El cambio climático y sus consecuencias

Planteamiento

Nos preocupa el estado de nuestro entorno natural, tanto el local como el global; en pocas décadas la visión ciudadana de que la Tierra se deteriora ha crecido significativamente, se constata que se pierden masas forestales, que avanza la desertización, que tenemos problemas con el suministro de agua, o que las costas y el mar se degradan. Perdemos biodiversidad y aparecen amenazas de efectos desconocidos, por ejemplo la "carga química" que arrojamos al entorno sin conocer su ciclo de vida.

Como respuesta a ello aparecen foros de discusión y propuestas que tratan de frenar esa evolución de nuestro entorno hacia situaciones que intuimos menos favorables para la vida del hombre y de las demás especies. En este documento se va a reflexionar sobre "El Cambio Climático", que tiene componentes antropogénicas diversas, entre ellas en primer lugar los usos de la energía, pero que además presenta aspectos de comportamiento social y económico conexos con el modelo energético y económico que no se pueden dejar de lado.

El hombre ha evolucionado de forma significativa en los últimos siglos, y en su incremento de la capacidad de actuación sobre el entorno puede ya incidir sobre el clima que haya en la Tierra, ya en este siglo y previsiblemente en los próximos. Este fenómeno se conoce como Cambio Climático, es más complejo que como se suele presentar con frecuencia: una relación directa entre emisiones de gases de efecto invernadero y la elevación de la temperatura media del planeta.

La Tierra es uno de los pocos planetas del sistema solar en el cual se ha podido desarrollar la vida, tal como nosotros la percibimos y la entendemos, gracias a que en la Tierra se ha mantenido una cantidad importante de agua, en buena medida en forma líquida, protegida por una atmósfera peculiar. Los otros dos planetas con esa posibilidad teórica de conservar agua eran Venus y Marte, en los que finalmente parece que no se han dado, o no se han mantenido, esas condiciones atmosféricas especiales.

Sobre la Tierra, en su atmósfera, hay y ha habido en el pasado una concentración de ciertos compuestos entre los cuales destacan: el dióxido de carbono, CO_2, y el metano, CH_4, que actúan reflejando parte de las radiaciones térmicas que emite nuestro planeta hacia él, con ello se evita un enfriamiento excesivo de la Tierra, en particular durante las noches, como ocurre en otros astros en los que no existe esa capa protectora.

La presencia de esos dos gases, CO_2 y CH_4, ha tenido distinta concentración a lo largo de la Historia de la Tierra. Hay que señalar que además hay otros gases de efecto invernadero cuya incidencia es minoritaria, el óxido hiponitroso, N_2O, y ciertos compuestos de flúor, cloro y bromo. Un esquema del efecto invernadero en la Tierra se ve en la figura 1.

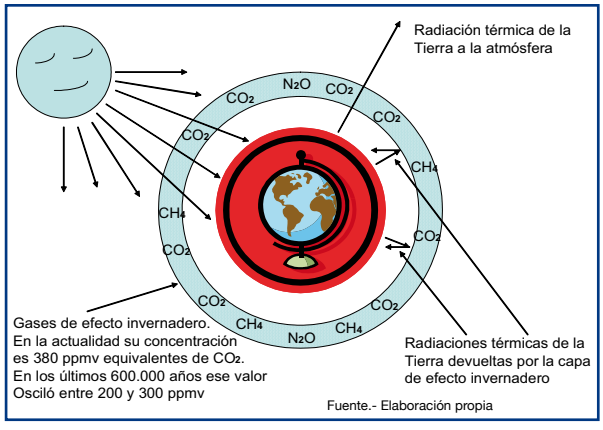


Figura 1. Esquema simplificado del comportamiento de los gases de efecto invernadero.

CAPÍTULO 2.1

Las radiaciones del Sol en su mayor parte atraviesan la atmósfera y calientan la Tierra. Ésta, como cualquier cuerpo, emite radiaciones térmicas que en parte

son reflejadas hacia el planeta por esos gases de efecto invernadero; si todas ellas pasaran a la atmósfera exterior se produciría una diferencia muy alta entre la temperatura diurna, con calentamiento solar, y la nocturna sin él; esto es lo que sucede en otros planetas del sistema solar o en la Luna.

Hay que señalar que en altura existe una capa atmosférica que tiene una cierta concentración de ozono, que filtra las radiaciones ultravioleta y nos protege de ellas, éstas incidirían negativamente en la salud de la piel y de los ojos de buena parte de las especies animales, entre ellas el hombre.

La pérdida parcial de concentración de ozono en la alta atmósfera se conoce como "Agujero de Ozono", es debida a reacciones con compuestos fluorados de emisión antropogénica, se da más en las zonas polares que en las medias y ecuatoriales de la Tierra, es un fenómeno que no tiene relación con el cambio climático, aunque a veces se confunden, y que se está controlando a partir de los acuerdos del Protocolo de Montreal en 1992, que supuso un acuerdo para sustituir los compuestos que destruyen el ozono por otros que no tienen ese carácter negativo.

El clima en la Tierra evolucionó a lo largo de su Historia por un conjunto de acciones tanto del Sol, variación de la radiación solar y fenómenos anexos como las manchas solares, como por la dinámica propia de la Tierra, bien las transformaciones en su atmósfera o bien la posición relativa respecto al Sol en su órbita alrededor de él. Aunque todo parece indicar que la evolución de la concentración de los llamados gases de efecto invernadero, que se citaron anteriormente, han sido el factor desencadenante de los mayores cambios.

En la actualidad aparece un nuevo agente, el hombre, que en los últimos siglos ha comenzado a incidir de forma significativa en determinados aspectos del contexto climático, tanto en la emisión de gases de efecto invernadero, como en la transformación o degradación de ciertos entornos terrestres, en particular pérdida de masas forestales, tal como se comenta en este documento.

El cambio climático es un gran problema que previsiblemente afectará a la evolución del modelo energético, pero en éste hay otros condicionantes globales, en primer lugar la previsible crisis de los hidrocarburos, es decir el descenso de extracción de hidrocarburos (petróleo y gas) que puede darse en pocas décadas.

La figura 2 sugiere la presencia conjunta de esos dos temas críticos de futuro, ambas cuestiones inciden en la búsqueda de otro modelo energético y quizás también económico, son paralelas en ciertos aspectos, pero divergentes en otras. En las mesas de debate convendrá no hacernos trampas, y diseñar las propuestas de forma transparente, no engañándonos a nosotros mismos ni a los demás.

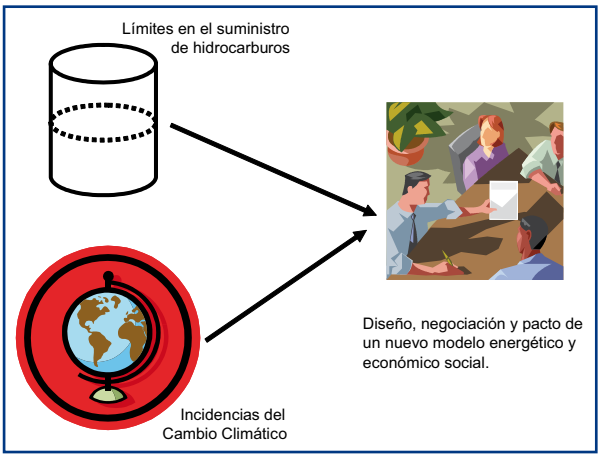


Figura 2. Los dos problemas energéticos que tienen aspectos comunes, pero cuestiones de fondo muy distintas.

En este documento se van a exponer unas reflexiones sobre cinco aspectos presentes en esa cuestión del cambio climático, que como se ha indicado es bastante compleja:

- El clima en la Tierra y su evolución a lo largo de su Historia Geológica, será una exposición breve, pero que se estima necesaria para entender la situación actual.
- La incidencia de la evolución del clima en la Historia reciente de la Humanidad, el crecimiento de la población y los conflictos.
- El efecto de las emisiones de gases de efecto invernadero en el clima, la relación con los usos energéticos y otras acciones del hombre.
- La posible afección del calentamiento global del planeta sobre los ecosistemas y la Humanidad.
- Las perspectivas de evolución del sistema energético a medio plazo y su incidencia en el Cambio Climático y el futuro de la Humanidad.

Todo ello nos puede llevar a reflexionar que estamos ante un problema muy grave, cuya resolución quizás no es fácil de acometer, tanto con acciones sencillas o como con voluntarismos bien intencionados, pero sobre lo cual hemos de seguir trabajando, tanto para frenar los aspectos más críticos de esa evolución climática, como para adaptar al conjunto de la Humanidad a ese nuevo entorno climático.

Se asume de forma progresivamente más amplia que el cambio climático es una cuestión crítica y que previsiblemente se manifestará en un horizonte temporal cercano. Hay que decir no obstante que existen análisis científicos que cuestionan esa evolución rápida del clima y sus consecuencias, que no encuentran razones firmes para asumir la cuestión tal cual se plantea desde determinados

foros, como es el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático, IPCC. (MADRID CASADO)

Es cierto que desde ciertos foros se ha presentado el cambio climático como una cuestión en la cual hay que creer por razones de coherencia con algunos planteamientos políticos, que además se han deformado determinados análisis de la evolución histórica del clima, así como que efectivamente hay incertidumbres a la hora de asumir modelos matemáticos sobre la evolución del clima. Todo ello no obstante parece que queda sobrepasado por la constatación de un hecho de cierto calentamiento global, junto con una elevada concentración de CO_2 y CH_4, que por razones de precaución parece lógico relacionar con ese cambio climático y las medidas que se deben tomar al respecto.

Evolución de la Tierra en tiempos geológicos

La formación del planeta Tierra ocurre previsiblemente hace unos 4.700 millones de años, nacería como una masa ígnea que se separa de otra mayor, en un Sistema Solar en el cual esta estrella era de las denominadas jóvenes, es decir con menor poder de radiación energética que el actual, que ha ido creciendo con el paso del tiempo medido a escala geológica.

En esa Tierra primigenia abundarían el silicio, el oxígeno, el hierro y el aluminio, que formarían silicatos, además habría otras especies minerales; todos ellos se fueron enfriando progresivamente formando una corteza superficial pétrea. Sobre ellas se cree había una atmósfera con alto contenido en vapor de agua y también en dióxido de carbono.

Las lluvias de agua carbonatada, es decir con CO_2 disuelto, formaron los primeros mares sobre esa corteza, a la vez que actuaron sobre los silicatos para romper sus moléculas, liberar óxidos metálicos y formar los primeros carbonatos, estos, en gran medida, acabaron yendo al fondo de esos mares.

