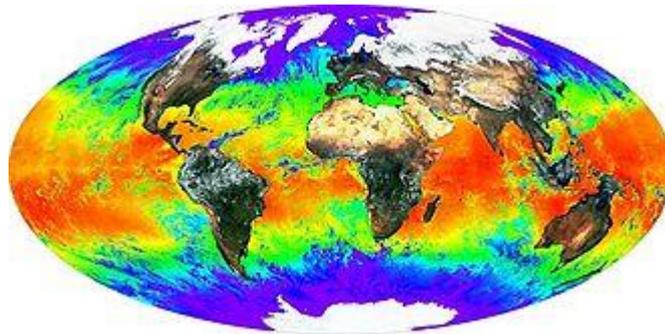


Causas de los cambios climáticos

Textoscientificos.com



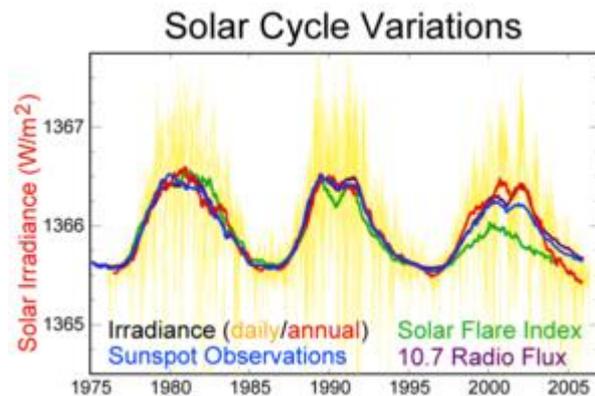
Temperatura en la superficie terrestre.

El clima es un promedio, a una escala de tiempo dada, del tiempo atmosférico. Sobre el clima influyen muchos fenómenos; consecuentemente, cambios en estos fenómenos provocan cambios climáticos. Un cambio en la emisión del Sol, en la composición de la atmósfera, en la disposición de los continentes, en las corrientes marinas o en la órbita de la Tierra puede modificar la distribución de energía y el balance radiactivo terrestre, alterando así profundamente el clima planetario.

Estas influencias se pueden clasificar en externas e internas a la Tierra. Las externas también reciben el nombre de forzamientos dado que normalmente actúan de forma sistemática sobre el clima, aunque también los hay aleatorios como es el caso de los impactos de meteoritos (astroblemas). La influencia humana sobre el clima en muchos casos se considera forzamiento externo ya que su influencia es más sistemática que caótica pero también es cierto que el Homo sapiens pertenece a la propia biosfera terrestre pudiéndose considerar también como forzamientos internos según el criterio que se use. En las causas internas se encuentran una mayoría de factores no sistemáticos o caóticos. Es en este grupo donde se encuentran los factores amplificadores y moderadores que actúan en respuesta a los cambios introduciendo una variable más al problema ya que no solo hay que tener en cuenta los factores que actúan sino también las respuestas que dichas modificaciones pueden conllevar. Por todo eso al clima se le considera un sistema complejo. Según qué tipo de factores dominen la variación del clima será sistemática o caótica. En esto depende mucho la escala de tiempo en la que se observe la variación ya que pueden quedar patrones regulares de baja frecuencia ocultos en variaciones caóticas de alta frecuencia y viceversa.

Variaciones solares

El Sol es una estrella variable. Presenta ciclos de actividad de once años. Ha tenido períodos en los cuales no presenta manchas solares, como el mínimo de Maunder que fue de 1645 a 1715. En los cuales se produjo una mini edad de Hielo.



Variaciones de la luminosidad solar a lo largo del ciclo de las manchas solares.

La temperatura media de la Tierra depende, en gran medida, del flujo de radiación solar que recibe. Sin embargo, debido a que ese aporte de energía apenas varía en el tiempo, no se considera que sea una contribución importante para la variabilidad climática. Esto sucede porque el Sol es una estrella de tipo G en fase de secuencia principal, resultando muy estable. El flujo de radiación es, además, el motor de los fenómenos atmosféricos ya que aporta la energía necesaria a la atmósfera para que éstos se produzcan.

Por otro lado, a largo plazo las variaciones se hacen apreciables ya que el Sol aumenta su luminosidad a razón de un 10 % cada 1.000 millones de años. Debido a este fenómeno, en la Tierra primitiva que sustentó el nacimiento de la vida, hace 3.800 millones de años, el brillo del Sol era un 70 % del actual.

Las variaciones en el campo magnético solar y, por tanto, en las emisiones de viento solar, también son importantes, ya que la interacción de la alta atmósfera terrestre con las partículas provenientes del Sol puede generar reacciones químicas en un sentido u otro, modificando la composición del aire y de las nubes así como la formación de éstas.

Variaciones orbitales

Si bien la luminosidad solar se mantiene prácticamente constante a lo largo de millones de años, no ocurre lo mismo con la órbita terrestre. Ésta oscila periódicamente, haciendo que la cantidad media de radiación que recibe cada hemisferio fluctúe a lo largo del tiempo, y estas variaciones provocan las pulsaciones glaciares a modo de veranos e inviernos de largo período. Son los llamados períodos glaciales e interglaciales. Hay tres factores que contribuyen

a modificar las características orbitales haciendo que la insolación media en uno y otro hemisferio varíe aunque no lo haga el flujo de radiación global. Se trata de la precesión de los equinoccios, la excentricidad orbital y la oblicuidad de la órbita o inclinación del eje terrestre.

Impactos de meteoritos

En raras ocasiones ocurren eventos de tipo catastrófico que cambian la faz de la Tierra para siempre. El último de tales acontecimientos catastróficos sucedió hace 65 millones de años. Se trata de los impactos de meteoritos de gran tamaño. Es indudable que tales fenómenos pueden provocar un efecto devastador sobre el clima al liberar grandes cantidades de CO₂, polvo y cenizas a la atmósfera debido a la quema de grandes extensiones boscosas. De la misma forma, tales sucesos podrían intensificar la actividad volcánica en ciertas regiones. En el suceso de Chichulub (en Yucatán, México) hay quien relaciona el período de fuertes erupciones en volcanes de la India con el hecho de que este continente se sitúe cerca de las antípodas del cráter de impacto. Tras un impacto suficientemente poderoso la atmósfera cambiaría rápidamente, al igual que la actividad geológica del planeta e, incluso, sus características orbitales.

Influencias internas

La deriva continental



 Pangea

La Tierra ha sufrido muchos cambios desde su origen hace 4.600 millones de años. Hace 225 millones todos los continentes estaban unidos, formando lo que se conoce como Pangea, y había un océano universal llamado Panthalassa. Esta disposición favoreció el aumento de las corrientes oceánicas y provocó que la diferencia de temperatura entre el Ecuador y el Polo fuera muchísimo menor que en la actualidad. La tectónica de placas ha separado los continentes y los ha puesto en la situación actual. El Océano Atlántico se ha ido formando desde hace 200 millones de años.

