

Cambio climático

De Wikipedia, la enciclopedia libre

Se llama **cambio climático** a la modificación del clima con respecto al historial climático a una escala global o regional. Tales cambios se producen a muy diversas escalas de tiempo y sobre todos los parámetros climáticos: temperatura, precipitaciones, nubosidad, etc. Son debidos tanto a causas naturales (Crowley y North, 1988) como antropogénicas (Oreskes, 2004).

El término suele usarse de forma poco apropiada, para hacer referencia tan sólo a los cambios climáticos que suceden en el presente, utilizándolo como sinónimo de calentamiento global. La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático usa el término *cambio climático* sólo para referirse al cambio por causas humanas:

Por "cambio climático" se entiende un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos comparables



Imagen actual de la superficie de Venus, un planeta que anteriormente se pareció en muchos aspectos a la Tierra actual.¹

Artículo 1, párrafo 2

Como se produce constantemente por causas naturales se lo denomina también **variabilidad natural del clima**. En algunos casos, para referirse al cambio de origen humano se usa también la expresión **cambio climático antropogénico**.

Además del calentamiento global, el cambio climático implica cambios en otras variables como las lluvias globales y sus patrones, la cobertura de nubes y todos los demás elementos del sistema atmosférico. La complejidad del problema y sus múltiples interacciones hacen que la única manera de evaluar estos cambios sea mediante el uso de modelos computacionales que simulan la física de la atmósfera y de los océanos. La naturaleza caótica de estos modelos hace que en sí tengan una alta proporción de incertidumbre (Stainforth et al., 2005)(Roe y Baker, 2007), aunque eso no es óbice para que sean capaces de prever cambios significativos futuros (Schnellhuber, 2008)(Knutti y Hegerl, 2008) que tengan consecuencias tanto económicas (Stern, 2008) como las ya observables a nivel biológico (Walther et al., 2002)(Hughes, 2001).

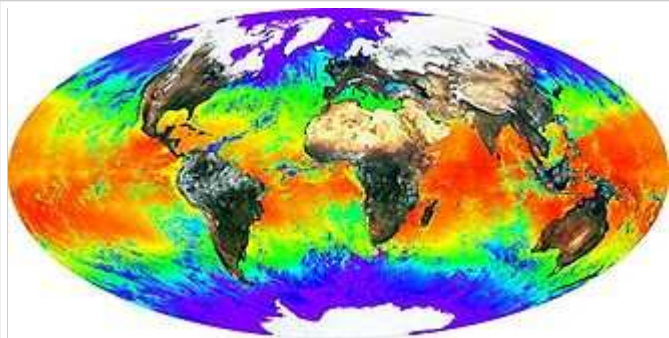
En 1997 los gobiernos de muchos países llegaron a un acuerdo, en el cual se trataba de establecer un primer paso para crear el proyecto sobre una conferencia en Kioto. Durante los siguientes diez años, o sea, hacia los años 2008 y 2012, los países industrializados deberían de no aumentar sus niveles de contaminación más de un 15%, que son causantes del aumento de temperatura, en comparación con el nivel de emisiones de 1990. Sin embargo, para lograrlo se requiere contar con la voluntad política de los gobiernos para acordar normas y hacer que el Tratado entre en vigencia.

Pero algunos gobiernos, para evitar un gasto mayor o que disminuyan sus producciones, están haciendo intentos por encontrarle fisuras legales al proyecto, haciendo creer que trabajan por reducir las emisiones de dióxido de carbono cuando en realidad están permitiendo que éstas aumenten. Esto hace tener al proyecto Kioto tantas ventajas como inconvenientes.