Se inicia así el ciclo del carbono que se fija en las rocas carbonatadas, formación y descomposición de las mismas, que tiene un tiempo de vida muy largo, entre 500 y 1.000 millones de años, por lo que a efectos de las reflexiones nuestras, sobre el cambio climático, se puede considerar que son un almacén estable y duradero de carbono.

Los primeros 2.300 millones de años de la Historia de la Tierra se desarrollaron en un contexto que previsiblemente no contaba con oxígeno libre, ni en la atmósfera ni disuelto en el agua de los mares, o su presencia era muy baja. Fue entonces cuando aparecieron los metanógenos y otros microorganismos anóxicos, sobre los cuales hay teorías científicas asignándoles un papel importante en la evolución del clima en la Tierra

En aquella atmósfera habría una alta presencia de nitrógeno, N_2, de dióxido de carbono, CO_2, y de hidrógeno, H_2, éste procedente de los gases volcánicos; los dos últimos eran el alimento de los organismos matenógenos, que como desecho desprenden metano, y posiblemente podrían haber puesto en la atmósfera primitiva 600 veces más metano que el que hay en la actualidad. (KASTING)

La atmósfera de la Tierra evolucionaría hacia reducir su concentración en CO_2 e incrementar la de CH_4, con valores de concentración de ambos gases muy superiores a los actuales, posiblemente el CO_2 partía de valores en torno a los 20.000 ppmv, y el metano llegó en su máxima concentración a los 1.000 ppmv. Ambos gases supusieron un efecto invernadero importante, pero quizás mayor en la contribución del CH_4 que en la del CO_2.

En esa primera época de la Tierra, el CO_2 y el CH_4 posiblemente reaccionaran entre sí liberando agua, pero quizás no así oxígeno, al menos en grandes cantidades. La elevada presencia de metano hace unos 2.500 millones de años pudo derivar en la formación de una niebla de hidrocarburos como la que se observa en la actualidad en Titán, satélite de Saturno, y una drástica reducción de la concentración de CH_4 en la atmósfera.

El hecho constatado es que se produjo una muy fuerte y amplia glaciación hace unos 2.300 millones de años, "Glaciación Huroniana", de la cual los primeros vestigios se localizaron en rocas del lago Hurón en Canadá, de ahí su nombre. Se asocia a un descenso muy fuerte de la concentración de metano en la atmósfera, que previsiblemente coincidió con el aumento de la correspondiente de oxígeno, O_2. Véase en la figura 3 esa hipotética evolución.

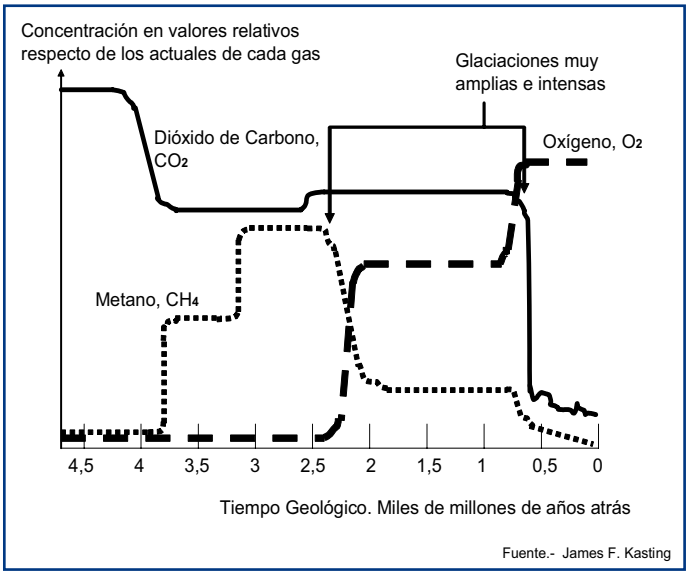


Figura 3. Evolución de la concentración de algunos gases en la atmósfera terrestre.

Parte de ese CH_4 que desapareció de la atmósfera pudo quedar atrapado en forma de grandes bolsas de hidratos de metano en los océanos, que en la actualidad se estudian como recurso de gas natural. Pero es un hecho del cual no tenemos datos fehacientes que puedan confirmar esa teoría.

Desde esta gran glaciación hasta hace unos 750 millones de años la Tierra tuvo una temperatura media que hacía que el agua de los océanos se mantuviera líquida. Una todavía elevada presencia de CO_2 y CH_4, creaba un efecto invernadero suficiente aunque posiblemente la radiación solar era todavía menor que la actual. La vida quizás se fue desarrollando en los mares y tal vez en tierra firme.

Hace unos 800 millones de años, las distintas masas continentales se fueron acercando unas a otras hasta situarse en forma de una única a la altura del Ecuador Terrestre, quedando dos grandes océanos en lo que podríamos considerar los polos de la Tierra. Previsiblemente en esa época las lluvias intensas arrastraron CO_2 a los mares donde se formaron carbonatos, y la concentración de este gas en la atmósfera disminuyo drásticamente.

Se dieron dos grandes glaciaciones hace unos 750 y 600 millones de años respectivamente, los hielos cubrieron tanto esos océanos polares como gran parte de los continentes; en ellos el calor que, en periodos anteriores se evacuaba por los volcanes, se mantuvo en el interior de la corteza dando lugar a procesos orogénicos, que por un lado contribuyeron a una nueva separación de los continentes y posteriormente al aumento del CO_2 en la atmósfera cuando éste fue expulsado.

Hace unos 500 millones de años se llega a unas condiciones climáticas que favorecen claramente el desarrollo de la vida, tanto en los mares como a continuación colonizando los continentes. Se inicia el crecimiento de las grandes áreas boscosas que fijaban CO_2 de la atmósfera, y dieron lugar a la formación del carbón, en gran medida hace unos 300 millones de años, tal como sugiere la figura 4.

El carbón proviene de grandes masas boscosas que crecieron y se hundieron en terrenos pantanosos, a la vez que recibían aportes de materiales rocosos procedentes

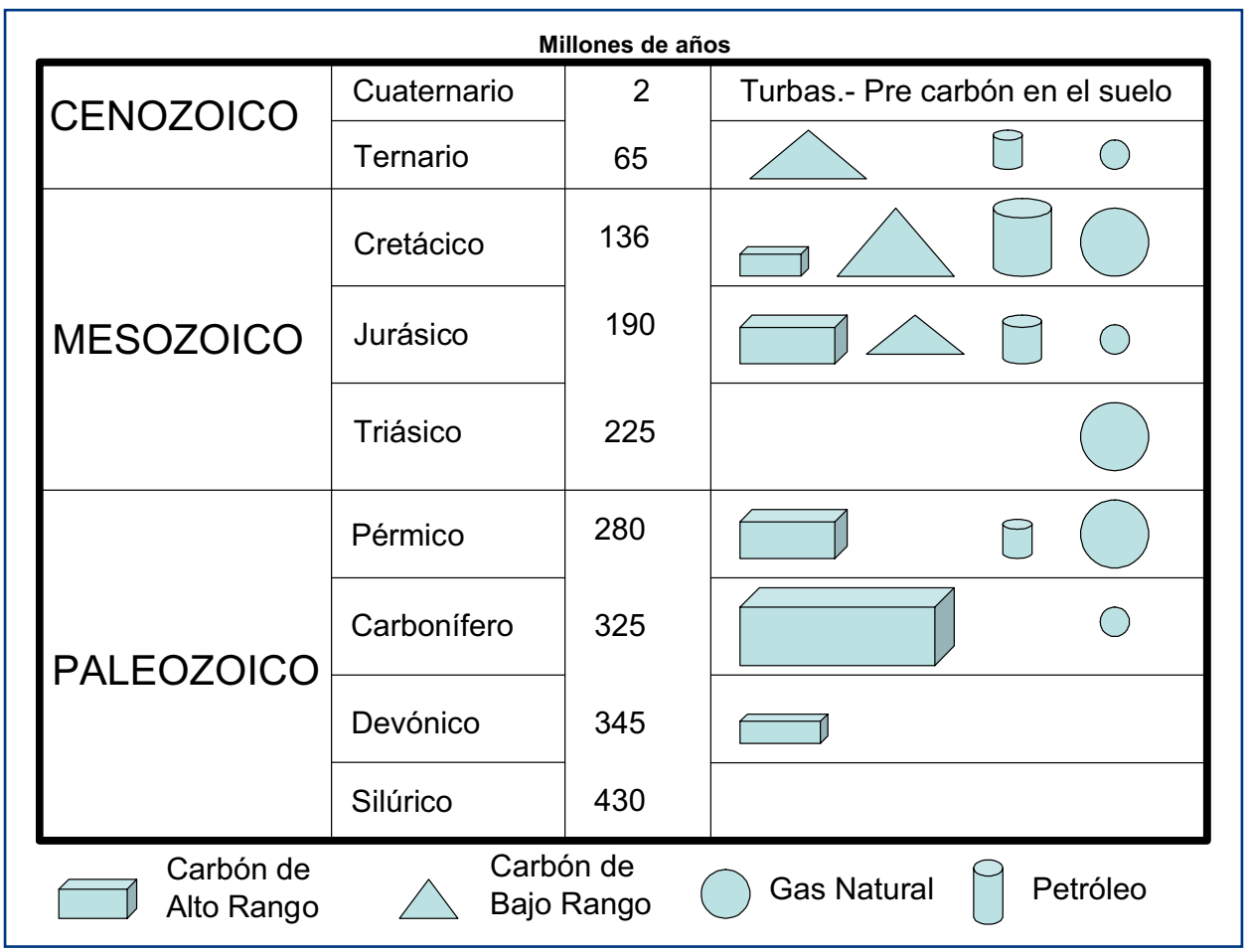


Figura 4. Periodos de formación de los combustibles fósiles.

de los procesos de erosión; así se conformaría un proceso sedimentario en el cual posteriormente habría deposición de nuevos aportes que comprimirían esa materia vegetal para en un proceso largo, de millones de años dar lugar a los diferentes tipos de carbones.

El petróleo se formó previsiblemente con posterioridad al carbón, posiblemente en entornos de marismas en áreas sedimentarias próximas al mar, con alta presencia de microorganismos que una vez cubiertos por esos sedimentos dieron lugar a hidrocarburos líquidos que quedaron en las "rocas madre" y "rocas almacén". Parte de ese crudo se transformó en rocas y arenas bituminosas.

La formación del gas natural es más discutible que la del petróleo, pero la hipótesis de formación a partir de organismos vivos, en paralelo con la del crudo petrolífero, tiene fuerza, y a ello se une su aparición paralela en muchos campos mixtos de hidrocarburos. Lo cual no quita que algunos depósitos de gas natural tuvieran otro origen, como se ha apuntado anteriormente.

El periodo fértil de formación del carbón es más amplio que el de los otros dos combustibles fósiles, se inició hace casi 400 millones de años y continua todavía en los campos de turba, de ahí que sus reservas y recursos sean mucho mayores que los de petróleo y gas natural.