La deriva continental es un proceso sumamente lento, por lo que la posición de los continentes fija el comportamiento del clima durante millones de años. Hay dos aspectos a tener en cuenta. Por una parte, las latitudes en las que se concentra la masa continental: si las masas continentales están situadas en latitudes bajas habrá pocos glaciares continentales y, en general, temperaturas medias menos extremas. Así mismo, si los continentes se hallan muy fragmentados habrá menos continentalidad.

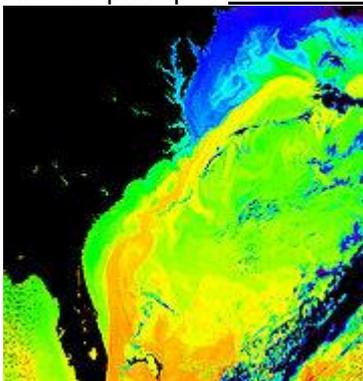
La composición atmosférica

La atmósfera primitiva, cuya composición era parecida a la nebulosa inicial, perdió sus componentes más ligeros, el hidrógeno diatómico (H_2) y el helio (He), para ser sustituidos por gases procedentes de las emisiones volcánicas del planeta u sus derivados, especialmente dióxido de carbono (CO_2), dando lugar a una atmósfera de segunda generación. En dicha atmósfera son importantes los efectos de los gases de invernadero emitidos de forma natural en volcanes. Por otro lado, la cantidad de óxidos de azufre y otros aerosoles emitidos por los volcanes contribuyen a lo contrario, a enfriar la Tierra. Del equilibrio entre ambos efectos resulta un balance radiactivo determinado.

Con la aparición de la vida en la Tierra se sumó como agente incidente el total de organismos vivos, la biosfera. Inicialmente, los organismos autótrofos por fotosíntesis o quimiosíntesis capturaron gran parte del abundante CO_2 de la atmósfera primitiva, a la vez que empezaba acumularse oxígeno (a partir del proceso abiótico de la fotólisis del agua). La aparición de la fotosíntesis oxigénica, que realizan las cianobacterias y sus descendientes los plastos, dio lugar a una presencia masiva de oxígeno (O_2) como la que caracteriza la atmósfera actual, y aun superior. Esta modificación de la composición de la atmósfera propició la aparición de formas de vida nuevas, aeróbicas que se aprovechaban de la nueva composición del aire. Aumentó así el consumo de oxígeno y disminuyó el consumo neto de CO_2 llegándose al equilibrio o clímax, y formándose así la atmósfera de tercera generación actual. Este delicado equilibrio entre lo que se emite y lo que se absorbe se hace evidente en el ciclo del CO_2 , la presencia del cual fluctúa a lo largo del año según las estaciones de crecimiento de las plantas.

Las corrientes oceánicas [\[editar\]](#)

Artículo principal: [Corrientes oceánicas](#)



Temperatura del agua en la Corriente del Golfo.

Las corrientes oceánicas, o marinas, son un factor regulador del clima que actúa como moderador, suavizando las temperaturas de regiones como Europa. El ejemplo más claro es la corriente termohalina que, ayudada por la diferencia de temperaturas y de salinidad, se hunde en el Atlántico Norte.

El campo magnético terrestre

De la misma forma que el viento solar puede afectar al clima de forma directa, las variaciones en el campo magnético terrestre pueden afectarlo de manera indirecta ya que, según su estado, detiene o no las partículas emitidas por el Sol. Se ha comprobado que en épocas pasadas hubo inversiones de polaridad y grandes variaciones en su intensidad, llegando a estar casi anulado en algunos momentos. Se sabe también que los polos magnéticos, si bien tienden a encontrarse próximos a los polos geográficos, en algunas ocasiones se han aproximado al Ecuador. Estos sucesos tuvieron que influir en la manera en la que el viento solar llegaba a la atmósfera terrestre.

Los efectos antropogénicos

El ser humano es hoy uno de los agentes climáticos de importancia, incorporándose a la lista hace relativamente poco tiempo. Su influencia comenzó con la deforestación de bosques para convertirlos en tierras de cultivo y pastoreo, pero en la actualidad su influencia es mucho mayor al producir la emisión abundante de gases que producen un efecto invernadero: CO₂ en fábricas y medios de transporte y metano en granjas de ganadería intensiva y arrozales. Actualmente tanto las emisiones de gases como la deforestación se han incrementado hasta tal nivel que parece difícil que se reduzcan a corto y medio plazo, por las implicaciones técnicas y económicas de las actividades involucradas.

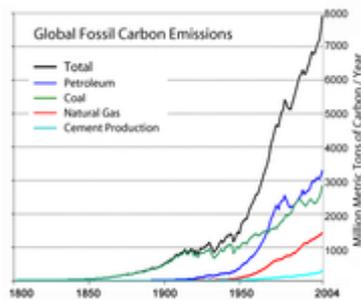
Según el ministerio ambiental español, las reducciones de la intensidad energética en los vehículos ligeros, que ofrecerían períodos de amortización a los usuarios de tres a cuatro años mediante el ahorro de combustible, pueden disminuir las emisiones específicas entre un 10% y 25% para el año 2020. Además, si se utiliza diésel, gas natural o propano en lugar de gasolina, técnicamente se pueden reducir las emisiones entre un 10% y 30%, que alcanzarían el 80% si los combustibles proceden de fuentes renovables. Así mismo, el control de las fugas de refrigerante puede añadir otro 10% de reducción. La aplicación de medidas fiscales sobre los combustibles, principalmente en países con bajos precios, podría reducir las emisiones del transporte por carretera en un 25%; aunque esta medida tendría implicaciones económicas indirectas en otros sectores.

Los aerosoles de origen antropogénico, especialmente los sulfatos provenientes de los combustibles fósiles, ejercen una influencia reductora de la temperatura.^[1] Este hecho, unido a la variabilidad natural del clima, son las causas que explican el "valle" que se observa en el gráfico de temperaturas en la zona central del siglo XX.

Retroalimentaciones y factores moderadores



La Tierra vista desde el Apolo 17.



Emisiones globales de dióxido de carbono discriminadas según su origen.

Muchos de los cambios climáticos importantes se dan por pequeños desencadenantes causados por los factores que se han citado, ya sean forzamientos sistemáticos o sucesos imprevistos. Dichos desencadenantes pueden formar un mecanismo que se refuerza a sí mismo (retroalimentación o "feedback positivo") amplificando el efecto. Asimismo, la Tierra puede responder con mecanismos moderadores ("feedbacks negativos") o con los dos fenómenos a la vez. Del balance de todos los efectos saldrá algún tipo de cambio más o menos brusco pero siempre impredecible a largo plazo, ya que el sistema climático es un sistema caótico y complejo.