Contenido

- 1 Causas de los cambios climáticos
 - 1.1 Variaciones solares
 - 1.2 Variaciones orbitales
 - 1.3 Impactos de meteoritos
 - 1.4 Influencias internas
 - 1.4.1 La deriva continental
 - 1.4.2 La composición atmosférica
 - 1.4.3 Las corrientes oceánicas
 - 1.4.4 El campo magnético terrestre
 - 1.4.5 Los efectos antropogénicos
- 2 Cambios climáticos en el pasado
 - 2.1 La paradoja del Sol débil
 - 2.2 El efecto invernadero en el pasado
 - 2.3 El CO₂ como regulador del clima
 - 2.4 Aparece la vida en la Tierra
- 3 Máximo Jurásico
 - 3.1 Las glaciaciones del Pleistoceno
 - 3.2 El mínimo de Maunder
- 4 El cambio climático actual
 - 4.1 Combustibles fósiles y calentamiento global
 - 4.2 Planteamiento de futuro
 - 4.3 Agricultura
- 5 Clima de planetas vecinos
- 6 Materia multidisciplinar
- 7 Océanos
 - 7.1 El aumento de la temperatura
 - 7.2 Sumideros de carbono y acidificación
 - 7.3 El cierre de la circulación térmica
- 8 Cultura popular
- 9 Véase también
- 10 Referencias
- 11 Bibliografía
- 12 Bibliografía complementaria
- 13 Enlaces externos
 - 13.1 En español
 - 13.2 Otros idiomas

Causas de los cambios climáticos



Temperatura en la superficie terrestre al comienzo de la primavera de 2000.

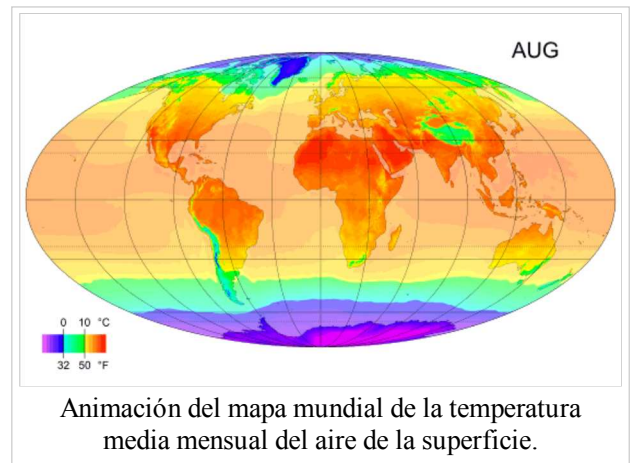
El clima es un promedio, a una escala de tiempo dada, del tiempo atmosférico. Sobre el clima influyen muchos fenómenos; consecuentemente, cambios a largo plazo en estos fenómenos pueden provocar cambios climáticos. Un cambio en la emisión de radiaciones solares, en la composición de la atmósfera, en 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 radiativo terrestre, alterando así profundamente el clima planetario cuando se trata de procesos de larga duración.

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. Puede darse el caso de que algunas variaciones caóticas del clima no lo sean en realidad y que sean catalogadas como tales por un desconocimiento de las verdaderas razones causales de las mismas.

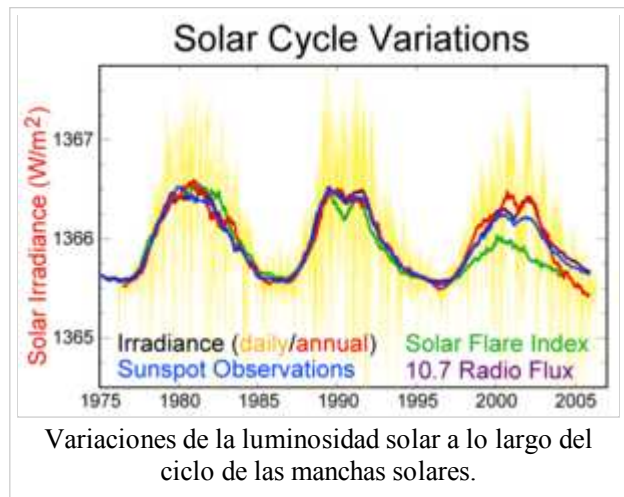
Variaciones solares

El Sol es una estrella variable que 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 era de Hielo.



Animación del mapa mundial de la temperatura media mensual del aire de la superficie.

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 a corto plazo (Crowley y North, 1988). 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.