Con estos procesos de formación de los combustibles fósiles se atrapa en la Tierra una importante cantidad de carbono, procedente del CO_2 atmosférico, más adelante se verá que no es una cantidad despreciable, y que el hombre lo va a liberar con el uso de estos combustibles fósiles en un periodo de tiempo de unos 400 años, mientras que su formación duró casi esos 400 millones de años antes citados.

Los continentes siguen sus movimientos de separación, "Deriva Continental", situándose una masa importante en el Polo Sur, y otras en una distribución parecida a la actual. Hace menos de 100 millones de años se cambian las corrientes de los océanos, lo cual incide en el clima de la Tierra; y se avanza hacia la época actual, que en su conjunto podríamos considerar que es fría, posiblemente antes de la actual conformación y distribución de los continentes la temperatura media de la Tierra era una decena de grados centígrados superior a la actual.

Paleoclima y Glaciaciones

Se puede pasar ahora a ver las oscilaciones del clima en los últimos 600.000 años, de las cuales se tiene una información bastante fiable, basada entre otros datos en los que aportan los testigos de los hielos polares y zonas cercanas, como Groenlandia. Se valora las cantidades de cada componente en la mezcla de gases que en ellos han quedado atrapados y los ratios entre ellos, por ejemplo el de los isótopos del oxígeno de masa atómica 16 y 18.

En el apartado anterior se vio la gran influencia de la evolución de los gases de efecto invernadero en la temperatura media de la Tierra, su presencia sigue ahí y los cambios de concentración van a seguir definiendo el clima. Pero éste tiene además otras componentes que conforman un conjunto de actores muy complejo. Conviene hacer una reflexión sobre algunos de ellos, que a escalas menores de tiempo que las consideradas en el apartado anterior pueden tener efectos significativos.

- Por un lado hay que considerar la órbita terrestre, es una elipse que va variando en sus parámetros de diseño con el tiempo, en ciclos de decenas de miles de años; el Sol se encuentra en un foco de ella, y el recorrido de la Tierra en unos ciclos se encuentra más cercano o más lejano del Sol; es el movimiento de precesión de la elipse. Véase la figura 5.

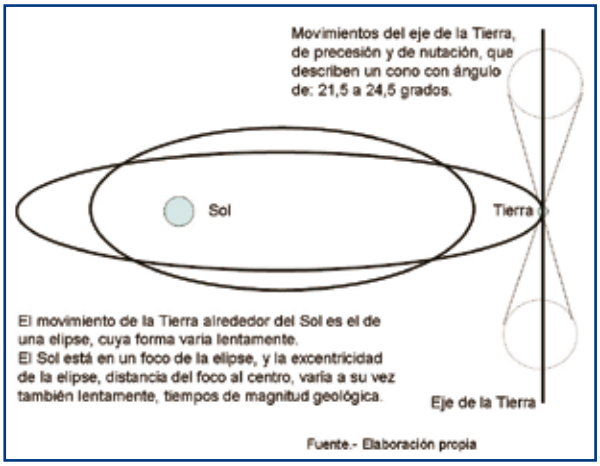


Figura 5. Movimientos o posiciones de la Tierra respecto al Sol.

Evidentemente esas variaciones de la forma de la elipse se traducen en diferencias de temperatura en la superficie de la Tierra, las cuales pueden llegar a ser importantes en lo que respecta a nuestra percepción de cambio de la temperatura media del planeta.

- La posición del eje de la Tierra respecto al plano de la elipse antes citada varía con dos movimientos, uno de precesión describiendo un cono doble, y otro de nutación que es una sinusoide circular que se superpone al anterior.

  Lo más importante de esos movimientos oscilatorios es que en diferentes épocas, medidas en un número amplio de años, la Tierra cuando está más cerca del Sol, o más lejos de él, le presenta de frente el hemisferio norte, con más área continental, o el hemisferio sur con mayor superficie de agua; esto se traduce en variaciones

de la temperatura media de la Tierra, menores que las correspondientes al fenómenos anterior, pero también significativas.

- Otro fenómeno a considerar es la actividad solar, que se traduce entre otros parámetros, en la mayor o menor presencia de manchas solares en su superficie, y consecuentemente en la radiación que llega a la Tierra, por tanto la temperatura media de ésta. No es una situación perfectamente cíclica, aunque cambia en pocos años, en unas decenas. En la actualidad estamos en un periodo de alta actividad solar, con mayor radiación hacia la Tierra.
- Por último, en esta visión simplificada de la evolución del clima hay que considerar la variación de las concentraciones de CO_2 y CH_4 en rangos menores a los geológicamente citados, como resultado de causas que se dan sobre la superficie terrestre.

  La concentración de CO_2 puede disminuir por ejemplo a causa de una fijación mayor del mismo en las aguas del mar si estas contienen nitrógeno y hierro en altas concentraciones, lo cual parece que se ha dado en ciertos periodos geológicamente no muy lejanos.

  Por su parte la concentración de metano, CH_4, ha variado entre otras causas con el nivel de incidencia de la radiación solar sobre la superficie de la Tierra.

Todo esto conforma un esquema de clima en el cual hay que considerar de forma especial los movimientos de agua en el mar, grandes corrientes marinas que circulan por los océanos transportando calor, o fenómenos periódicos como el de El Niño en el océano Pacífico, o de aire con el sistema general de circulación de vientos en varias bandas de latitud terrestre. No se va a entrar en el análisis de estos, pero se invita al lector a estudiarlos, aunque más adelante se volverá al anillo de circulación marina.

Volviendo así a la evolución del clima en la Tierra, hay que constatar que en los últimos 600.000 años se ha vivido un periodo frío, con seis glaciaciones, relativamente largas en el tiempo, separadas por otros tantos periodos interglaciares de corta duración entre 10.000 y 30.000 años. En la actualidad nos encontramos en uno de esos periodos interglaciares, que se inició hace 11.000 años.

En esos cientos de miles de años, la concentración de CO_2 en la atmósfera se estima ha oscilado entre 200 y 300 partes por millón en volumen, ppmv. Las puntas superiores de presencia de CO_2 se corresponden con periodos calientes y las amplias épocas con baja concentración a periodos glaciares; hay un paralelismo muy significativo.

No está claro cual de los parámetros actúa sobre el otro, si la concentración de CO_2 sobre la temperatura o viceversa; hay explicaciones para las dos suposiciones, pero en cualquier caso es de señalar la correlación entre ambos parámetros. Lo que quizás es más significativo es el retorno rápido de los periodos cálidos hacia esos otros más prolongados de frío y glaciación.

En las épocas glaciares se estima que la temperatura media en la superficie terrestre ha sido de unos 5 ºC inferior a la actual. Una diferencia que nos puede parecer pequeña para los cambios tan importantes que ha conllevado en la habitabilidad del planeta. No olvidemos que está Humanidad que hoy pensamos es inmutable ha nacido culturalmente después de unos miles de años del inicio del último periodo interglaciar que como se ha dicho comenzó hace unos 11.000 años.

En la figura 6 se observa la estimación de la evolución de la presencia de CO_2 en la atmósfera, los amplios periodos con bajas concentraciones se unen a las glaciaciones, y los picos de altos valores de CO_2 a los periodos interglaciares. Hay que observar que esas oscilaciones se mantuvieron previsiblemente entre valores de 200 y 300 partes por millón en volumen, ppmv.

En la actualidad nos encontramos con valores de concentración de CO_2 de 380 ppmv, es decir nos hemos ido fuera de ese rango de variación; así mismo la concentración de metano, CH_4, ha crecido también. Por lo tanto hay que esperar previsiblemente cambios importantes en el clima de la Tierra, con fenómenos de calentamiento posiblemente importantes, pero con alteraciones también en otros parámetros climáticos.

Esa gráfica se conoce con la denominación de “palo de hockey”, y sobre ella hay discrepancias en su diseño y correlación con la temperatura media de la Tierra; incluso se cuestiona si se puede hablar de la evaluación de esa “temperatura media” cuando no había un mallado de estaciones meteorológicas que lo determinaran.

Es posible que en los últimos cientos de miles de años hayan sido los océanos los que incidieron en esa oscilación de las concentraciones atmosféricas del CO_2, por mayor o menor capacidad de fijación, previsiblemente unida a la presencia en sus aguas de diferentes concentraciones de nitrógeno y hierro, como se ha sugerido anteriormente. También las posiciones relativas del Sol y la Tierra habrán tenido su influencia en la evolución del clima.

Los amplios periodos de glaciación reducen el desarrollo de la vida en buena parte de la superficie terrestre, sobre todo la que se encuentra en el Hemisferio Norte, dejando otras zonas para el “mantenimiento de la vida”, África en primer lugar, de donde parece procede