Un ejemplo de feedback positivo es el efecto albedo, un aumento de la masa helada que incrementa la reflexión de la radiación directa y, por consiguiente, amplifica el enfriamiento. También puede actuar a la inversa, amplificando el calentamiento cuando hay una desaparición de masa helada. También es una retroalimentación la fusión de los casquetes polares, ya que crean un efecto de estancamiento por el cual las corrientes oceánicas no pueden cruzar esa región. En el momento en que empieza a abrirse el paso a las corrientes se contribuye a homogeneizar las temperaturas y favorece la fusión completa de todo el casquete y a suavizar las temperaturas polares, llevando el planeta a un mayor calentamiento al reducir el albedo.

La Tierra ha tenido períodos cálidos sin casquetes polares y recientemente se ha visto que hay una laguna en el Polo Norte durante el verano boreal, por lo que los científicos noruegos predicen que en 50 años el Ártico será navegable

en esa estación. Un planeta sin casquetes polares permite una mejor circulación de las corrientes marinas, sobre todo en el hemisferio norte, y disminuye la diferencia de temperatura entre el ecuador y los Polos.

También hay factores moderadores del cambio. Uno es el efecto de la biosfera y, más concretamente, de los organismos fotosintéticos (fitoplancton, algas y plantas) sobre el aumento del dióxido de carbono en la atmósfera. Se estima que el incremento de dicho gas conllevará un aumento en el crecimiento de los organismos que hagan uso de él, fenómeno que se ha comprobado experimentalmente en laboratorio. Los científicos creen, sin embargo, que los organismos serán capaces de absorber sólo una parte y que el aumento global de CO₂ proseguirá.

Hay también mecanismos retroalimentadores para los cuales es difícil aclarar en que sentido actuarán. Es el caso de las nubes. Actualmente se ha llegado a la conclusión, mediante observaciones desde el espacio, que el efecto total que producen las nubes es de enfriamiento.^[2] Pero este estudio solo se refiere a las nubes actuales. El efecto neto futuro y pasado es difícil de saber ya que depende de la composición y formación de las nubes.

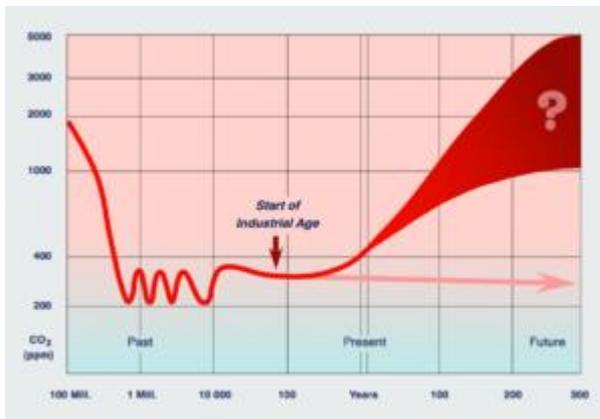
Cambios climáticos en el pasado

Los estudios del clima pasado (paleoclima) se realizan estudiando los registros fósiles, las acumulaciones de sedimentos en los lechos marinos, las burbujas de aire capturadas en los glaciares, las marcas erosivas en las rocas y las marcas de crecimiento de los árboles. Con base en todos estos datos se ha podido confeccionar una historia climática reciente relativamente precisa, y una historia climática prehistórica con no tan buena precisión. A medida que se retrocede en el tiempo los datos se reducen y llegado un punto la climatología se sirve solo de modelos de predicción futura y pasada.

La paradoja del Sol débil

A partir de los modelos de evolución estelar se puede calcular con relativa precisión la variación del brillo solar a largo plazo, por lo cual se sabe que, en los primeros momentos de la existencia de la Tierra, el Sol emitía el 70% de la energía actual y la temperatura de equilibrio era de -41 °C. Sin embargo, hay constancia de la existencia de océanos y de vida desde hace 3.800 millones de años, por lo que la paradoja del Sol débil sólo puede explicarse por una atmósfera con mucha mayor concentración de CO₂ que la actual y con un efecto invernadero más grande.

El efecto invernadero en el pasado



Variaciones en la concentración de dióxido de carbono.

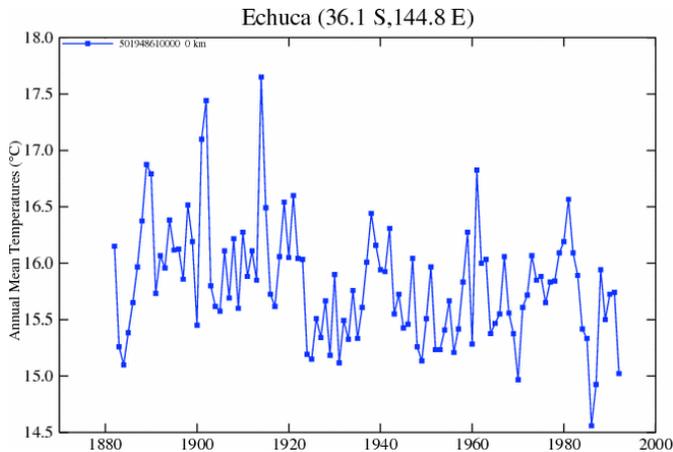
La atmósfera influye fundamentalmente en el clima; si no existiese, la temperatura en la Tierra sería de -20°C , pero la atmósfera se comporta de manera diferente según la longitud de onda de la radiación. El Sol por su alta temperatura emite radiación a un máximo de 0,48 micrómetros (Ley de Wien) y la atmósfera deja pasar la radiación. La Tierra tiene una temperatura mucho menor, y reemite la radiación absorbida a una longitud mucho más larga, infrarroja de unos 10-15 micrómetros, a la que la atmósfera ya no es transparente. El CO₂ que está actualmente en la atmósfera, en una proporción de 367 ppm, absorbe dicha radiación. También lo hace y en mayor medida el vapor de agua). El resultado es que la atmósfera se calienta y devuelve a la tierra parte de esa energía por lo que la temperatura superficial es de unos 15°C , y dista mucho del valor de equilibrio sin atmósfera. A este fenómeno se le llama el efecto invernadero y el CO₂ y el H₂O son los gases responsables de ello. Gracias al efecto invernadero podemos vivir. Para ver un cálculo pormenorizado sobre esta cuestión ir a: Balance radiactivo terrestre.