Sin embargo, muchos astrofísicos consideran que la influencia del Sol sobre el clima está más relacionado con la longitud de cada ciclo, la amplitud del mismo, la cantidad de manchas solares, la profundidad de cada mínimo solar, y la ocurrencia de dobles mínimos solares separados por pocos años. Sería la variación en los campos magnéticos y la variabilidad en el viento solar (y su influencia sobre los rayos cósmicos que llegan a la tierra) quienes tienen una fuerte acción sobre distintos componentes del clima como las diversas oscilaciones oceánicas, los eventos el Niño y La Niña, las corrientes de chorro polares, la Oscilación cuasi bianual de la corriente estratosférica sobre el ecuador, etc. 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. Algunas hipótesis plantean incluso que los iones producidos por la interacción de los rayos cósmicos y la atmósfera de la Tierra juegan un rol en la formación de núcleos de condensación y un correspondiente aumento en la formación de nubes. De este modo, la correlación entre la ionización cósmica y formación de nubes se observa fuertemente en las nubes a baja altura y no en las nubes altas (cirrus) como se creía, donde la variación en la ionización es mucho más grande (Svensmark, 2007).

Véase también: Sol

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.

Véase también: Órbita

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

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.

Véase también: Deriva continental y clima y deriva continental

La composición atmosférica

La atmósfera primitiva, cuya composición era parecida a la nebulosa inicial, perdió sus componentes más ligeros, el hidrógeno diatómico (H₂) y el helio (He), para ser sustituidos por gases procedentes de las emisiones volcánicas del planeta o sus derivados, especialmente dióxido de carbono (CO₂), 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 radiativo 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 CO₂ 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 (O₂) 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 CO₂ 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 CO₂, la presencia del cual fluctúa a lo largo del año según las estaciones de crecimiento de las plantas.

Las corrientes oceánicas



Pangea.

Las corrientes oceánicas, o marinas, son un factor regulador del clima que actúa como moderador, suavizando las temperaturas de regiones como Europa y las costas occidentales de Canadá y Alaska. La climatología ha establecido nítidamente los límites térmicos de los distintos tipos climáticos que se han mantenido a través de todo ese tiempo. No se habla tanto de los límites pluviométricos de dicho clima porque los cultivos mediterráneos tradicionales son ayudados por el regadío y cuando se trata de cultivos de secano, se presentan en parcelas más o menos planas (cultivo en terrazas) con el fin de hacer más efectivas las lluvias propiciando la infiltración en el suelo. Además los cultivos típicos del matorral mediterráneo están adaptados a cambios meteorológicos mucho más intensos que los que se han registrado en los últimos tiempos: si no fuera así, los mapas de los distintos tipos climáticos tendrían que rehacerse: un aumento de unos 2 grados centígrados en la cuenca del mediterráneo significaría la posibilidad de aumentar la latitud de muchos cultivos unos 200 km más al norte (como sería el cultivo de la naranja ya citado). Desde luego, esta idea sería inviable desde el punto de vista económico, ya que la producción de naranja es, desde hace bastante tiempo, excedentaria, no por el aumento del cultivo a una mayor latitud (lo que corroboraría en cierto modo la idea del calentamiento global) sino por el desarrollo de dicho cultivo en áreas reclamadas al desierto (Marruecos y otros países) gracias al riego en goteo y otras técnicas de cultivo.

Véase también: Corriente del Golfo

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 anulada 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.

Véase también: Paleomagnetismo

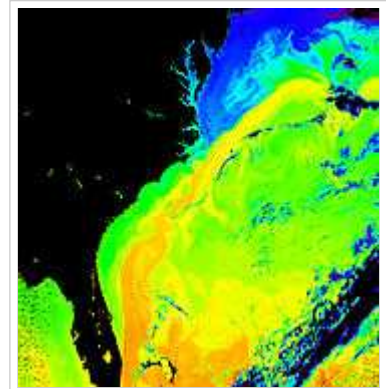
Los efectos antropogénicos

El ser humano es hoy uno de los agentes climáticos, 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.

Los aerosoles de origen antrópico, especialmente los sulfatos provenientes de los combustibles fósiles, ejercen una influencia reductora de la temperatura (Charlson et al., 1992). Este hecho, unido a la variabilidad natural del clima, es la causa que explica el "valle" que se observa en el gráfico de temperaturas en la zona central del siglo XX.

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*



Temperatura del agua en la Corriente del Golfo.