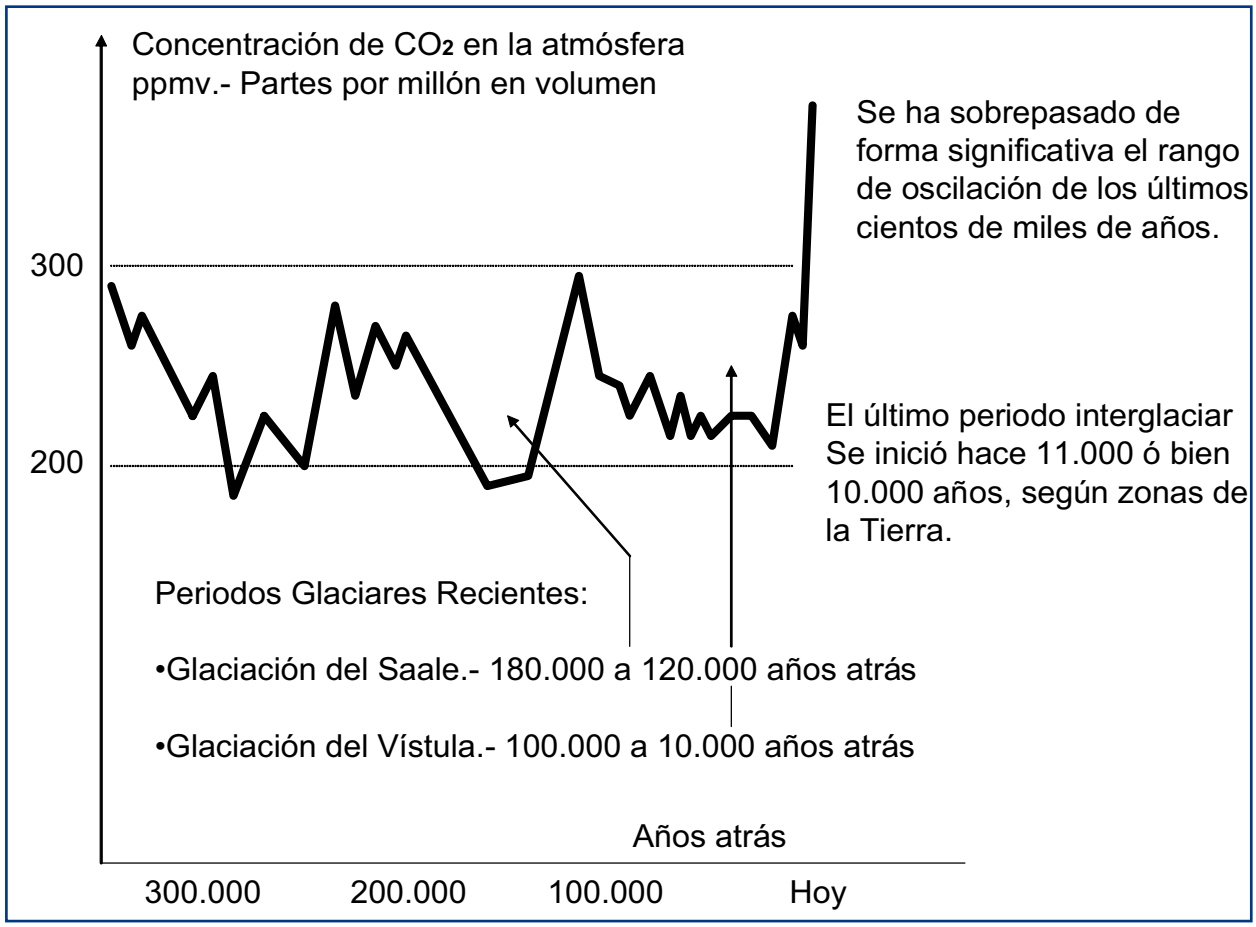


Figura 6. Últimos periodos glaciares y la concentración de CO_2 correspondiente.

la especie humana, Asia Meridional, el Mediterráneo y América Central y del Sur.

El hombre apareció sobre la Tierra hace unos 2 millones de años, es decir como especie ha soportado los periodos glaciares y los interglaciares, aunque fundamentalmente en un modo de supervivencia animal y con un número reducido de individuos. Controló el fuego hace más de 500.000 años, quizás de forma paralela en todo su entorno geográfico de extensión como especie, y esto le facilitó la supervivencia y extensión en entornos fríos.

Su evolución hacia una especie tecnológica, tal como hoy la entendemos, comenzó hace unos 7.000 años en los valles de los grandes ríos, de Asia Meridional y de África, cuando estableció los primeros esquemas agrícolas; posteriormente aparecieron los focos de desarrollo social en América Central y la Zona Andina. La población mundial comenzó a crecer hace unos 4.000 años, coincidiendo posiblemente con una bonanza climática, es decir temperaturas relativamente altas.

Historia reciente del clima

Sabemos algo del clima en los 2.000 últimos años, pero también sobre todo de la Humanidad, y podemos interrelacionar ambos parámetros, sobre todo para pensar en el futuro y en las consecuencias de la evolución climática. Parece que antes del comienzo de nuestra era tuvimos un largo periodo de temperaturas altas que duró varios milenios, en el cual se produjo el desarrollo de la agricultura y algunas de las migraciones humanas de las cuales ya habla la Historia.

En la figura 7 se recoge una información referente a hechos sociales y climáticos en los primeros siglos de nuestra era, es el entorno cálido greco romano, que facilitó la extensión social y cultural por el Mediterráneo, y del cual emana la estructura cultural de los europeos y por extensión de los americanos.

El Imperio Romano se desarrolló en un periodo de clima cálido y húmedo, lo que favorecía que las cosechas fueran buenas, y la habitabilidad de muchos lugares fuera agradable, aun con los medios deficientes para calefacción en invierno de que se disponía en aquella época.

CÁLIDO GRECO ROMANO:

- *La temperatura media en el entorno del Mediterráneo era previsiblemente mayor que la actual.*
- *Al sur de este mar posiblemente había un entorno natural no degradado y fértil. Túnez era el granero del Imperio Romano.*
- *La alimentación en general era buena y la población humana creció de forma significativa hasta el siglo IV de nuestra era.*
- *Un período siguiente de enfrentamiento y malas cosechas, en particular en la zona Euro Asiática, forzó la emigración hacia el sur de los habitantes de ese territorio.*
- *Invasión de los Bárbaros del Norte, (Barbari significa extranjero en latín), y caída del Imperio Romano.*

Figura 7. Referencias climáticas y sociales del Imperio Romano.

Se extendieron algunos cultivos: la vid y el olivo por ejemplo, que junto al pan de trigo y la pesca de atún y sardinas, fueron una característica de la alimentación de las gentes del Imperio. La población creció, es posible que, en torno al Mediterráneo, en una forma amplia de verlo, se ubicaría unos cincuenta millones de personas.

Hubo en torno al siglo IV una caída de la temperatura media y posiblemente un régimen de nieves y lluvias adverso, que afectaría negativamente a las cosechas, en particular a las de las zonas frías de Eurasia, forzando a la emigración de los pueblos del norte hacia el sur. Los Bárbaros del Norte, en invasiones sucesivas, provocan la progresiva caída del Imperio Romano, que fue un fenómeno político largo.

No olvidemos, pensando en el momento actual en que vemos llegar "extranjeros del sur", que "bárbari" significa extranjero en latín; es decir es la llegada de los emigrantes de fuera del Imperio, quizás no sólo por razones climáticas sino también por el efecto llamada de la riqueza del Imperio y sus ciudades.

En ese proceso, se produce en paralelo una degradación social que afecta en buena medida a las grandes ciudades, las clases acomodadas se vuelven a sus villas, que crecen y se enriquecen. Es la época que nos ha dejado restos arqueológicos de éstas, por ejemplo en Castilla, donde además se desarrolló en aquel periodo el sistema de calefacción en el suelo de esas construcciones, las "glorias" que hasta hace pocas décadas se encontraban en esta región española.

La temperatura de la Tierra se mantiene fría en la Alta Edad Media, aunque con oscilaciones en sus valores; es una época oscura en el desarrollo de la cultura europea, aunque floreciente en otros entornos más al sur, Norte de África y Oriente Medio, o en Meso América.

Después la temperatura se eleva de forma significativa hasta lo que se denomina "Cálido Medieval", en torno al año 1000, quizás el periodo con el valor más alto en esos 2.000 últimos años. En él aparecen algunos aspectos sociales o históricos, que se resumen en la figura 8.

PERÍODO CÁLIDO MEDIEVAL:

- *En torno al año 1000, siglo IX a XII, se produce un breve periodo cálido, quizás con las temperaturas más elevadas de los dos últimos milenios.*
- *Los vikingos pueblan Groenlandia, cuyo nombre significa "Tierra Verde" y que le dieron estos navegantes. Su permanencia allí es corta, abandonan la isla en pocos siglos.*
- *Se produce el fin de la Edad de Oro de la Cultura Maya, su alimentación pudo decaer por falta de agua suficiente en un período que además de cálido parece que fue seco, al menos en su entorno.*
- *El actual Marruecos es invadido por pueblos del sur de la Cordillera del Atlas, quizás expulsados por el calor excesivo. Los almorávides (siglos XI y XII) y los almohades (siglos XII y XIII) invaden la Península Ibérica.*

Figura 8. Aspectos históricos relevantes conexos con el Cálido Medieval.

De los tres aspectos históricos que se relacionan en este cuadro, la colonización vikinga de Groenlandia es el más significativo, el hecho de que hubiera vegetación en una zona costera de esta isla y la facilidad de navegación por el Atlántico Norte hasta ella, y quizás a las costas americanas, nos muestra una situación climática muy distinta a la que estamos acostumbrados.

Después de estos dos periodos cálidos aparece otro frío, muy singular del cual hay mucha información, al menos en Europa, es el conocido como "La Pequeña Glaciación", que se extiende a lo largo de los siglos XVII a XVIII. Podemos señalar algunos hechos singulares al respecto, que se resumen en la figura 9.

Sería interesante indagar en los cambios habidos en los diferentes países de Europa. Sabemos que en la parte norte de la Península Ibérica había antes de ese periodo amplios cultivos de cítricos. Pedro Teixeira, cartógrafo portugués, en su Atlas del Rey Planeta así lo

LA PEQUEÑA GLACIACIÓN:

- *Es un período que se extiende desde mediados del siglo XVI hasta el comienzo del siglo XIX. La temperatura media fue sensiblemente menor que la actual.*
- *Se costata la congelación de las aguas del río Támesis y la celebración durante muchos años de un mercado sobre sus aguas.*
- *En el año 1605 se pudo cruzar el río Ebro a la altura de Tortosa en mula.*
- *Es un período de malas cosechas y hambrunas. Proliferan las guerras en Europa, entre ellas las de religión. Termina con la Revolución Francesa.*
- *Se produce una importante migración de europeos, pero también chinos, hacia América, no sabemos que influencia tuvo el clima.*

Figura 9. Aspectos sociales y climáticos en la Pequeña Glaciación.

refleja al describir los puertos de esa costa, desde donde se exportaban esos frutos de Flandes.

Los cambios en todo el continente europeo y en otros debieron ser importantes. Hay que citar que en ese periodo frío se dieron ciertos retrocesos sociales después del Renacimiento, pero sobre todo que estuvo plagado de guerras y conflictos.

