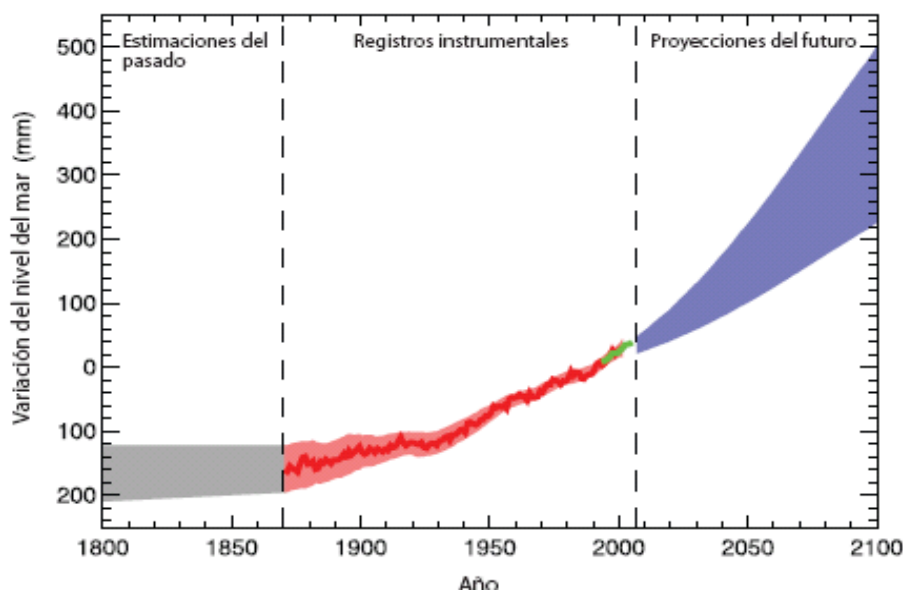


Fig. 6.- La curva, con sus correspondientes barras de incertidumbre, representa la evolución pasada y la predicción para este siglo. En el escenario peor a finales del siglo XXI se producirían incrementos de temperatura de hasta 6°C mayores que las actuales. Se da la circunstancia que la situación presente corresponde a los escenarios más pesimistas de informes pasados del IPCC. (Fuente: 4º Informe IPCC)

El IPCC hace estimaciones sobre el incremento del nivel del mar (Fig. 6), llega a la conclusión de que a finales de siglo se habrá producido un aumento de 30 a 40 cm, a la que habría que añadir el deshielo que observa en Groenlandia y la Antártida que podrían contribuir con otros 20 cm. Aunque importantes 50 o 60 cm dentro de 100 años no parece alarmante. Sin embargo el informe del IPCC sostiene que debido a la inercia térmica los efectos del deshielo, aunque se eliminen sus causas, persistirían en el siglo XXII y más allá hasta alcanzar las condiciones de equilibrio. El incremento del nivel del mar en el equilibrio se estima que estaría en un rango 1.0 a 3.7 m sobre el actual, según las hipótesis de emisión consideradas.