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. El climatólogo Roy Spencer (escéptico del cambio climático vinculado a grupos evangélicos conservadores²) ha llegado a la conclusión, mediante observaciones desde el espacio, de que el efecto total que producen las nubes es de enfriamiento.³ 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



La atmósfera influye fundamentalmente en el clima; si no existiese, la temperatura en la Tierra sería de $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, 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 $10\text{-}15$ micrómetros, a la que la atmósfera ya no es transparente. El CO_2 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 $15\text{ }^{\circ}\text{C}$, y dista mucho del valor de equilibrio sin atmósfera. A este fenómeno se le llama el efecto invernadero y el CO_2 y el H_2O son los gases responsables de ello. Gracias al efecto invernadero podemos vivir. Para ver un cálculo pormenorizado sobre esta cuestión ir a: Balance radiativo terrestre.

La concentración en el pasado de CO_2 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 CO_2 y los que lo emiten la interacción entre éstos y el balance final es difícilmente calculable.

Se conocen bastantes casos en los que el CO_2 ha jugado un papel importante en la historia del clima. Por ejemplo en el proterozoico una bajada importante en los niveles de CO_2 atmosférico condujo a los llamados episodios Tierra bola de nieve. Así mismo aumentos importantes en el CO_2 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.

Véase también: Efecto invernadero (clima)

El CO_2 como regulador del clima

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.

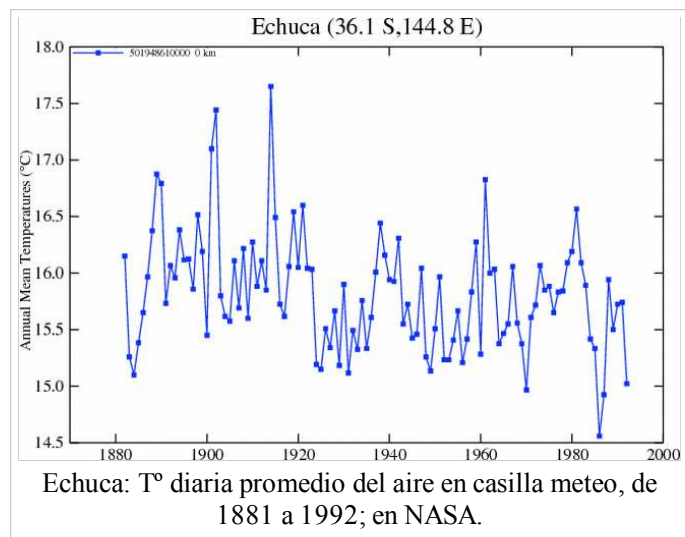
Naturalmente, hay efectos compensadores. El CO₂ juega un importante papel en el efecto invernadero: si la temperatura es alta, se favorece su intercambio con los océanos para formar carbonatos. Entonces el efecto invernadero decae y la temperatura también. Si la temperatura es baja, el CO₂ se acumula 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.

Máximo Jurásico

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 muy 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 quienes formaban la cúspide de los ecosistemas entonces, los dinosaurios. Los geólogos creen que la Tierra experimentó un calentamiento global en esa época, durante el Jurásico inferior con elevaciones medias de temperatura que llegaron a 5 °C. Ciertas investigaciones^{4 5} indican que esto fue la causa de que se acelerase la erosión de las rocas hasta en un 400%, un proceso en el que tardaron 150.000 años en volver los valores de dióxido de carbono a niveles normales. Posteriormente se produjo también otro episodio de calentamiento global conocido como Máximo térmico del Paleoceno-Eoceno.

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 glacial, 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 entre en un nuevo mínimo. En un plazo de miles de años, tal vez se reduzca la temperatura, desencadenándose la próxima glaciación, o puede que simplemente no llegue a producirse ese cambio.