La concentración en el pasado de CO₂ y otros importantes gases invernadero como el metano se ha podido medir a partir de las burbujas atrapadas en el hielo y en muestras de sedimentos marinos observando que ha fluctuado a lo largo de las eras. Se desconocen las causas exactas por las cuales se producirían estas disminuciones y aumentos aunque hay varias hipótesis en estudio. El balance es complejo ya que si bien se conocen los fenómenos que capturan CO₂ y los que lo emiten la interacción entre éstos y el balance final es difícilmente calculable.

Se conocen bastantes casos en los que el CO₂ ha jugado un papel importante en la historia del clima. Por ejemplo en el proterozoico una bajada importante en los niveles de CO₂ atmosférico condujo a los llamados episodios Tierra bola de nieve. Así mismo aumentos importantes en el CO₂ condujeron en el periodo de la extinción

masiva del Pérmico-Triásico a un calentamiento excesivo del agua marina lo que llevó a la emisión del metano atrapado en los depósitos de hidratos de metano que se hallan en los fondos marinos lo que aceleró el proceso de calentamiento hasta el límite y condujo a la Tierra a la peor extinción en masa que ha padecido.

El CO₂ como regulador del clima



Echuca: T^o diaria promedio del aire en casilla meteo, de 1881 a 1992; en NASA

Es remarcable, que la Estación Meteorológica local posee datos de termometría del aire, a 15 dm del suelo, desde 1881 a 1992, sin acceso a la "mancha de calor" urbana, clásica de otras Estaciones invadidas por la isla de calor de la urbanización.

Durante las últimas décadas las mediciones en las diferentes estaciones meteorológicas indican que el planeta se ha ido calentando. Los últimos 10 años han sido los más calurosos desde que se llevan registros, [\[cita requerida\]](#) y algunos científicos predicen que en el futuro serán aún más calientes. La mayoría de los expertos están de acuerdo que los humanos ejercen un impacto directo sobre este proceso, generalmente conocido como el efecto invernadero. A medida que el planeta se calienta, disminuye globalmente el hielo en las montañas y las regiones polares, por ejemplo lo hace el de la banquisa ártica o el casquete glaciar de Groenlandia, aunque el hielo antártico, según predicen los modelos, aumenta ligeramente.

Dado que la nieve tiene un elevado albedo devuelve al espacio la mayor parte de radiación que incide sobre ella. La disminución de dichos casquetes también afectará, pues, al albedo terrestre, lo que hará que la Tierra se caliente aún más. El calentamiento global también ocasionará que se evapore más agua de los océanos. El vapor de agua actúa como el mejor "gas invernadero", al menos en el muy corto plazo. Así pues, habrá un mayor calentamiento. Esto produce lo que se llama efecto amplificador. De la misma forma, un aumento de la nubosidad debido a una mayor evaporación contribuirá a un aumento del albedo. La fusión de los hielos puede cortar también las corrientes marinas del atlántico norte provocando una bajada local de las temperaturas medias en esa región. El problema es de difícil predicción ya que, como se ve, hay retroalimentaciones positivas y negativas.

Naturalmente, hay efectos compensadores. El CO₂ juega un importante papel en el efecto invernadero: si la temperatura es alta, se favorece su intercambio con los océanos para formar carbonatos. Entonces el efecto invernadero decae y la temperatura también. Si la temperatura es baja, el CO₂ se acumula porque no se favorece su extracción con lo que aumenta la temperatura. Así pues el CO₂ desempeña también un papel regulador.

Aparece la vida en la Tierra

Con la aparición de las cianobacterias, en la Tierra se puso en marcha la fotosíntesis oxigénica. Las algas, y luego también las plantas, absorben y fijan CO₂, y emiten O₂. Su acumulación en la atmósfera favoreció la aparición de los organismos aerobios que lo usan para respirar y devuelven CO₂. El O₂ en una atmósfera es el resultado de un proceso vivo y no al revés. Se dice frecuentemente que los bosques y selvas son los "pulmones de la Tierra", aunque esto recientemente se ha puesto en duda ya que varios estudios afirman que absorben la misma cantidad de gas que emiten por que quizá solo serían meros intercambiadores de esos gases. En cualquier caso, en el proceso de creación de estos grandes ecosistemas forestales ocurre una abundante fijación del carbono que sí contribuye apreciablemente a la reducción de los niveles atmosféricos de CO₂. Actualmente los bosques tropicales ocupan la región ecuatorial del planeta y entre el Ecuador y el Polo hay una diferencia térmica de 50 °C. Hace 65 millones de años la temperatura era 8 °C superior a la actual y la diferencia térmica entre el Ecuador y el Polo era de unos pocos grados. Todo el planeta tenía un clima tropical y apto para los señores de la Tierra de esta época: los dinosaurios. Un cataclismo cometario acabó con ellos. La extinción masiva de animales se ha producido periódicamente en la historia de la Tierra.

Las glaciaciones del Pleistoceno

El hombre moderno apareció hace unos tres millones de años. Desde hace unos dos millones, la tierra ha sufrido períodos glaciares donde gran parte de Norteamérica, Sudamérica y Europa quedaron cubiertas bajo gruesas capas de hielo durante muchos años. Luego rápidamente los hielos desaparecieron y dieron lugar a un período interglaciar en el cual vivimos. El proceso se repite cada cien mil años aproximadamente. La última época glacial acabó hace unos quince mil años y dio lugar a un cambio fundamental en los hábitos del hombre con el descubrimiento de la agricultura y de la ganadería. La mejora de las condiciones térmicas provocó el paso del Paleolítico al Neolítico hace unos cinco mil años.

No fue hasta 1941 que el matemático y astrónomo serbio Milutin Milankovitch propuso la teoría de que las variaciones orbitales de la Tierra causaban las glaciaciones del Pleistoceno.

Calculó la insolación en latitudes altas del hemisferio norte a lo largo de las estaciones. Su tesis afirma que es necesaria la existencia de veranos fríos, en vez de inviernos severos, para iniciarse una edad del hielo. Su teoría no fue admitida en su tiempo, hubo que esperar a principios de los años cincuenta, Cesare Emiliani que trabajaba en un laboratorio de la Universidad de Chicago, presentó la primera historia completa que mostraba el avance y retroceso de los hielos durante las últimas glaciaciones. La obtuvo de un lugar insólito: el fondo del océano, comparando el contenido del isótopo pesado oxígeno-18 (O-18) y de oxígeno-16 (O-16) en las conchas fosilizadas.

El mínimo de Maunder

Desde que en 1610 Galileo inventara el telescopio, el Sol y sus manchas han sido observados con asiduidad. No fue sino hasta 1851 que el astrónomo Heinrich Schwabe observó que la actividad solar variaba según un ciclo de once años, con máximos y mínimos. El astrónomo solar Edward Maunder se percató que desde 1645 a 1715 el Sol interrumpe el ciclo de once años y aparece una época donde casi no aparecen manchas, denominado mínimo de Maunder. El Sol y las estrellas suelen pasar un tercio de su vida en estas crisis y durante ellas la energía que emite es menor y se corresponde con períodos fríos en el clima terrestre.