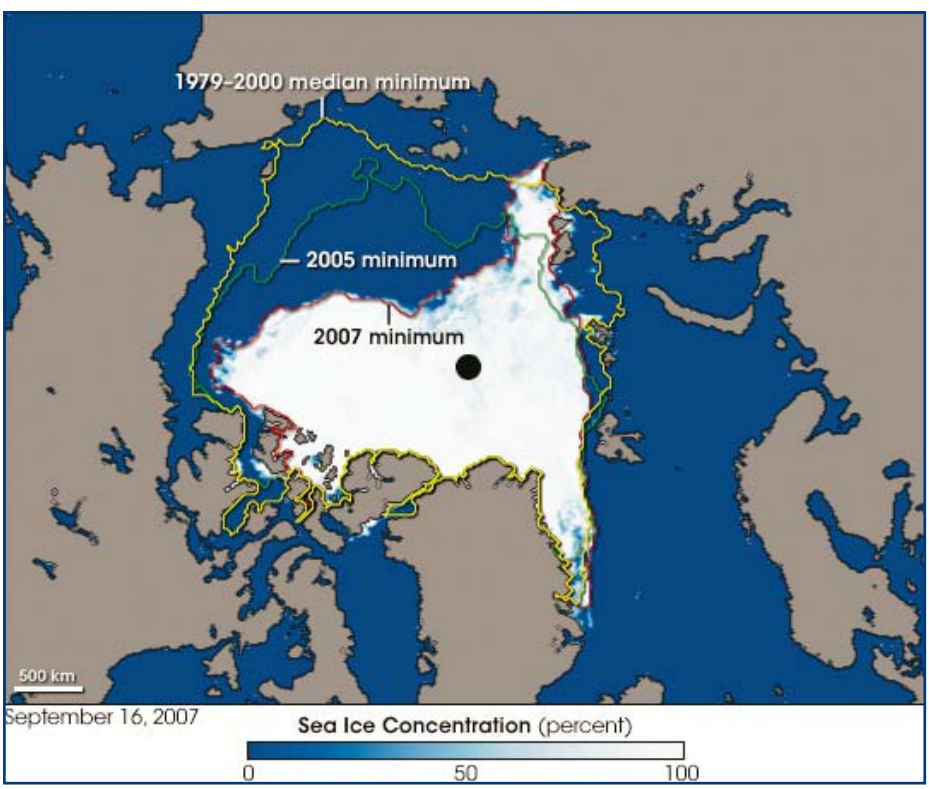
Llegamos así a los dos últimos siglos de nuestra Historia, que en general presentan una evolución creciente de la temperatura, aunque entre 1940 y 1970 hubo un estancamiento de ese aumento y en realidad un descenso de la misma, quizás por influencia de la actividad solar que fue baja en esos años. Hubo algunos miedos en esas tres décadas de que el clima podía retornar a otra época glaciar.

La temperatura actual no ha alcanzado los picos de épocas pretéritas, pero no tan lejanas, tal como sugiere lo dicho en este apartado, pero si está experimentando un calentamiento que se presenta preocupante para los humanos que en ella vivimos, independientemente de cuales sean las causas del fenómeno.

No debemos olvidar no obstante que el entorno natural en la Tierra se ha degradado de forma muy significativa respecto al que debía ser en otros periodos cálidos, del Imperio Romano o el Cálido Medieval. Por otro lado la población humana en la Tierra se ha disparado, hace 2000 años se supone que unos 300 millones de humanos poblaban el planeta, en 1780 se estimaba en 1.000 millones de personas, en los 150 años siguientes se dobló, y en los 70 años últimos se ha triplicado la población mundial.

Emisiones de gases de efecto invernadero en los dos últimos siglos

Ese incremento de la población humana ha tenido en paralelo la extensión del uso de los combustibles fósiles propiciada por la llamada "Revolución Industrial", primero con el crecimiento en el uso del carbón a lo largo de los siglos XIX y XX, y los del petróleo y gas natural en el siglo XX. Las emisiones de CO_2 debido a los usos energéticos del hombre han crecido de forma significativa a lo largo de los últimos doscientos años, y sobre todo en la segunda mitad del siglo XX.



Otras actividades también propiciadas por ese desarrollo humano, y relacionadas con los cambios de los usos de la tierra: la deforestación, la extensión de la ganadería y la agricultura, han propiciado el aumento de las emisiones netas de CO_2 y también las de CH_4; ambos gases, según se vio en apartados anterio-

res, tuvieron incidencia destacada en la evolución del clima en la Tierra.

La figura 10 recoge una estimación de las emisiones de carbono a lo largo de ese periodo de dos siglos de cambio rápido en la Humanidad en los que ha crecido la capacidad de los humanos de actuar sobre la naturaleza y el clima. Los valores de flujos en esa figura están medidos en carbono, no en CO_2.

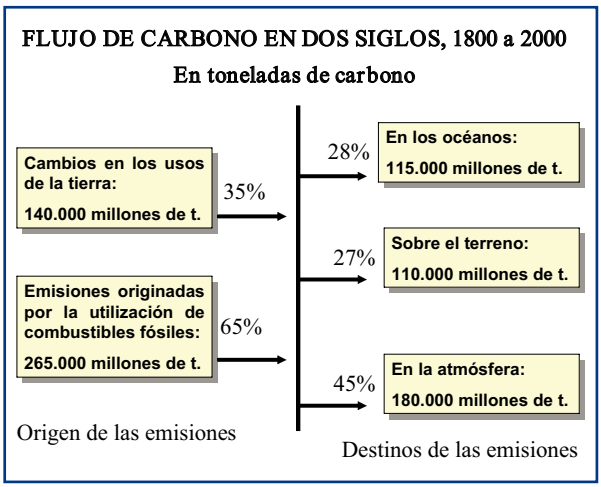


Figura 10. Estimación de flujos de carbono en los dos últimos siglos.

El mayor volumen de emisión de carbono, las dos terceras partes, se corresponde con el uso de los combustibles fósiles, es decir nuestra nueva actividad energética; pero no hay que olvidar esos cambios en los usos de la tierra que han hecho que se pierda materia carbonosa en bosques y en el terreno. Más adelante se vuelve a reflexionar sobre la cantidad de carbono almacenada en cada entorno.

También es llamativo el lado de la derecha de la figura, los sumideros de carbono. El terreno ha fijado algo más de la cuarta parte del total del carbono emitido, menos que el procedente de los cambios del uso de la tierra. Los océanos han fijado una partida similar, quizás ese volumen pudiera haber sido mayor si se hubieran dado las condiciones adecuadas, tal como se sugirió anteriormente para periodos de descenso de la concentración de carbono en la atmósfera.

El hecho es que la cantidad de carbono en la atmósfera se ha incrementado en estos dos últimos siglos en 180.000 millones de t. una cifra muy significativa. Se constata así que a principios del siglo XXI nos encontramos con unos valores de concentración de CO_2 mayores que los habidos en los últimos 600.000 años, y que hacen que se produzca un incremento de la temperatura media superficial de la Tierra.

Las actuales concentraciones de gases de efecto invernadero se valoran con los siguientes datos:

- **Dióxido de carbono, CO_2**.- Unas 380 partes por millón en volumen, ppmv. Valor que parece se sitúa muy por encima del rango de variación habido en los últimos seiscientos mil años, entre 200 y 300 ppmv. Se estima que al inicio de la Revolución Industrial esa concentración de CO_2 se encontraba en torno a 250 ppmv, es decir en siglo y medio se ha incrementado un 50%.
- **Todos los gases de efecto invernadero medidos como CO_2 equivalente**.- Su concentración es de unos 430 ppmv de CO_2eqv. Se estima que para que la temperatura de la Tierra no se incremente más de 2ºC a lo largo de este siglo su valor no debiera pasar del rango 450 a 550 ppmv, lo cual parece difícil de conseguir, tal como se muestra más adelante.

Es conveniente hacer ahora unas matizaciones sobre el papel de los dos gases de efecto invernadero más significativos, el dióxido de carbono y el metano. El primero representa en la actualidad alrededor del 60% de esa acción de retención de las radiaciones térmicas que emite la Tierra, mientras que el metano supone en torno del 20%; por ello la atención principal se centra hoy por hoy en el dióxido de carbono, pero sin olvidar el metano.

Las concentraciones reales de ambos gases son distintas de los valores anteriores, la del CO_2 es más elevada que ese 60%, y la del CH_4 sensiblemente inferior al 20% antes citada; pero el poder de reflejar las radiaciones térmicas de la Tierra, es decir el efecto invernadero, es mucho mayor en el metano que en el dióxido de carbono, veintiuna veces el correspondiente al CH_4 que el del CO_2.

La vida media de ambos gases en la alta atmósfera es de unos 10 años, es decir una determinada cantidad de moléculas de cualquiera de los dos gases se reduce a la mitad al cabo de diez años. El CO_2 se disuelve en el vapor de agua y descienda a la tierra en forma de agua acidulada.

Hay que llamar la atención al proceso de descomposición del metano, que también reacciona con el vapor de agua, pero con el ión hidroxilo de ésta, en su descomposición iónica:

$$CH_4 + n\,(OH^- + H^+) \ldots\ldots \rightarrow CO_2 + H_2O + n - 1\,(OH^- + H^+)$$

Hay una cierta prevención respecto a la posibilidad de que se incremente la concentración de hidrógeno en la atmósfera si este elemento pasa a ser un portador energético de uso habitual en el futuro, por ejemplo como carburante, y se producen fugas en su utilización. El hidrógeno es ávido por los iones hidróxilo, reaccionaría con ellos, y reduciría su presencia en la atmósfera, lo que haría que la vida media

del metano en la atmósfera se hiciera más larga, incrementando así su efecto invernadero.

La situación actual estimada de los flujos de carbono es la indicada en la figura 11, se pueden considerar dos ciclos básicos en la circulación de CO_2, que aquí se vuelven a expresar como carbono y no como CO_2.

- **Flujos entre la vegetación y la atmósfera**.- Es el mayor flujo individual de carbono, los bosques y el resto de la cubierta vegetal de la Tierra fijan el CO_2 del aire para el crecimiento de todo tipo de especies vegetales, a la vez desde ella se emite a la atmósfera una gran cantidad de CO_2 en el proceso de respiración de las plantas y en su descomposición.
  El resultado se estima que en la actualidad es un flujo equilibrado en torno a los 110.000 millones de toneladas de carbono al año. En los periodos geológicos pretéritos, cuando el crecimiento de los bosques era muy intenso, y se formaban sedimentos de materia carbonosa, el flujo de fijación previsiblemente era mayor que el de emisión.
- **Flujos entre el océano y la atmósfera**.- Es una circulación ligeramente menor que a la anterior, que se estima tiene un balance ligeramente positivo para la fijación de carbono, unos 3.000 millones de toneladas anuales. Como se indicó anteriormente es posible que en algunas épocas pretéritas esa fijación fuera mayor en los periodos de alto contenido de CO_2 en la atmósfera; a veces se escuchan propuestas de forzar esa retención inyectando nitrógeno y hierro en las aguas del mar, aunque esto introduce incertidumbres de la evolución de la vida en el medio marino.

Aparte de estos dos grandes ciclos hay otras dos fuentes de emisión. En primer lugar las derivadas de los cambios en los usos de la tierra ya citados, más concretamente los incendios de bosques, que adicionalmente a sus emisiones de CO_2, facilitan la descomposición del suelo orgánico y la pérdida de carbono en el mismo.

Finalmente hay que analizar la emisión de CO_2 derivada del uso de los combustibles fósiles, que es la que nos preocupa más a efectos de este documento. Ésta ha crecido a lo largo de los dos últimos siglos y es un flujo de menor volumen que los dos básicos pero ha sido un aporte adicional que ha potenciado el incremento de la cantidad almacenada en la atmósfera.