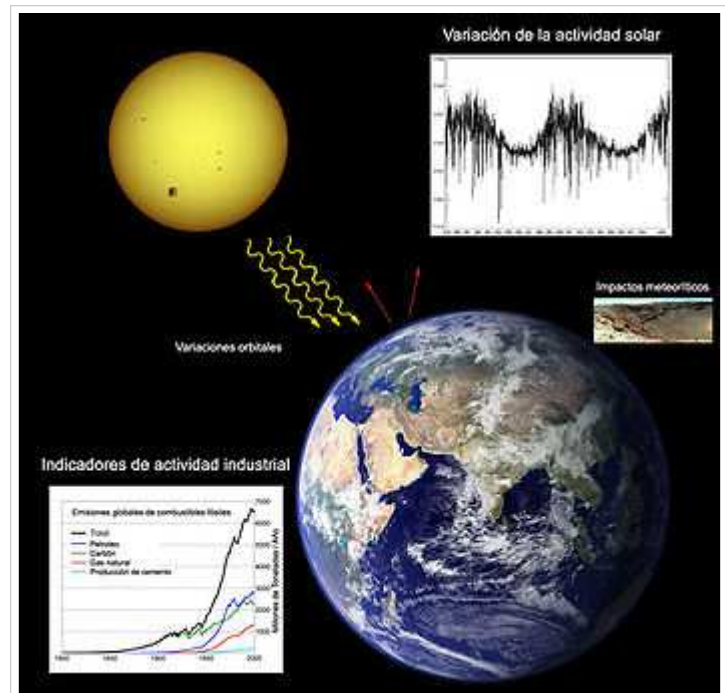
En el Cretácico, sin intervención humana, el CO₂ era más elevado que ahora y la Tierra estaba 8 °C más cálida.

Véase también: Oscurecimiento global e influencia antropogénica sobre el clima

Agricultura

El cambio climático y la agricultura son procesos relacionados entre sí, ya que ambos tienen escala global. Se proyecta que el calentamiento global tendrá impactos significativos que afectarán a la agricultura, la temperatura, dióxido de carbono, deshielos, precipitación y la interacción entre estos elementos. Estas condiciones determinan la capacidad de carga de la biosfera para producir suficiente alimento para todos los humanos y animales domesticados. El efecto global del cambio climático en la agricultura dependerá del balance de esos efectos. El estudio de los efectos del cambio climático global podría ayudar a prevenir y adaptar adecuadamente el sector agrícola para maximizar la producción de la agricultura.

Clima de planetas vecinos



Esquema ilustrativo de los principales factores que provocan los cambios climáticos actuales de la Tierra. La actividad industrial y las variaciones de la actividad solar se encuentran entre los más importantes.

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. Probablemente 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 retroalimentador 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. Como consecuencia el planeta se enfrió progresivamente 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.

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, a medida que la temperatura de los océanos asciende, se vuelve más complicada la absorción del exceso de CO₂.

El calentamiento global esta 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 cualquier modo, las capas de hielo de la Antártida se prevé 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 0,25-0,44 m sobre los niveles de 1990. Está aumentando 4 mm/año. Desde 1990 el nivel del mar ha aumentado una media de 1,7 mm/año; desde 1993, los altímetros del satélite TOPEX/Poseidon indican una media de 3mm/año.

El nivel del mar ha aumentado más de 120 m 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 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 aproximadamente 0,9 m sobre el nivel actual en 700BP.

En un artículo publicado en 2007, el climatólogo James Hansen (Hansen et al., 2007) afirmaba que el hielo de los polos no se funde de una forma gradual y lineal sino que oscila repentinamente de un estado a otro según los registros geológicos. Es preocupante que los pronósticos de GEIs con los que el IPCC trabaja habitualmente (BAU GHG o *business as usual Greenhouse gases* en sus siglas en inglés) puedan causar unos aumentos del nivel del mar considerable. Este siglo (Hansen, 2007) difiere de las estimaciones del IPCC (IPCC, 2001)(IPCC, 2007, pp. 12-14). Éste 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 en deshielo, las corrientes y las placas erosionantes de hielo. Tampoco se corresponden con las pruebas paleoclimáticas presentadas 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 0,1 °C desde la superficie hasta una profundidad de 700 m. 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 Tº 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. Aparte de tener efectos para los ecosistemas (por ej. fundiendo el hielo del mar, afectando al crecimiento de las algas bajo su superficie), el calentamiento reduce la capacidad del océano de absorber el CO₂.