Las auroras boreales o las australes causadas por la actividad solar desaparecen o son raras.

Ha habido 6 mínimos solares similares al de Maunder desde el mínimo egipcio del 1300 a. C. hasta el último que es el de Maunder. Pero su aparición es muy irregular, con lapsos de sólo 180 años, hasta 1100 años, entre mínimos. Por término medio los periodos de escasa actividad solar duran unos 115 años y se repiten aproximadamente cada 600. Actualmente estamos en el Máximo Moderno que empezó en 1780 cuando vuelve a reaparecer el ciclo de 11 años. Un mínimo solar tiene que ocurrir como muy tarde en el 2900 y un nuevo período glaciario, cuyo ciclo es de unos cien mil años, puede aparecer hacia el año 44.000, si las acciones del hombre no lo impiden.

El cambio climático actual

Combustibles fósiles y calentamiento global

A finales del siglo XVII el hombre empezó a utilizar combustibles fósiles que la tierra había acumulado en el subsuelo durante su historia geológica. La quema de petróleo, carbón y gas natural ha causado un aumento del CO₂ en la atmósfera que últimamente es de 1,4 ppm al año y produce el consiguiente aumento de la temperatura. Se estima que desde que el hombre mide la temperatura hace unos 150 años (siempre dentro de la época industrial) ésta

ha aumentado 0,5 °C y se prevé un aumento de 1 °C en el 2020 y de 2°C en el 2050.

Además del dióxido de carbono (CO₂), existen otros gases de efecto invernadero responsables del calentamiento global, tales como el gas metano (CH₄) óxido nitroso (N₂O), Hidrofluorocarbonos (HFC), Perfluorocarbonos (PFC) y Hexafluoruro de azufre (SF₆), los cuales están contemplados en el Protocolo de Kioto.

A principios del siglo XXI el calentamiento global parece irrefutable, a pesar de que las estaciones meteorológicas en las grandes ciudades han pasado de estar en la periferia de la ciudad, al centro de ésta y el efecto de isla urbana también ha influido en el aumento observado. Los últimos años del siglo XX se caracterizaron por poseer temperaturas medias que son siempre las más altas del siglo.^[cita requerida]

Planteamiento de futuro

Tal vez el mecanismo de compensación del CO₂ funcione. En un plazo de cientos de años, cuando el Sol entrará en un nuevo mínimo. En un plazo de miles de años, tal vez reduzca la temperatura, la próxima glaciación, o simplemente no llegue a producirse ese cambio.

En el Cretácico, sin intervención humana, el CO₂ era más elevado que ahora y la Tierra estaba 8 °C más cálida.

Véase también: Calentamiento global, oscurecimiento global, e influencia antropogénica sobre el clima

Clima de planetas vecinos

Como se ha dicho el dióxido de carbono cumple un papel regulador fundamental en nuestro planeta sin embargo el CO₂ no puede conjugar cualquier desvío e incluso a veces puede fomentar un efecto invernadero desbocado mediante un proceso de retroalimentación.

- Venus tiene una atmósfera cuya presión es 94 veces la terrestre, y está compuesta en un 97% de CO₂. La inexistencia de agua impidió la extracción del anhídrido carbónico de la atmósfera, éste se acumuló y provocó un efecto invernadero intenso que aumentó la temperatura superficial hasta 465 °C, capaz de fundir el plomo. Quizá la menor distancia al Sol haya sido determinante para sentenciar al planeta a sus condiciones infernales que vive en la actualidad. Hay que recordar que pequeños cambios pueden desencadenar un mecanismo retroalimentado y si éste es suficientemente poderoso se puede llegar a descontrolar dominando por encima de todos los demás factores hasta dar unas condiciones extremas como las de Venus. Toda una advertencia sobre el posible futuro que podría depararle a la Tierra.

- En Marte la atmósfera tiene una presión de sólo seis hectopascales y aunque está compuesta en un 96 % de CO₂, el efecto invernadero es escaso y no puede impedir ni una oscilación diurna del orden de 55 °C en la temperatura, ni las bajas temperaturas superficiales que alcanzan mínimas de -86 °C en latitudes medias. Pero parece ser que en el pasado gozó de mejores condiciones llegando a correr el agua por su superficie como demuestran la multitud de canales y valles de erosión. Pero ello fue debido a una mayor concentración de dióxido de carbono en su atmósfera. El gas provendría de las emanaciones de los grandes volcanes marcianos que provocarían un proceso de desgasificación semejante al acaecido en nuestro planeta. La diferencia sustancial es que el diámetro de Marte mide la mitad que el terrestre. Esto quiere decir que el calor interno era mucho menor y se enfrió hace ya mucho tiempo. Sin actividad volcánica Marte estaba condenado y el CO₂ se fue escapando de la atmósfera con facilidad dado que además tiene menos gravedad que en la Tierra lo que facilita el proceso. También es posible que algún proceso de tipo mineral absorbiera el CO₂ y al no verse compensado por las emanaciones volcánicas provocara su disminución drástica. El caso es que el planeta se enfrió progresivamente a causa de ello hasta congelar el poco CO₂ en los actuales casquetes polares.

Materia multidisciplinar

En el estudio del cambio climático hay que considerar cuestiones pertenecientes a los más diversos campos de la Ciencia: Meteorología, Física, Química, Astronomía, Geografía, Geología y Biología tienen muchas cosas que decir constituyendo este tema un campo multidisciplinar. Las consecuencias de comprender o no plenamente las cuestiones relativas al cambio climático tienen profundas influencias sobre la sociedad humana debiendo abordarse éstas desde puntos de vista muy distintos a los anteriores, como el económico, sociológico o el político.

Cultura popular

El político norteamericano Al Gore trata el tema del cambio climático, concretamente el calentamiento global en la película Una verdad incómoda, basada en una serie de conferencias que ha dado por todo el mundo. Ha recibido críticas por parte de algunos autores, como el profesor danés Bjørn Lomborg. Además de ser el documental de Al Gore uno de los más completos, hay películas de ciencia ficción que han marcado un impacto en la cultura popular sobre el Cambio Climático, tal es el caso de "El día de mañana" ("The day after tomorrow") presentada en 2004 bajo la dirección de Roland Emmerich, a pesar de su limitado rigor científico.

Así mismo se encuentra el video "la gran mentira del calentamiento global", que es una crítica al calentamiento global creado por el hombre.