En la figura 11 se indica la cantidad de carbono que se acumula en los diferentes focos de estos flujos. El mayor almacén con diferencia es el agua del mar, la atmósfera contiene una cantidad pequeña comparándola con la contenida en las diferentes reservas terráqueas,

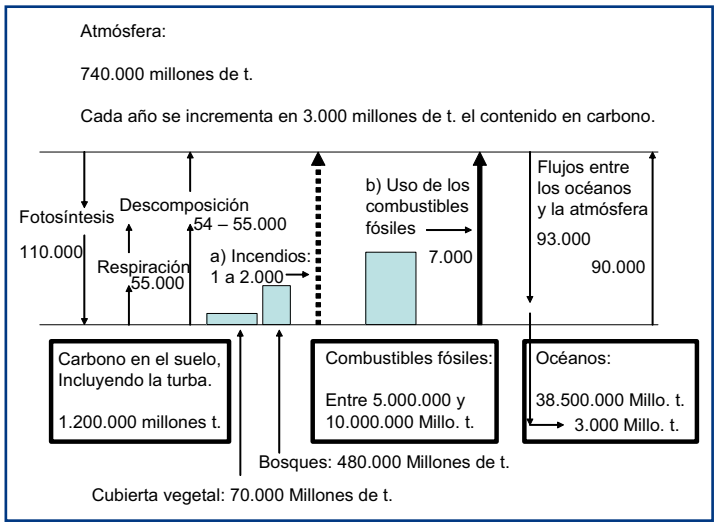


Figura 11. Ciclos de flujos de carbono entre la tierra y la atmósfera.

pero hay que indicar que se estima un crecimiento de unas 3.000 millones de toneladas anuales de carbono en la cantidad contenida en la atmósfera.

Origen del actual cambio climático y valoración de sus efectos

Con los datos anteriores, durante años ha habido discusiones, y toma de posturas encontradas, sobre la capacidad del hombre para alterar el clima, o bien sobre el valor relativo de las emisiones de carbono de origen antropogénico; en la actualidad la mayoría del mundo científico asume que el hombre sí está cambiando las condiciones de contorno que marcan la evolución climática de la Tierra.

Aquí no vamos a traer los diferentes argumentos al respecto en esa discusión, que continuará previsiblemente durante algunos años; pero si se quiere hacer una reflexión sobre los almacenes, y los flujos de carbono, para entender que los hombres estamos actuando sobre puntos sensibles del actual equilibrio, y por lo tanto incidimos en la evolución del clima, aunque quizás no somos el único factor de cambio.

Una cantidad muy elevada del carbono en la Tierra, la mayor con diferencia, se encuentra en las rocas carbonatadas, que a efectos del clima podemos considerar un almacén estable, tal como se dijo anteriormente; bien es verdad que hay una circulación continua de formación y descomposición, pero el tiempo de cambio se mide en cientos de millones de años, por lo tanto no es un factor a considerar en la alteración o evolución climática.

En la figura 12 se refleja la participación en el almacenamiento de carbono en los diferentes entornos terrestres. Como se ha indicado anteriormente el mar es el mayor con diferencia, supone las dos terceras partes del

conjunto; hay que señalar que en la medida que se pierda capacidad de crear vida en el mar, entre otras razones por la degradación ambiental de sus aguas y sus costas, previsiblemente menor será su capacidad de fijación.

La vegetación y el suelo, por medio de la materia orgánica de los mismos, almacenan una fracción muy pequeña del carbono total circulante, pero su velocidad de fijación es muy alta, también lo es la de su emisión; es decir su ciclo es muy rápido y en ese sentido puede influir rápidamente en la evolución del clima. La pérdida de masa boscosa es un factor crítico en ese balance negativo que se ha citado más arriba, el hombre está contribuyendo de forma significativa a esa destrucción de bosques, y continúa en esa acción.

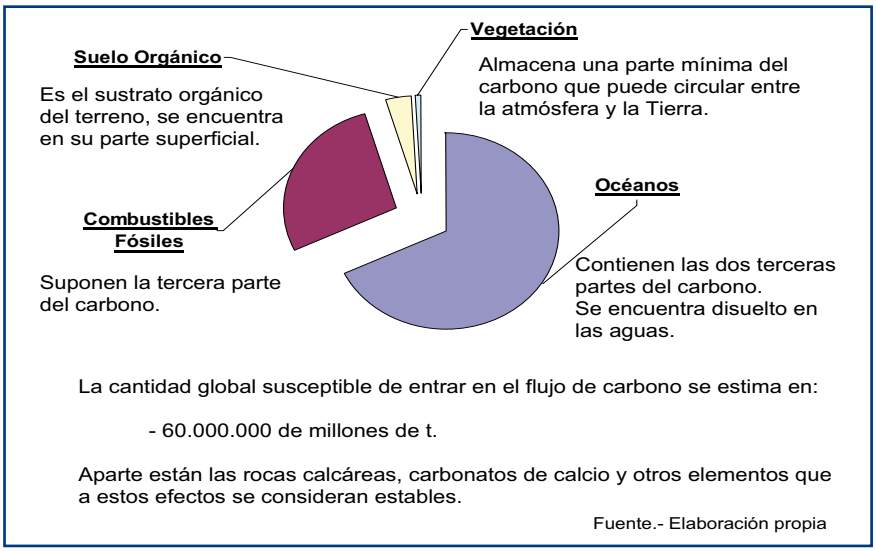


Figura 12. Almacenes de carbono que entran en la circulación de CO_2.

La cuestión más relevante a nuestro juicio respecto a los almacenes de carbono es que los combustibles fósiles suponen un tercio del carbono fijado en este ciclo global, tal como se muestra en la figura citada. Bien, ese volumen fue acumulado durante cuatrocientos millones de años, mientras que el hombre lo va a poner en la atmósfera en unos cientos de años, es decir a una velocidad un millón de veces mayor que como lo hizo la Tierra.

Es hora de asumir pues que nuestras acciones introducen un cambio significativo en los equilibrios de la Tierra y en la evolución climática, vamos a actuar en pocos años sobre un tercio de ese ciclo de carbono. Otra cuestión distinta es como se puede cambiar esta situación hacia la que caminamos, sí es que se puede hacer sin introducir problemas más graves para la especie humana.

También es verdad que sabemos poco sobre el clima y los factores que lo condicionan, y eso también nos debiera llevar a una mayor investigación y reflexión. Otras emisiones de origen bien antropogénico bien derivadas de fenómenos naturales inciden también en la capacidad de filtrar radiaciones que recibimos del Sol o en la retención de las radiaciones que emite la Tierra.

Es el caso de los aerosoles que se forman en la atmósfera debidos entre otras causas a las emisiones ácidas, óxidos de nitrógeno y de azufre, que reaccionan con el agua o con las partículas. Estos compuestos en suspensión tienen un efecto contrario al de los gases de efecto invernadero, aunque en conjunto en menor escala. (HANSEN).

Hay que señalar que en esos años desde 1940 a 1970 en los cuales hubo un cierto enfriamiento en la temperatura media de la Tierra, quizás una décima de grado, que coincidió con un incremento de las emisiones ácidas de origen antropogénico, se llegó a plantear que el hombre inducía una nueva glaciación.

Las partículas sólidas que se encuentran en la atmósfera tienen carácter reflectante sobre la radiación solar que incide en la Tierra, pueden estar originadas por actividades humanas, pero también por fenómenos naturales. Han sido significativos a este respecto las erupciones volcánicas, la del volcán Tambora en Indonesia en 1815 emitió tal cantidad de polvo que al año siguiente prácticamente no hubo verano.

Hoy previsiblemente se sabe más de la evolución climática y sus causas, ello nos lleva a preocuparnos más por los gases de efecto invernadero cuya concentración crece en la atmósfera, y cuyo efecto parece uno de los más significativos en los cambios del clima, sin que se olviden otros. Así se estiman las siguientes variaciones. (BALAIRON).

- Aumento de las concentraciones de gases de efecto invernadero en los dos últimos siglos: Para el CO_2 un 35%, el CH_4 un 145%, y N_2O el 15%.
- La Tierra recibe del Sol una cantidad de energía valorada en 240 W/m^2, de la cual la reflexión o albedo se supone un 30%.
- La concentración de los gases de efecto invernadero hacen variar el valor neto de la energía que queda en la Tierra.

Las Naciones Unidas crearon en 1988 el Panel Intergubernamental de expertos sobre el Cambio Climático, IPCC, que periódicamente emite informes, años 1990, 1995, 2001 y 2007, los cuales van creando un cuerpo de documentación, tanto con datos contrastados, como de predicciones hacia futuro.

Los ecosistemas de la Tierra almacenan carbono tal como se ha indicado anteriormente, algo más de la mitad del mismo se localiza en los bosques: boreales en mayor medida, seguidos por los tropicales, y los templados en menor medida. Se constata una reducción progresiva de la masa forestal tropical y del carbono almacenado, fundamentalmente en África y América del Sur. (FIDALGO Y SANCHO).

La Tierra en su entorno natural se encuentra deteriorada, en buena medida por la acción del hombre, la pérdida de masas forestales arriba citada, la erosión del suelo y la degradación de los mares, son tres aspectos críticos y eso le quita capacidad de respuesta a los fenómenos que parece se derivarán del Cambio Climático, y que ya se están viendo llegar. (DOW).

La temperatura media de la Tierra se ha incrementado en un valor que se estima entre 0,4 y 0,7 ºC, en mayor medida en el Hemisferio Norte que en el Hemisferio Sur. No es un valor muy alto, lo que preocupa más es que los modelos de evolución climática sugieren que ya no es factible evitar que la temperatura media del conjunto de la Tierra se eleve 2 ºC a lo largo de este siglo XXI.

Se observan cambios en los regímenes de precipitaciones acuosas, y las previsiones apuntan a que se incrementarán en determinadas zonas, por ejemplo en América del Norte y en parte de Centro y Norte de Europa, mientras que pueden ser menores en el entorno del Mediterráneo y el África Subsahariana. (CAÑADA).

Asistimos a la pérdida continuada de hielo en el Océano Ártico, y este es otro factor de calentamiento, quizás no sólo de origen antropogénico. El hielo refleja más las radiaciones solares que el agua líquida, en la medida que se pierda masa de hielo en este Hemisferio Norte, más será la radiación solar que se quede en la Tierra, en esas latitudes.

En España se mide la evolución del nivel del agua del mar en nuestras costas, las observaciones en Santander, Coruña y Vigo, muestran que desde 1950 a la actualidad éste se ha incrementado en unos 8 cm, a un ritmo de crecimiento de 2 mm anuales en los últimos años; valor que coincide con otras mediciones en el Atlántico Norte, y que induce preocupaciones globales para este siglo.

Estamos pues ante hechos que muestran un cambio en nuestro contexto climático, que quizás los países más desarrollados podemos gestionar, es posible que tengamos capacidad para ello. No así en los países menos favorecidos tal como se sugiere más adelante.