Los modelos utilizados por el IPCC suelen realizar tratamientos lineales y sin embargo sabemos que cuando se está lejos del equilibrio los efectos no lineales cobran una importancia relevante pudiendo modificar sustancialmente las conclusiones. Un efecto no lineal es el generado por la saturación de los océanos en su capacidad de actuar como sumidero de CO₂. Se sabe que el mar absorbe gran parte del CO₂ que acaba convertido en carbonatos. A partir de cierto momento el mar no será capaz de diluir el CO₂ que le llega o lo hará con una velocidad mucho menor. En esa situación aunque se mantuviese constante las emisiones de CO₂ la concentración se iría incrementando exponencialmente y en consecuencia se experimentaría una aceleración en el calentamiento. Tal vez este efecto ya se está produciendo. Otros efectos no lineales serían la mayor presencia de nubes como consecuencia de temperaturas más altas que en vez de calentar producirían enfriamiento. Respecto a esto el panel reconoce que son incógnitas abiertas que propone sean investigadas. En definitiva, no sabemos como estamos de alejados de la situación de equilibrio ni somos capaces de predecir los efectos no lineales. Según las interpretaciones de James Lovelock (La venganza de la Tierra. J. Lovelock. Ed. Planeta. 2007) estamos alejándonos peligrosamente del equilibrio y caminamos a una situación de no retorno. Su argumento es el siguiente: Sabemos que desde principios de siglo XX la concentración de CO₂ ha ido aumentando a razón de 1 ppm/año hasta alcanzar 379 ppm en 2006. En estos momentos el ritmo de crecimiento es de 2 a 3 ppm/año. En 30 o 40 años llegaremos a 500 ppm y entonces el desequilibrio será tal que ya no se podrá tomar ninguna medida, el nivel del mar subirá en 8 o 9 m unos años después. Lo único que podrá hacerse es prepararse para los cambios inevitables que se avecinan. La hipótesis podría ser descartada sin más, sin embargo Lovelock es una prestigiosa autoridad (autor de la hipótesis Gaia) que ha visto confirmados muchos de los planteamientos que realizó en el pasado. Como solución para mitigar las consecuencias propone un recorte drástico de las emisiones de CO₂ mediante un plan muy ambicioso de construcción de centrales nucleares.

Consumo de energía y emisiones de gases invernadero

La emisión de gases invernadero por el hombre es en la actualidad atribuible en gran parte a consumos energéticos (alrededor 75%). Una parte importante de esta energía (Fig. 7 y 8) se destina a producir electricidad, pero tienen un consumo parecido el transporte y los usos industriales. Además casi la mitad de la electricidad producida en España no quema combustibles fósiles (nuclear, hidráulica y eólica).

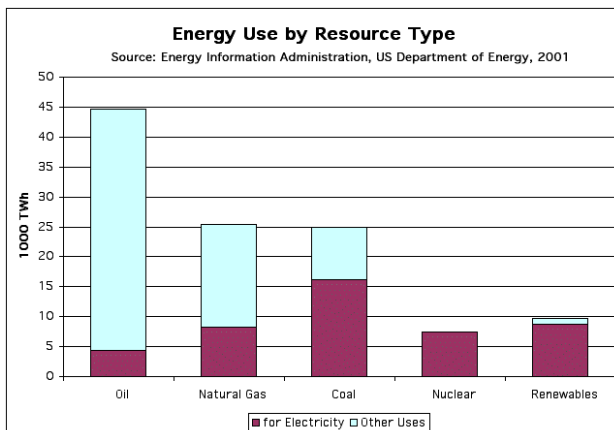


Fig. 7.- Consumo mundial de energía primaria.

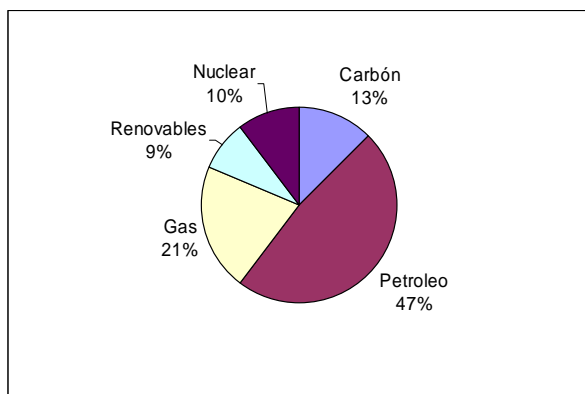


Fig. 8.- La energía primaria en España (2006). En las energías renovables se incluye la hidráulica.

El consumo energético está muy asociado al nivel de desarrollo. Una forma de percibir el problema es analizar las emisiones por habitante (Fig. 9). Sólo en España las emisiones equivalen a 7.5 t UO₂ al año. Es decir, los miembros de una casa de 4 personas emiten al año ¡30 toneladas de CO₂!