Océanos

El papel de los océanos en el calentamiento global es complejo. Los océanos sirven de “estanque” para el CO₂, absorbiendo parte de lo que tendría que estar en la atmósfera. El incremento del CO₂ ha dado lugar a la acidificación del océano. Además, la temperatura de los océanos desciende les cuesta más absorber el exceso de CO₂.

El calentamiento global está proyectado para causar diferentes efectos en el océano como por ejemplo, el ascenso del nivel del mar, el deshielo de los glaciares y el calentamiento de la superficie de los océanos.....Otros posibles efectos incluyen los cambios en la circulación del océano.

Con el ascenso de la temperatura global el agua en los océanos se expande. El agua de la tierra o de los glaciares pasa a estar en los océanos, como por ejemplo el caso de Groenlandia o “las capas de hielo del Antártico”. Las predicciones muestran que antes del 2050 el volumen de los glaciares disminuirá en un 60%. Mientras, el estimado total del deshielo glacial sobre Groenlandia es -239 ± 23 km³/año (sobre todo en el este de Groenlandia).

De todas maneras, las capas de hielo de la Antártida se prevé que van a aumentar en el siglo XXI debido a un aumento de las precipitaciones. Según el Informe Especial sobre los pronósticos de Misión del IPCC, el pronóstico A1B para mediados del 2090 por ejemplo, el nivel global del mar alcanzará 0,25-0,44m sobre los niveles de 1990. Está aumentando 4mm/año. Desde 1990 el nivel del mar ha aumentado una media de 1,70mm/año; desde 1993, los altímetros del satélite TOPEX/Poseidón indican una media de 3mm/año.

El nivel del mar ha aumentado más de 120m desde el máximo de la última glaciación alrededor de 20000 años atrás. La mayor parte de ello ocurrió hace 7000 años. La temperatura global bajó después del Holoceno Climático causando un descenso del nivel del mar de $0,7 \pm 0,1$ m entre los años 4000 y 2500 antes del presente.

Desde hace de 3000 años hasta el principio del siglo XIX el nivel del mar era casi constante con sólo pequeñas fluctuaciones. Sin embargo, el período cálido medieval puede haber causado cierto incremento del nivel del mar; se han encontrado pruebas en el océano Pacífico de un aumento de quizás 0,9m sobre el nivel actual en 700BP.

En un artículo publicado en 2007, el climatólogo James Hansen et al, afirmaba que el hielo de los polos no se derrite de una forma gradual y lineal sino que oscila repentinamente de un estado a otro según los registros geológicos.

En este artículo Hansen et al, afirman: nuestra preocupación de que los pronósticos de BAU GHG causarían unos aumentos del nivel del mar considerable. Este siglo (Hansen, 2005) difiere de las estimaciones del IPCC (2001, 2007), que predice una pequeña o una nula contribución al aumento del nivel del mar en el siglo XXI en Groenlandia y la Antártida.

Sin embargo, los análisis y proyecciones no tienen en cuenta la física no lineal de la desintegración de la capa de hielo en deshielo, las corrientes de hielo, y

las placas erosionantes de hielo. Ni se corresponden con las pruebas paleo climáticas que hemos presentado para la ausencia del retraso perceptible entre la fuerza de la capa de hielo y el aumento del nivel del mar.

El aumento de la temperatura

Desde 1961 hasta 2003 la temperatura global del océano ha subido 0,10 °C desde la superficie hasta una profundidad de 700m. Hay una variación entre año y año y sobre escalas de tiempo más largas con observaciones globales de contenido de calor del océano mostrando altos índices de calentamiento entre 1991 y 2003, pero algo de enfriamiento desde 2003 hasta 2007. La temperatura del océano Antártico se elevó 0,17°C entre los años 50 y 80. Casi el doble de la media para el resto de los océanos del mundo. A parte de tener efectos para los ecosistemas (ej. Derritiendo el hielo del mar, afectando al crecimiento de las algas bajo su superficie), el calentamiento reduce la capacidad del océano de absorber el CO₂.

Acidificación

Los océanos del mundo absorben la mayor parte del CO₂ producido por los organismos vivos, bien como gas disuelto o en los restos de diminutas criaturas marinas que caen al fondo para convertirse en creta o piedra caliza.

Los océanos actualmente absorben alrededor de una tonelada de CO₂ por persona por año. Se estima que los océanos han absorbido alrededor de la mitad de todo el CO₂ generado por la actividad humana desde 1800 (118±19 petagramos desde 1800 hasta 1994). Pero en el agua el CO₂ se convierte en un ácido carbónico débil y el aumento en el gas del efecto invernadero desde la revolución industrial ha descendido ya la media de pH (la medida de acidez de laboratorio) del agua del mar en 0,1 unidades, hasta 8,2 . Las emisiones previstas podrían hacerlo descender unos 0,5 para el año 2100, a un nivel probablemente no visto durante cientos de milenios y, críticamente, a una velocidad de cambio probablemente cien veces mayor que en cualquier momento de este período. Es preocupante que este aumento en la acidificación pudiera tener un especial efecto deprimente en los corales (16% de los arrecifes de coral del mundo han muerto por la acidificación causada por el agua cálida en 1998, que casualmente fue el año más cálido que se recuerde), y otros organismos marinos con caparazones de carbono cálcico.

El cierre de la circulación térmica

Se especula que el calentamiento global podría, vía cierre o disminución de la circulación térmica, provocar un enfriamiento localizado en el Atlántico Norte y llevar al enfriamiento o menor calentamiento a esa región. Esto afectaría en particular a áreas como Escandinavia y Gran Bretaña, que son calentadas por la corriente del Atlántico Norte. Más significadamente, podría llevar a una situación oceánica atóxica.

La posibilidad de este colapso en la circulación no es clara; hay ciertas pruebas para la estabilidad de la corriente del Golfo y posible debilitamiento de la

corriente del Atlántico Norte. Sin embargo, el grado de debilitamiento, y si será suficiente para el cierre de la circulación, está en debate todavía. Sin embargo no se ha encontrado ningún enfriamiento en el norte de Europa y los mares cercanos.

Cambio Climático

CAMBIO CLIMATICO Y ENERGIA

El clima es el resultado de un sistema circulatorio a escala planetaria, el movimiento de la masa de aire que rodea el globo bajo la influencia de la radiación solar y el constante intercambio con océano y suelo en un equilibrio dinámico muy complejo, regulado por una serie de factores cuya influencia apenas empezamos a comprender, y que sin embargo, tenemos la certeza de que estamos alterándolos de forma irreversible.

El carácter unitario y global del clima fue percibido ya a principios del siglo pasado. Se intuía que atmósfera y océano tenían un papel muy importante en la temperatura media del planeta y que parte de la energía que llegaba del Sol era, de alguna forma, retenida por la atmósfera.