Los miedos a "cambios dramáticos", por ejemplo la ruptura de la corriente termohalina, no parecen de momento justificados, aunque no son descartables. Esta corriente es la de circulación marina, cuyo flujo de aguas calientes se muestra en la figura 13, que evacua calor de las zonas tropicales y lo lleva a las regiones polares, tiene un efecto de "igualación de temperaturas". Se ceba por el hundimiento de aguas frías en los entornos de Groenlandia, Islandia y el Continente Antártico.

Hay que pensar que quizás ese efecto de ruptura o aminoramiento de la circulación termohalina pudo darse en el Cálido Medieval, cuando Groenlandia no disponía de hielo en sus costas, que al hundirse en el mar como agua fría ceba la corriente; no habría evacuación de calor en las zonas tropicales y esto hizo que hubiera una punta de calor. Siendo esta una reflexión que queda en ese mar de dudas que tenemos en torno al clima.

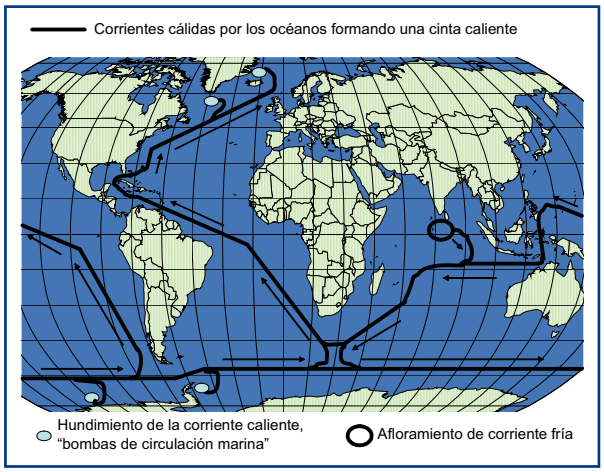


Figura 13. Circulación termohalina. Parte correspondiente a las aguas calientes.

Afectados por el Cambio Climático

En las reflexiones sobre la incidencia del cambio climático en la naturaleza es preciso valorar de forma especial la afección a la habitabilidad humana del entorno. Aquí se quiere hacer mención específica a dos áreas geográficas que pueden ser afectadas y que por diferentes razones están muy cerca de nosotros. Figuras 14 y 15.

Uno de los aspectos más preocupantes es el avance de la erosión y de la desertización, pues si bien estos espacios tienen su propia estructura de especies y conforman una naturaleza específica, en ella la posibilidad de vida para la especie humana es más reducida, el número de individuos que en esos entornos podemos vivir es menor. Otro son los derivados de la dinámica marina, bien huracanes y tornados, bien invasión del agua salada de los acuíferos terrestres por efecto del incremento del nivel del mar.

La especie humana camina hacia unos 9.000 millones de personas para mediados de este siglo XXI, las cuales precisarán en primer lugar disponer de agua y alimentos, pero también de posibilidades de crecimiento económico, al menos para los países más desfavore-

NORTE Y CENTRO DE ÁFRICA:

- *Incremento de la temperatura por mayor temperatura media de la Tierra.*
- *Distribución posiblemente más irregular que la actual de las lluvias.*
- *Elevación del nivel del mar en las costas, especial afección al delta del Nilo y al estuario del río Gambia, pero tambien a otras áreas.*
- *Traslación de todo ello hacia una evoluvión negativa en la producción de alimentos. Mayor incidencia de las hambrunas.*
- *Efectos desfavorables soble el desarrollo del turismo.*
- *Aumento de algunos condicionantes que fuerzan la emigración masiva.*

Figura 14. Reflexiones sobre la incidencia del Cambio Climático en el Norte y Centro de África.

AMÉRICA CENTRAL Y CARIBE:

- *Incremento de la temperatura, tanto por mayor temperatura media de la Tierra, como por posiblemente menor evacuación de calor desde esta zona geográfica hacia latitudes mayores a causa de una menor actividad de la Corriente del Golfo.*
- *Mayor incidencia negativa de los huracanes y tifones en el lado atlántico, donde ya tradicionalmente ocasionan graves problemas. Posible llegada de huracanes en la costa del Pacífico.*
- *Posible reducción de la disponibilidad efectiva de agua para agricultura y para otros usos. Es previsible una mayor intensidad de la evaporación superficial y por lo tanto un déficit, que se une a las demandas crecientes de agua.*
- *Incidencia negativa en la habitabilidad de la región y en el turismo.*

Figura 15. Algunas posibles afecciones del cambio climático sobre Centro América y el Caribe.

cidos, y de desarrollo social para todos. El deterioro de la habitabilidad de la Tierra va contra esto.

Es posible que en latitudes altas del planeta, por encima del paralelo 45 no haya especial deterioro de las condiciones de habitabilidad, e incluso que regiones poco pobladas en torno al Océano Ártico pudieran admitir mayor volumen de población humana. Habría que considerar este hecho ante la expulsión por razones de tipo climático desde otras zonas de la Tierra.

El incremento de la temperatura en áreas tropicales y ecuatoriales incidirá negativamente en varios aspectos. Por un lado reducirá la disponibilidad de agua potable, aunque es posible que las precipitaciones se incrementen de forma violenta e irregular. De otro modo esa mayor temperatura extenderá el área de influencia de ciertas enfermedades al reducirse la limitación al desarrollo de los microorganismos de la enfermedad o sus portadores que suponen los fríos nocturnos.

Ya se ha dicho que el incremento del nivel del mar se evalúa en unos 2 mm anuales, que aunque nos parezca un valor irrelevante, al cabo de un siglo puede ser significativo, en particular si en el futuro aumenta ese ritmo de elevación, como parece factible. Es un tema que afectará a las poblaciones costeras, no podemos olvidar que el desplazamiento de la vivienda hacia las costas es en general un hecho creciente en el mundo.

La incidencia negativa del aumento del nivel del mar en los cultivos en zonas costeras pude ser relevante en algunos países como Bangladesh, que ya tienen mucha población en zonas inundables, o en regiones especialmente sensibles a este tipo de cambios, como por ejemplo el delta del Nilo, o la desembocadura del río Gambia.

En América Latina hay factores de preocupación en el entorno de Centro América y el Caribe, donde ya históricamente los huracanes y ciclones han sido motivo de desastres que han afectado negativamente a sus poblaciones. Un mayor nivel de temperatura que el actual además puede contribuir a ir a esquemas climáticos de incertidumbre y de previsible afección negativa en la agricultura y otras actividades.

Emisiones actuales de gases de efecto invernadero

El conjunto de las emisiones de gases de efecto invernadero, valoradas como CO_2 equivalente, se sitúan en torno a los 40.000 millones de toneladas anuales, siendo las de mayor contribución al efecto invernadero las correspondientes al CO_2, seguidas por las de metano. La distribución de ese conjunto de emisiones en distintas áreas de actividad se refleja en la figura 16.

Las emisiones de CO_2 de origen energético son las mayores con diferencia, por ello la preocupación mayor se une a las posibilidades de contención, aunque no se debieran olvidar las correspondientes a las quemas de bosques y cambios de uso de la tierra, que suponen algo más de la sexta parte del total.

Hay que señalar que las emisiones de metano se han puesto de manifiesto poco en las reflexiones sobre el cambio climático, pero presentan un factor de crecimiento importante. Las mayores corresponden a las originadas en el aparato digestivo de los rumiantes, allí perviven los

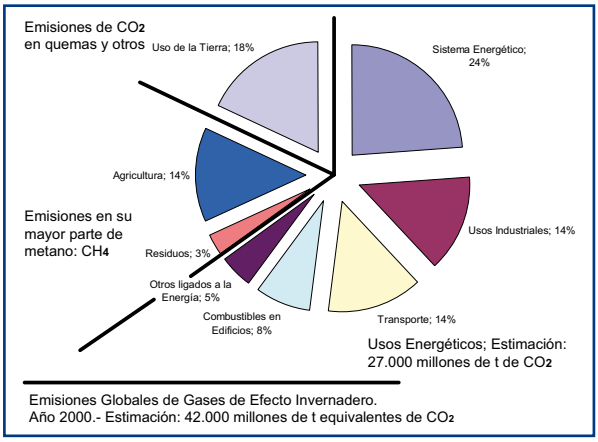


Figura 16. Origen de las emisiones de gases de efecto invernadero.

microorganismos citados al principio de este documento que desprenden metano, y que en el ganado vacuno facilitan el especial proceso de digestión de estos animales.

La cabaña de ganado vacuno se sitúa en torno a mil trescientos millones de animales, es decir uno por cada cinco humanos; nosotros hemos fomentado su crecimiento en la evolución que le estamos dando a la alimentación, comemos mucha más carne de vacuno que hace décadas, y somos muchos más hombres en la Tierra que a principios del siglo pasado.

No parece que vayamos a cambiar nuestros hábitos alimenticios, más bien se extiende el consumo de carne de vacuno, tanto en los entornos de alto nivel económico con ingestión de filetes y chuletas, como en otros de más bajo poder adquisitivo con hamburguesas. El problema no sólo se une a la emisión de metano de este ganado, sino también a la deforestación que se hace en amplias regiones del mundo para suministrar forraje a la cabaña vacuna.

Reflexiones sobre propuestas energéticas y de uso de la tierra

La evolución de las emisiones de CO_2 de origen energético ha sido mala en los últimos años, en particular en los primeros de este siglo. La bonanza económica, que ha fomentado el consumo en general, ha hecho que crezca la demanda de energía y se incremente las emisiones, a pesar de que en el año 1997 se diseña el Compromiso de Kyoto para frenar ese crecimiento. Figura 17.

En el año 2004, las emisiones de CO_2 de origen energético sobrepasaban los 26.000 millones de t. Adicionalmente las emisiones de origen agrícola y por cambios de uso de la tierra, tanto de CO_2 como de CH_4, también han crecido en una serie de países; y las procedentes de los vertidos de residuos, CH_4, lo han hecho en otros. (ROIS)

EMISIONES DE CO_2 DE ORIGEN ENERGÉTICO: 1990 A 2004

- *A nivel global a crecido a ritmo moderado entre 1990 y 2000, luego se ha incrementado. Se alcanzan los 26.000 millones de t/a en 2004.*
- *Los países indutrializados han aumentado sus emisiones un 11% en ese período. Las correspondientes a la generación de electricidad han crecido un 8,6% y las del transporte un 23,9%.*
- *Los países en vías de desarrollo se estima que han incrementado sus emisiones en torno al 54%. China un 47% entre 1990 y 2002. India dobló sus emisiones en el período citado. Brasil las aumentó un 37%.*
- *Estados Unidos es el mayor emisor, las incremento un 15,8% en este período. Posiblemente será superado por China hacia el año 2010.*

(ROIS.- Ecologista, n.º 33, Verano 2007)

Figura 17. Información sobre la evolución de las emisiones de CO_2.