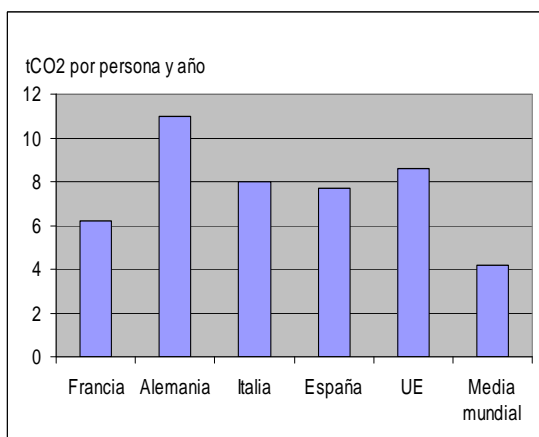


Fig. 9.- Emisiones mundiales de CO₂ per capita. Una parte muy importante es atribuible al transporte por carretera

¿Qué podemos hacer?

El primer intento serio para intentar reducir las emisiones de CO₂ fue el protocolo de Kioto. Su aplicación está lejos de los objetivos marcados (Fig. 10). Sólo los países que partían de elevadas emisiones han podido cumplirlo. Hay casos como Alemania cuya reducción de emisiones tiene un origen importante una reestructuración de la antigua industria de la antigua Alemania Democrática, que inevitablemente tenían que realizar. Por las características de dicho protocolo (las emisiones se fijaron en base a las que cada país tenía en 1990) se da la paradoja de que España a pesar de emitir mucho menos que Alemania es un claro incumplidor mientras que a Alemania le ocurre lo contrario.

El protocolo de Kioto no contempla las emisiones procedentes del transporte. Sólo en el transporte por carretera se emite tanto CO₂ como en la generación de electricidad (Estudios 04 Caixa Catalunya). Cuando vayamos en el coche recordemos que estamos emitiendo en CO₂ aproximadamente el consumo del coche multiplicado por 3. Por ejemplo: Un coche que consuma 7 L cada 100 km, emite en el mismo trayecto unos 21 kg de CO₂. No pasar de 110

km/h puede ser mucho más eficaz que sustituir todas las bombillas de una casa por bombillas de bajo consumo, aunque esto también hay que hacerlo.

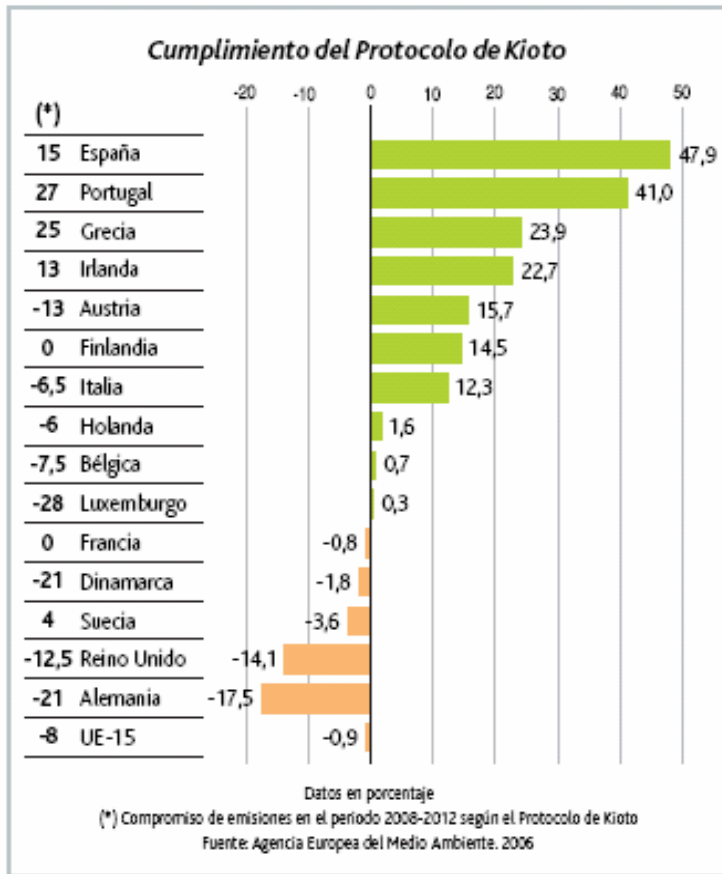


Fig. 10. Desviación de las emisiones de CO₂ respecto a 1991 que se toma como referencia en el tratado de Kioto (A España se le admitió incrementar las emisiones el 15 % respecto a 1991 está claro que las ha superado ampliamente)