No mucho mas tarde (1861) se atribuyo al vapor de agua y al dióxido de carbono (CO₂) esta absorción parcial, e incluso algunos científicos llegaron a aventurar que pequeños cambios en la proporción de estos gases podían tener efectos climáticos considerables. Este es un fenómeno que en los últimos años ocupa la atención mundial, y se denomina comúnmente efecto invernadero. La analogía se debe a que agua y dióxido de carbono (también otros gases como metano, oxido nitroso...) actúan como el vidrio en un invernadero: la radiación solar atraviesa la atmósfera y llega hasta la superficie donde se transforma en calor, que es reemitido nuevamente a través de ella como radiación infrarroja; una parte de esta radiación es absorbida por los gases de efecto invernadero (GI). La energía retenida hace que la temperatura media de la superficie del globo sea de unos 15°C en lugar de los -18°C que corresponden a la radiación que sale del planeta.

Hay pruebas de que en épocas pasadas las variaciones en la cantidad de irradiación solar y en la composición de la atmósfera dieron lugar a unas condiciones ambientales muy diferentes a las de hoy. Así hace 100 millones de años, cuando existían los dinosaurios, la cantidad de CO₂ era de 4 a 8 veces mayor y la temperatura media 10 o 15°C superior a la actual, mientras durante la ultima glaciación, hace 10.000 años, la temperatura media bajo a 9 o 10°C, en correspondencia con un contenido en CO₂ de unos 2/3 del que conocemos ahora.

Ciertamente el clima evoluciona, la cuestión es con que rapidez y con que margen de adaptación para los seres vivos. En poco mas de un siglo la actividad humana ha aumentado la cantidad de CO₂ atmosférico en un 25% y doblado la concentración de metano; el reforzamiento consiguiente del efecto invernadero necesariamente dará lugar a un aumento de la temperatura, que se calcula de 1°C cada 30 años, mientras que desde la ultima glaciación su ritmo de cambio ha sido de 1°C cada 500 años.

¿Que transformaciones del clima pueden esperarse en adelante? Depende de la cantidad de emisiones de GI en los próximos años, de que fracción de estos permanezca en la atmósfera y de los fenómenos de reforzamiento o amortiguamiento del cambio que pongan en marcha las modificaciones del clima ya en curso.

En un mundo que no se de por enterado, es decir si todo sigue como hasta ahora, se prevé que las emisiones de CO₂ continúen creciendo un 1% anual hasta el año 2050, junto con la de otros GI (metano, oxido nitroso, CFC y ozono troposferico principalmente) que en conjunto pueden suponer un reforzamiento del efecto invernadero equivalente al del CO₂.

La mitad aproximadamente de este dióxido de carbono se transfiere al océano, al suelo y a la vegetación donde queda almacenado, pero esta proporción puede ser alterada en ambos sentidos: la estimulación del crecimiento de las plantas retiraría mas CO₂, pero el aumento de temperatura podría acelerar la descomposición de los desechos biológicos liberando carbono en suelos secos y metano en arrozales y zonas pantanosas; sobre el proceso de acumulación en los océanos las incertidumbres son todavía mayores. A pesar de tantas cuestiones pendientes, se estima que la concentración de CO₂ atmosférico se doblara hacia el año 2030.

El único modo que tienen los científicos del clima de hacerse una idea de las consecuencias es elaborar modelos matemáticos en ordenador. La precisión con que puede preverse el comportamiento climático no es alta, pues la capacidad de calculo de los ordenadores limita el área mínima en que puede calcularse la evolución del clima. Tampoco es enteramente satisfactoria su exactitud, por la falta de conocimiento de las complejas y múltiples transferencias de gases y energía entre atmósfera, mar, hielos, bosques, etc... y particularmente de la evolución de las nubes y los océanos (un investigador estima en 10 o 15 años de trabajo el tiempo necesario para representar adecuadamente en los programas estos fenómenos, y otro tanto para resolver los problemas que se presenten). Aun así hay suficiente acuerdo entre los científicos del clima para prever un aumento de 1.5 a 4.5°C en la temperatura de la superficie. Este cambio es comparable a los 5°C que nos separan del máximo de la ultima era glacial (hace 18.000 años), pero desarrollado entre 10 y 100 veces mas deprisa.

Las consecuencias no serán uniformes geográficamente; de nuevo van a pagar justos por pecadores. El ciclo hidrológico se vera alterado por la mayor evaporación del agua (que a su vez refuerza el calentamiento), se prevé un aumento de las lluvias en las latitudes altas durante el invierno, e intensificación de las sequías del 5% de frecuencia actual a un 50% para el 2050; las zonas con mayor riesgo son el interior de los continentes y precisamente las que mas la sufren hoy día: Sahel, Norte frica, Sudeste de Asia, India, Centroamerica y Mediterráneo. Con gran probabilidad, el nivel del mar se elevara debido a la expansión térmica del agua y la fusión de los glaciares de montaña. Se calcula un incremento de 10 a 30 cm para el 2030 y hasta 1 metro para el 2050. Una subida semejante significaría la contaminación de acuíferos, la recesión de costas y tierras húmedas, hasta el 15% de la tierra fértil de Egipto y el 14% de la de Bangladesh serian inundadas con la subida máxima prevista. Se teme un retroceso de los bosques en el interior de los continentes, sustituidos por ecosistemas mas degenerados.

El calentamiento esperado excede con mucho la capacidad de migración de comunidades naturales, resultando una destrucción sin reemplazo y un empobrecimiento

de los ecosistemas, pérdida de especies y en definitiva pérdida de la capacidad de la Tierra para soportar vida. Quizá la agricultura industrializada pueda responder a la nueva situación con suficiente rapidez (aunque en EE.UU. la ola de calor del año 1988 significó un descenso del 30% en la cosecha de grano), pero la agricultura de los países en desarrollo no tiene medios para una adaptación semejante.

Hay muchos fenómenos de gran alcance cuya evolución frente al cambio climático es incierta, por ejemplo, las consecuencias de un Océano Artico sin hielo sobre las corrientes marinas y su influencia en la pesquería, o el probable desplazamiento de enfermedades tropicales hacia otras zonas de la Tierra.

¿Por que se ha llegado a esta situación y en un tiempo tan breve? La quema de combustibles fósiles arroja a la atmósfera una media de 3 Kg. de carbono por persona y día; esta media combina los 15 Kg. diarios de un norteamericano o los 4,5 Kg. de un español con el escaso 1,4 Kg. emitido por un habitante de un país no desarrollado. Los combustibles fósiles se queman casi exclusivamente para producir energía que, en el primer mundo es consumido 7 veces mas por habitante que en el Tercer Mundo.