Las emisiones globales medidas como CO_2 equivalente se sitúan en torno a 40.000 millones de toneladas, con el desglose de la figura 16, antes mencionada. Se estima, de acuerdo a los modelos de evolución del clima, que para conseguir que la temperatura media de la Tierra no aumente por encima de 2 ºC se debieran reducir a algo más de 30.000 millones de toneladas anuales.

Con esa reducción de emisiones se pretende que la concentración de gases de efecto invernadero se estabilice en el rango de 450 a 550 ppmv medido en CO_2 equivalente. Se recuerda que el valor actual se estima en 430 ppmv equivalente, esto hace muy difícil pensar que ese objetivo se va a conseguir, salvo que las medidas globales a corto plazo fueran muy estrictas, lo cual choca en primer lugar con el desarrollo económico y social de los países más desfavorecidos.

Las propuestas actuales de actuación se dirigen hacia el sector energético, para conseguir moderar el crecimiento de sus emisiones, y como horizonte teórico a reducirlas. Ambos objetivos parecen difíciles de realizar:

- Los países más ricos debieran cambiar de forma drástica sus esquemas energéticos, lo cual ineludiblemente implica modificar su actual modelo económico, reduciendo en general su consumo de bienes y de servicios de mercado.

Hay que señalar por ejemplo que los denominados productos de usar y tirar: aluminio, vidrio, celulosa y papel, implican elevados aportes energéticos en su fabricación, y consecuentemente emisiones de CO_2. Los servicios de mercado, comerciales y turísticos, consumen energía eléctrica, pero sobre todo carburantes en la movilidad que implican. El transporte es el concepto de mayor crecimiento de las emisiones de CO_2, que se estima que pasarán de 4.500 millones de t en 1990 a más de 9.000 millones en el año 2030, y fundamentalmente debido al aumento en países ricos. (SEGURA).

No olvidemos a efectos de esa situación dispar entre países ricos y pobres, que Estados Unidos emite 20 toneladas de CO_2 equivalente por habitante y año, y la Unión Europea 10; mientras que la media mundial debiera situarse en 4 toneladas por persona y año para ir hacia esos 2 ºC de incremento de la temperatura media.

- Los países en vías de desarrollo necesitan incrementar sus producciones y consumos para que en sus poblaciones haya un cierto equilibrio y un grado de bienestar mínimo. Hay muchos problemas para que se pueda avanzar en desarrollo social y humano sin incrementar el consumo energético, por ejemplo el crecimiento de las ciudades demanda mayor movilidad de personas y mercancías, es decir consumo de carburantes, así como aportes de electricidad.

Las previsiones de demanda energética apuntan a crecimientos globales importantes, incluyendo aumentos en los países más desarrollados; lo cual se traducirá en aumentos de las emisiones de CO_2 de origen energético. Posiblemente se llegue al entorno de 40.000 millones de toneladas hacia el años 2030. Véase la figura 18.

Hay visiones más optimistas que asumen que habrá planteamientos de ahorro y uso eficiente de la energía, más avances importantes en la extensión de las energías renovables, con ello nos podríamos estabilizar en emisiones del orden de 30.000 millones de toneladas anuales.

En cualquier caso hay que ver que en el escenario optimista, ya sólo las emisiones de origen energético alcanzarían la cifra tope que se planteó más arriba. Esto hace que haya que pensar también en actuaciones para frenar el crecimiento de emisiones de metano o de dióxido de carbono derivadas de cambios en el uso de la tierra, la agricultura y la ganadería.

Hay que plantear que no podemos seguir deforestando el planeta, por ejemplo para obtener más proteínas de la

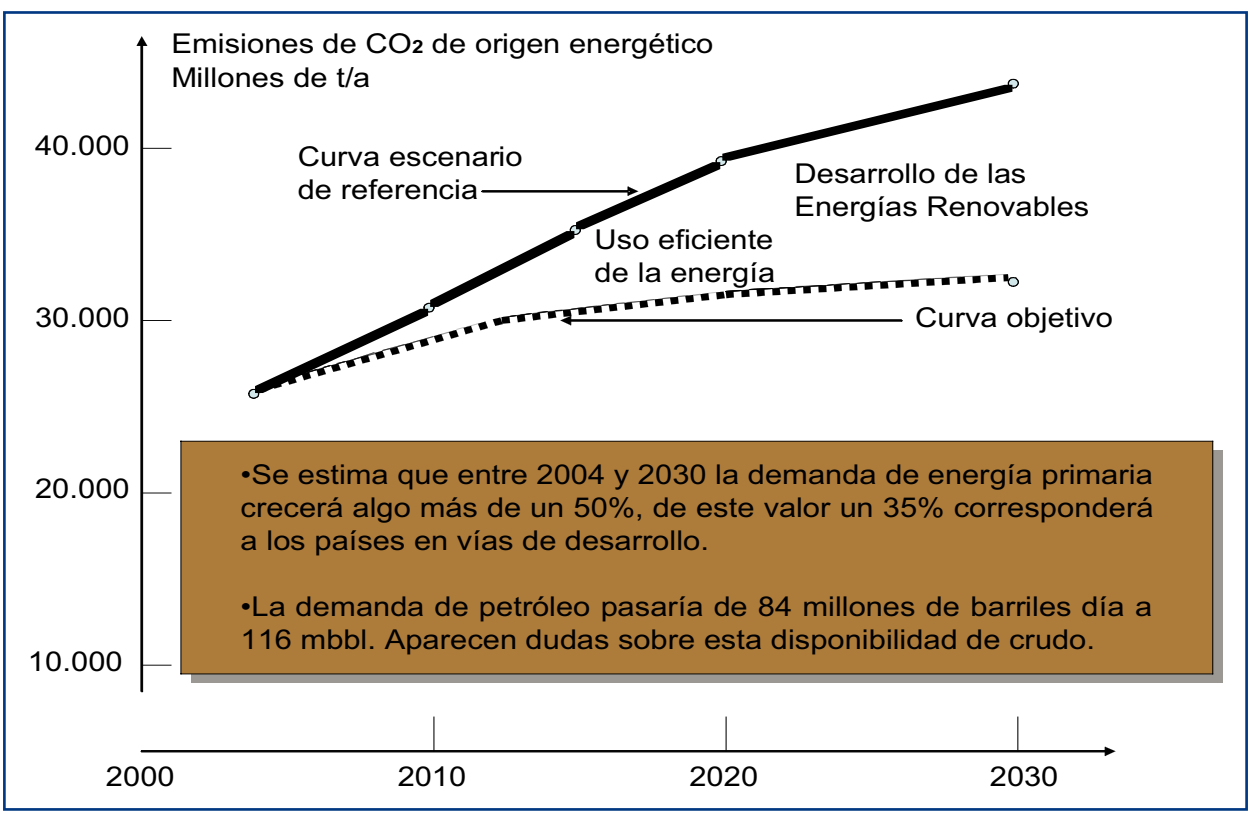


Figura 18. Previsiones de evolución de las emisiones de CO_2 de origen energético.

carne de vacuno; es decir habría que pedir un cambio cultural y social. No parece nada fácil en el actual contexto de desigualdades e injusticias a nivel global. No olvidemos que esos cambios en el uso de la tierra se ven con ciertas esperanzas de desarrollo en algunos países de bajo nivel económico, aunque luego el reparto de la riqueza generada cuando menos no sea equilibrado en toda su población.

Adaptación al cambio climático

Todo lo anterior apunta a que hemos de asumir un cambio climático importante, aunque se deba seguir trabajando para que sea el menor posible; previsiblemente el incremento de la temperatura media de la Tierra sobrepasará los 2 ºC, quizás los 4 ºC son inevitables, pero a partir de ahí es posible que se entre en esquemas de alto riesgo.

Parece lógico que cada país analice su situación actual y previsiones de evolución, a la vez que vaya tomando medidas para que esa evolución previsible del clima introduzca las menores alteraciones posibles en la sociedad. Sin que ello sea fomentar la actual cultura que tiene una fuerte componente de autovaloración, de mirar lo más cercano y nacional, a la vez que se olvida lo global, lo ciudadano.

Evidentemente habrá países y zonas del mundo con graves problemas derivados del cambio climático, quizás los efectos negativos haya que valorarlos desde ahora. Eso nos lleva a pensar en que se debiera crear un fondo de remediación para los más afectados, y esto sólo se puede hacer desde las sociedades ricas.

Aquí aparece el concepto de impuestos energéticos, que debieran ser una herramienta tanto para avanzar en los cambios tecnológicos, como en ayudar a los más desfavorecidos por el previsible cambio climático, sea cual sea su origen, pero que previsiblemente distorsionará fuertemente la estructura de la Humanidad.

Bibliografía

BALAIRÓN, Luís.- Cambio Climático y Desarrollo Sostenible.- Cuadernos de Sostenibilidad y Patrimonio Natural.- Nº 6. Fundación Santander Central Hispano.

CAÑADA TORRECILLA, Rosa.- El cambio climático, impactos y opciones de mitigación.- estrategias para la tierra y el espacio.- Editorial ESPASA.

FERNÁNDEZ SUÁREZ, Emilio Manuel.- Cambio Climático: un reto para Galicia, un desafío para a humanidades.- Conselleria de Medio Ambiente e Desenvolvemento Sostible.- Voz Natura.- Fundación Santiago Rey Fernández-Latorre.

FIDALGO HIJANO, Concepción y SANCHO GARCÍA, Inés.- La conservación de las comunidades vegetales en el mundo.- estrategias para la tierra y el espacio.- Editorial ESPASA.

HANSEN, James. El calentamiento global. Investigación y Ciencia. Edición española de SCIENTIFIC AMERICAN.- Temas 45, 3er trimestre de 2006.

KASTING, James F.- Cuando el metano regulaba el clima.- TEMAS DE INVESTIGACIÓN Y CIENCIA.- Nº 45, 3er Trimestre de 2006.

MADRID CASADO, Carlos M.- Las Matemáticas del cambio climático.- Encuentros Multidisciplinares. Revista de Investigación, divulgación y debate multidisciplinar. Nº 26, Mayo – Agosto de 2007.- Universidad Autónoma de Madrid.

MARTÍNEZ CORTIZAS, Antonio y PÉREZ ALBERTI, Augusto.- Atlas Climático de Galicia.- Xunta de Galicia.

PEDRAZA, Javier de.- Algunas consideraciones geológicas de la desertificación.- Cuadernos de Sostenibilidad y Patrimonio Natural, nº 10.- Fundación Banco Santander Central Hispano.

ROIS, Cristina.- Emisiones de CO_2: crecimiento sostenido.- Revista “ecologista”, nº 53, verano 2007.

SEGURA, Paco.- Transporte y cambio climático.- Revista “ecologista”, nº 53, verano 2007.