En el resumen del 4º informe del IPCC para responsables políticos, aprobado en Valencia en noviembre 2007, en lo relativo a las medidas que sobre energía, se proponen las siguientes acciones para mitigar las consecuencias del cambio climático:

- Mejorar la eficiencia en los medios de suministro y transporte de la energía.
- Ir sustituyendo el uso del carbón por gas.
- Uso de la energía nuclear
- Empleo de energías renovables
- Aplicación de métodos de captura del CO₂ producido por las centrales de combustibles fósiles, y almacenamiento en yacimientos de gas agotados.

Admitiendo que probablemente son las únicas medidas que pueden recomendarse, desde nuestro punto de vista, no está claro que en un plazo razonable puedan ser realmente efectivas.

i) La eficiencia energética debe ser la principal línea de actuación, pero aunque se está mejorando sustancialmente continuamente surgen nuevos consumos (por ej: hace años el empleo de equipos de aire acondicionado en Andalucía era excepcional, los coches no tenían aire acondicionado, etc., ahora pocas personas están dispuestas a renunciar a ello). Además una parte muy importante de la población mundial esta saliendo de la miseria y ello conlleva inevitablemente un aumento del consumo energético. Aunque la eficiencia continúe aumentando sólo en un reducido numero de países, los más ricos, tendrá como consecuencia una reducción de las emisiones de CO₂.

ii) El empleo del gas metano en lugar de carbón o petróleo aparentemente reduce el efecto invernadero pues para producir la misma energía se emite menos de la mitad de CO₂ que con el carbón. Sin embargo se sabe que el metano produce 20 veces más efecto invernadero que el CO₂, y existen serias sospechas sobre las fugas de metano en el transporte desde los pozos hasta su combustión. Si éstas son del orden del 1% (como en algunos informes se apunta) su efecto sería similar al carbón y al petróleo.

iii) El empleo de técnicas de captura de CO₂ está lejos de ser una técnica comercialmente operativa. Hay contadísimas instalaciones en operación. Cuando se calcula el volumen que se tendría que disponer para almacenar una parte significativa del CO₂ generado por centrales de combustibles fósiles se obtiene cifras impracticables, mucho más si este material hay que trasladarlo a pozos agotados de gas. Además no hay ninguna garantía que no acabe a la larga en la atmósfera (confinar miles de kilómetros cúbicos de gas es mucho menos seguro que uno miles de metros cúbicos de residuos radiactivos).

iv) Las energías renovables serán cada vez más importantes pero, aparte de su elevado coste, están estrechamente asociadas a condiciones meteorológicas y no permiten tener garantía de suministro (como ejemplo véase la gráfica) ni su impacto ambiental es nulo.

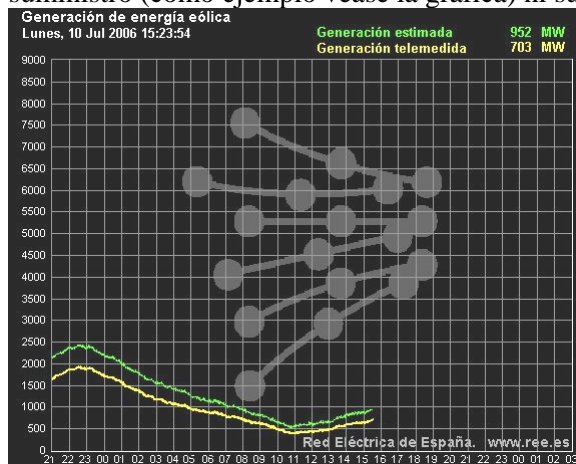


Fig. 11. Seguimiento en tiempo real del suministro de energía eólica un día de verano. Ese día había una alta demanda de electricidad y los aerogeneradores funcionaban con un rendimiento menor del 10%. Esta situación no es excepcional, ocurre frecuentemente en verano cuando se dan condiciones anticiclónicas y el viento no sopla. En la actualidad en España hay instalados 14 GW eólicos frente a 8 GW nucleares, y estos últimos suministran el doble de electricidad que los eólicos. Los días que la energía eólica supera a la nuclear suele ser noticia en los telediarios