El modelo económico y productivo dominante identifica bienestar con expansión y esta con consumo de energía creciente (desde principios de siglo se ha multiplicado por 30). El 75% de la energía que se utiliza procede de combustibles fósiles: petróleo (32%), carbón (26%) y gas natural (17%), que producen unas 6 Gt anuales de CO₂. Sin haberlo planeado nos hemos topado con los límites del sistema económico actual, bastante antes del anunciado agotamiento de los recursos.

La única defensa razonable ante el cambio climático es la reducción drástica de emisiones de dióxido de carbono cambiando el sistema energético y por tanto el económico, renunciando a la devoradora filosofía de desarrollo sin límites. Se ha calculado que la estabilización de la concentración efectiva de CO₂ en la atmósfera requiere la reducción de emisiones de origen energético al 70% del nivel de 1990 para el año 2020, y aun así dicha estabilización solo tendría lugar una década después con una cantidad de dióxido de carbono un 8% mayor que en 1990

La propuesta de la conferencia de Toronto (1988) es que en el 2005 las emisiones procedentes de uso de la energía y procesos industriales sean inferiores en un 20% a las de 1990. Este objetivo mínimo exige una revisión urgente de las políticas económicas, energéticas y de transporte del mundo desarrollado.

Sin embargo, no es menos cierto que la satisfacción de las necesidades básicas del Tercer Mundo, formado por el 80% de la humanidad y donde tiene lugar el 90% del aumento de población, conlleva un crecimiento de la demanda energética que podría alcanzar un 4 o 5% anual en las actuales condiciones. Para dar salida a ambas prioridades hay que aplicar simultáneamente dos estrategias: el ahorro de energía mediante la racionalización del uso y el empleo de tecnologías eficientes, y obtención de la energía imprescindible por métodos renovables de bajo impacto ambiental. Todo ello dentro de un necesario cambio de modos de vida, reduciendo el consumo en el Norte para que el Sur tenga margen para aumentar el suyo hasta niveles dignos.

Las crisis del petróleo de los años 1973 y 1979 demostraron que el ahorro puede considerarse en si mismo una fuente de energía: la intensidad energética (energía

necesaria para producir una unidad de PIB) de la CE se redujo en un 25%. El informe de la Comisión Mundial para el Desarrollo y Medioambiente (informe Brundtland) señala que es posible reducir a la mitad el consumo de energía de los países ricos y crecer simultáneamente un 3% anual. Requiere un considerable esfuerzo la reconversión de las economías occidentales para aprovechar el potencial de ahorro, aunque, irónicamente, algunos analistas sostienen que en un verdadero mercado libre, no deformado por la presión de grupos de interés, sería la opción natural pues la obtención y quema de un barril de petróleo, por ejemplo, es más cara que la implantación de medios de eficiencia que evitarían necesitarlo.

Es fundamental que la demanda energética de los países en vías de desarrollo se satisfaga con tecnologías eficientes, la utilización de la mejor tecnología disponible podría proporcionar, en ciertos países, un nivel de servicios similar al de Europa en los 70 con un consumo de energía solo un 20% superior al que tenían en los 80. Además la eficiencia reduce el número de centrales necesarias, por tanto libera capital y disminuye la sensibilidad al coste de suministros.

No faltan vías de solución a los problemas que enfrenta el planeta, sino voluntad política de llevarlas a cabo, como ejemplo véase que a lo largo de los últimos diez años menos del 1% de los préstamos del Banco Mundial se han dirigido a proyectos de eficiencia.

Las energías renovables todavía reciben una atención meramente simbólica de muchos gobiernos, a pesar de ello suministran el 20% del consumo mundial, y para el año 2030 estarían en situación de cubrir el 70% si se impusiera la racionalidad energética. Por el contrario, pese a nacer con un apoyo gubernamental casi ilimitado, la energía nuclear solo alcanza a suministrar el 5% del consumo mundial y en la última década se ha llevado (junto con los combustibles fósiles) el 74% de la financiación pública para I+D de los países industrializados. Se pretende sacar partido del cambio climático para rehabilitar su mal nombre con el argumento de que no es generadora de CO₂, pero se puede afirmar que la apuesta por la energía nuclear empeora el calentamiento global al desviar inversión en eficiencia eléctrica, que desplazaría bastante más combustión de carbón por unidad de coste.

Para enfrentar el cambio climático, la producción de energía eléctrica por métodos sin combustión basados en recursos renovables tiene ventajas abrumadoras: una central convencional de carbón emite 962 Tm/GW por hora de operación mientras una eólica tan solo 7.4 durante el proceso de construcción. La energía solar fotovoltaica y térmica se sitúan por debajo de esta cifra. Los impactos ambientales asociados (únicamente el ahorro energético, la energía no producida, carece de efectos ambientales indeseables) se centran en ocupación del suelo y alteración del paisaje (en algunos casos impacto sobre la avifauna, alto nivel de ruido, elaboración con productos peligrosos o suma de pequeños impactos), pero son en cualquier caso menores que los de fuentes convencionales: una central de carbón ocupa 2.7 veces más territorio que una eólica para la misma producción de energía.

Así como en materia de generación eléctrica existen alternativas viables e incluso, hoy por hoy, competitivas en el mercado, para un uso energético masivo y en crecimiento como es el transporte, la dependencia de derivados petrolíferos es superior al 95% sin que aparezca en el horizonte próximo ninguna tecnología que lo sustituya. El 30% del

total de energía consumida en el mundo se emplea, como consumo final para transporte (la mitad del petróleo importado en el caso del estado español). Se estima que origina el 25% de las emisiones de carbono a la atmósfera, además del 47% de los óxidos de nitrógeno y cantidades semejantes de hidrocarburos y conocido de carbono. El transporte de mercancías por carretera en camiones de 40 Tm produce 5 veces más CO₂ que por ferrocarril, y sin embargo se prevé un crecimiento del 40 al 70% en los próximos 20 años del transporte por carretera.

Las medidas aplicables para disminuir el impacto del transporte son, esencialmente, maximizar la eficiencia de los vehículos mediante normas de obligado cumplimiento para fabricante y usuarios (límites de velocidad) y reducir su utilización fomentando una amplia red de transporte público con incentivos para el tren, y una política urbanística que favorezca el uso de la bicicleta y cierre el paso del coche al centro de la ciudad (todo lo contrario a la construcción de aparcamientos subterráneos). También planificación del territorio para disminuir las necesidades del transporte y la dependencia del coche privado en el urbanismo disperso.

No hay mucho tiempo para la duda, el panorama con que se presenta el nuevo siglo es muy sombrío y nuestra capacidad para modificarlo disminuye con la acumulación de CO₂. Cuanto más se retrase la adopción de nuevas tecnologías energéticas eficientes y blandas más difíciles serán las medidas a tomar.

Textoscientificos.com