Sumideros de carbono y acidificación

Se ha comprobado que los océanos del mundo absorben aproximadamente un tercio de los incrementos de CO₂ atmosférico (Siegenthaler y Sarmiento, 1993), lo que hace que constituyan el sumidero de carbono más importante. El gas se incorpora bien como gas disuelto o bien en los restos de diminutas criaturas marinas que caen al fondo para convertirse en creta o piedra caliza. La escala temporal de ambos procesos es diferente, y tiene su origen en el ciclo del carbono. La incorporación de dicho gas al océano plantea problemas ecológicos por la acidificación del mismo (Dore et al., 2009). Pero ¿cómo se origina esa acidificación?

El origen del mecanismo es que el agua de mar y el aire están en constante equilibrio en cuanto a la concentración de CO₂. El gas se incorpora al agua en forma de anión carbonato, según la siguiente reacción (Dore et al., 2009):



La liberación de dos protones (H^+) es la que provoca el cambio de pH en el agua. Así, un incremento de dicho gas en la atmósfera comportará un aumento de su concentración en el océano (y una rebaja del pH), mientras que un descenso de su concentración en la atmósfera provocará la liberación del gas desde el océano (y un aumento del pH). Es un mecanismo de tampón que atempera los cambios en la concentración de dióxido de carbono producidos por factores externos, como pueda ser el vulcanismo, la acción humana, el aumento de incendios, etc.⁶

A una escala muchísimo más lenta, el ión carbonato disuelto en el océano acaba precipitando, asociado con un catión de calcio, formando piedra caliza. Esta piedra caliza acaba incorporándose a la corteza terrestre, y al cabo del tiempo regresa a la atmósfera por las emisiones volcánicas, en forma de CO_2 una vez más, dentro del ciclo geoquímico del carbonato-silicato.⁶ Otra posibilidad es que emerja a la superficie terrestre por procesos tectónicos.

La acidificación tiene su origen, pues, en el rápido tamponamiento del aumento atmosférico de CO_2 . A lo largo de la historia de la Tierra, el ciclo geoquímico del carbono ha equilibrado esta acidificación, pero actúa más lentamente y nada puede hacer para moderar acidificaciones intensas provocadas por aumentos bruscos del dióxido de carbono en el aire.

Véase también: Efectos potenciales del calentamiento global#Acidificación del océano

El cierre de la circulación térmica

Se especula que el calentamiento global podría, via 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. Mas significadamente, podría llevar a una situación oceánica de anoxia.

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.

Cultura popular

■ Cine:

- *«Una verdad incómoda»*: El político norteamericano Al Gore trata el tema del cambio climático, concretamente el calentamiento global en esta película documental, 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.
- *«La gran estafa del calentamiento global (<http://www.greatglobalwarmingswindle.co.uk/index.html>)*»: Documental de Martin Durkin producido por la cadena británica Channel 4 que cuestiona la influencia del hombre y el CO_2 en el calentamiento global.⁷ La obra ha recibido críticas por algunos sectores como el Ofcom, el *regulador de los medios de comunicación* británicos, por determinar que no ha cumplido las reglas de imparcialidad y veracidad básicas.⁸
- *«El día de mañana»*: Además del documental de Al Gore, hay películas de ciencia ficción que han marcado un impacto en la cultura popular sobre el Cambio Climático. Tal es el caso de este filme presentado en 2004 bajo la dirección de Roland Emmerich. Ha recibido críticas de algunos autores como Myles Allen por su falta de rigor científico.⁹

■ Literatura:

- *«Estado de miedo»*: Novela *tecno-thriller* de Michael Crichton cuyo hilo conductor es el

cambio climático. Ha recibido críticas de algunos autores como Myles Allen por su falta de rigor científico.¹⁰

Véase también

- Antiglobalización y Globalización
- Balance radiativo terrestre
- Biocombustible y los biocombustibles directos (biodiésel y biobutanol).
- Calentamiento global
- Calentología
- Cambio climático en España
- Cambio climático y agricultura
- Clima
- Contaminación
- Deforestación
- Derecho de emisión
- Desarrollo sostenible
- Ecologismo
- Economía ecológica
- Efecto invernadero
- Efectos del Calentamiento Global
- Energía renovable
- Huella ecológica
- Impacto ambiental
- Mínimo de Maunder
- Oficina Española de Cambio Climático (Ministerio de Medio Ambiente de España)
- Oscurecimiento global
- Permacultura y Agroecología
- Propulsión alternativa
- Vehículo híbrido
- Vehículo eléctrico