Hace unos años la gran esperanza era la generación de electricidad solar fotovoltaica, sin embargo a pesar de las altas inversiones realizadas está lejos de ser competitiva. En la actualidad, si exceptuamos la electricidad de origen hidráulico, las energías renovables representan menos del 2% de la energía primaria mundial. Naturalmente hay que contar con estas fuentes de energía. Su importancia en el futuro seguirá creciendo (La Unión Europea se ha marcado el objetivo de llegar al 20% en 2020) pero por si misma no podrán ser un sustituto de los combustibles fósiles. Escenarios donde se contempla que el 50%, o más, de la energía primaria sea renovable a mediados de este siglo XXI suelen asumir desarrollos futuros más basados en los deseos que en los datos. El propio IPCC es consciente de ello.

Entre las energías renovables se suele incluir a los biocombustibles. No es extraño ver como se anuncia un vehículo, barco u otro medio de transporte, como ecológico pues usa biocombustible. Realmente esto sería cierto en un ciclo ideal, imposible en la práctica, donde la generación de los biocombustibles no supusiese consumo energético alguno y estos se obtuviesen del cultivo de tierras baldías. El ciclo completo de obtención del biocombustible puede requerir, dependiendo del tipo de cultivo, hasta el 80% de la energía producida por este, es decir tendríamos un ahorro en las emisiones del 20%. Hay casos mucho mas favorables como es el basado en el etanol obtenido de la caña de azúcar, pero ello puede requerir la deforestación masiva. Los biocombustibles son parcialmente responsables del espectacular enriquecimiento de algunos alimentos. En mi opinión, el empleo de biocombustibles no puede descartarse pero hay

que ser conscientes de sus limitaciones y restringirlos a zonas que no puedan destinarse a zonas de cultivo para alimentación. Incluso hay voces muy cualificadas que se manifiestan contra su uso, como Hartmut Michel, Premio Nobel de Química por trabajos sobre la fotosíntesis quien declaraba (El País: 12-09-2007) :

“...la producción y el uso del biogás o el biocombustible no son neutrales en cuanto a la producción de CO₂, porque al menos el 50% de toda la energía contenida en el biogás o en el biocombustible procede de fuentes fósiles.”. “Para producir algunos biocombustibles, como el etanol, hace falta invertir mucha energía en forma de fertilizante, ...). Los biocombustibles están fomentando la pérdida de selva tropical en Indonesia, Malasia, algunas zonas de África y en Brasil. [El periodista pregunta:..., ¿por qué todo el mundo apuesta por ellos?]. Es que son una idea muy atractiva, el término bio vende mucho... Pero no soy el único que critica los biocombustibles. Basta hacer los cálculos”.

v) La energía nuclear permite obtener una cantidad enorme de energía de una masa muy pequeña (Por ejemplo: consumo de una casa ---2500 kWh/año --- puede obtenerse con 7g de uranio al año. La existencia de los residuos radiactivos ha jugado en su contra, sin embargo conviene cuantificar el problema: En España se generan 500 m³ de residuos radiactivos de alta actividad al año, que es un volumen realmente pequeño. Incluso de estos residuos podría recuperarse más de un 95% que podrían reutilizarse para producir energía. El uso de la energía nuclear, en versiones borrador del documento final del IPCC aparecía recomendada con reservas destacando algunas presuntas debilidades. En la versión final dichas reservas han desaparecido y se recomienda su empleo sin matizaciones, a pesar de que representantes del gobierno español intentaron que se mantuviesen reservas sobre su uso. Sin embargo todavía es contemplada por los políticos y por la población como una solución incómoda. Incluso en las previsiones más optimistas contemplan un porcentaje mundial de energía nuclear para 2030 parecido al actual (la energía nuclear es el 6-8% de la energía primaria mundial). Las existencias de uranio son limitadas (60 o 70 años de reservas conocidas a precios razonables), sin embargo el uranio en los reactores actuales sólo se consume el 1.5% del total y hay tecnología disponible (reprocesado) que podría obtener 70 veces más energía del mismo material. Además el torio, más abundante que el uranio, también es utilizable para generar energía nuclear. Por tanto, potencialmente se podría producir energía nuclear de fisión para miles de años. Las campañas antinucleares contribuyen a que este tipo de energía sea impopular. Sin embargo en sectores del ecologismo surgen opiniones favorables a esta energía. Al respecto son interesantes las siguientes declaraciones de ecólogos y ecologistas destacados:

James Lovelock, autor de Gaia, declaraba (El Mundo 08/03/2007) : “[A la pregunta: los ecologistas, para los que usted ha sido un venerado ídolo, le consideran un perverso traidor respondía] *“Me entristece profundamente.. Para mí, son ellos los que realmente se equivocan y, sin darse cuenta, han traicionado al movimiento verde”.....Es la única opción viable para salvar a la civilización humana del cambio climático. Le puedo asegurar que no se puede mantener el suministro de energía para una ciudad como Madrid con molinos eólicos. ¿Qué pasaría en los periodos sin viento? Creo que los verdes no se han planteado en serio las consecuencias prácticas de su postura”.*

Patrick Moore, cofundador de Greenpeace decía (Washington Post 16-04-2006): *“In the early 1970s when I helped found Greenpeace, I believed that nuclear energy was synonymous with nuclear holocaust, as did most of my compatriots. That's the conviction that inspired Greenpeace's first voyage up the spectacular rocky northwest coast to protest the testing of U.S. hydrogen bombs in Alaska's Aleutian Islands. Thirty years on, my views have changed, and the rest of the environmental movement needs to update its views, too, because nuclear energy may just be the energy source that can save our planet from another possible disaster: catastrophic climate change”*

Estigmatizar ciertas energías, como la nuclear, y presentar otras como una panacea de los problemas energéticos no favorece la resolución real. De hecho, en mi opinión, está retrasando la toma de decisiones eficaces. James Lovelock, decía (El País, 07-03-2007): “Dudo que nos queden más de diez años para encontrar respuestas que nos ayuden a salvar nuestro planeta”.

En la actualidad los programas nucleares en EE UU y Europa Occidental se están volviendo a relanzar, motivados fundamentalmente por el elevadísimo coste del gas y de los derivados del petróleo. En Asia nunca se abandonaron. Algunos de los proyectos de los denominados reactores de cuarta generación permitirían generar hidrogeno que podría ser utilizado en los coches.

En la lucha contra el cambio climático el factor determinante será el coste de los combustibles fósiles. Un petróleo por encima de 100 dólares el barril puede ser un arma más eficaz contra el cambio climático que el protocolo de Kioto, aunque si no se toman rápidamente medidas para desarrollar otras energías los efectos colaterales serán importantes.

A la larga la tecnología va por caminos imprevisibles, y seguramente en algún momento del futuro, técnicas ahora impensables, probablemente basadas en reacciones nucleares, sustituirán favorablemente a las actuales. Aún en ese caso, en temas energéticos, los cambios requieren decenas de años y tal vez no dispongamos de ese tiempo. Debemos aprovechar lo que conocemos.

Bibliografía

Informes del IPCC: <http://www.ipcc.ch>

Fundamentos físicos del cambio climático. W. Collins y otros. Investigación y Ciencia. Octubre 2007.

El cambio climático. Colección de artículos de diversos autores. Tema 45. Investigación y Ciencia. Tercer trimestre 2006.

El calentamiento global. S. Weart. Ed. Laetoli. 2007.

Estudios 04 Caixa Catalunya: Aspectos económicos del cambio climático en España, coordinado por Javier Martín Vide. 2007