Referencias

1. ↑ Venus se parecía mucho a la Tierra. (<http://www.que.es/ultimas-noticias/sociedad/200907141340-venus-parecia-tierra.html>) Diario Qué, consultado el 29 de julio de 2009.
2. ↑ Kintisch, Eli (24 de febrero de 2006) «Evangelicals, Scientists Reach Common Ground on Climate Change» (en inglés). *Science*. Vol. 311. n.º 5764. pp. 1082-1083. AAAS. ISSN 0028-0836. DOI 10.1126/science.311.5764.1082a. Consultado el 6 de julio de 2009.
3. ↑ Desaparición de los cirros: el calentamiento podría adelgazar las nubes que atrapan el calor. (<http://www.meteored.com/ram/444/desaparicion-de-los-cirros-el-calentamiento-podria-adelgazar-las-nubes-que-atrapan-el-calor/>) RAM, Revista del Aficionado a la Meteorología. Consultado el 29 de julio de 2009.
4. ↑ Open University
5. ↑ Open.ac.uk/Earth-Sciences (<http://www3.open.ac.uk/earth-sciences/downloads/Press%20Release.pdf>)
6. ↑ ^a ^b Jaramillo, Víctor J.. «El ciclo global del carbono (<http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/437/jaramillo.html>) ». México: Instituto Nacional de Ecología. Consultado el 1 de agosto de 2009.
7. ↑ Channel 4. «The Great Global Warming Swindle from Channel4.com (http://www.channel4.com/science/microsites/G/great_global_warming_swindle/) » (en inglés). Consultado el 12 de julio de 2009. «A film that challenges the commonly-held view that mankind is responsible for global warming and argues it may be all down to the effect of the sun's radiation.»
8. ↑ PÚBLICO (21 de julio de 2008 20:35). «El timo de 'El gran timo del calentamiento global' (<http://www.publico.es/ciencias/136300/timo/calentamiento/global/cambio/climatico/channel4/escepticos>) ». Consultado el 12 de julio de 2009. «El regulador de los medios de comunicación británicos ha determinado que el documental no fue objetivo ni imparcial.»
9. ↑ Allen, Myles (27 de mayo de 2004) «Film: Making heavy weather» (en inglés). *Nature*. Vol. 429. n.º 6990. pp. 347-348. McMillan. ISSN 0028-0836. DOI 10.1038/429347a. Consultado el 6 de julio de 2009.
10. ↑ Allen, Myles (20 de enero de 2005) «A novel view of global warming» (en inglés). *Nature*. Vol. 433. n.º 7023. pp. 198. McMillan. ISSN 0028-0836. DOI 10.1038/433198a. Consultado el 6 de julio de 2009.

Bibliografía

- Charlson, R.J.; Schwartz, S.E.; Hales, J.M.; y otros (1992), "Climate Forcing by Anthropogenic Aerosols" (en english), *Science* **255** (5043): 423-430, doi:10.1126/science.255.5043.423 (<http://dx.doi.org/10.1126%2Fscience.255.5043.423>) , ISSN 1095-9203 (<http://worldcat.org/issn/1095-9203>) , PMID 17842894 (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17842894>)
- Crowley, Thomas J.; North, Gerald R. (1988), "Abrupt Climate Change and Extinction Events in Earth History" (en english), *Science* **240** (4855): 996-1002, doi:10.1126/science.240.4855.996 (<http://dx.doi.org/10.1126%2Fscience.240.4855.996>) , ISSN 1095-9203 (<http://worldcat.org/issn/1095-9203>)
- Dore, John E.; Lukas, Roger; Sadler, Daniel W.; y otros (2009), "Physical and biogeochemical modulation of ocean acidification in the central North Pacific (<http://www.pnas.org/content/106/30/12235.full>) " (en english), *PNAS* **106** (30): 12235-12240, doi:10.1073/pnas.0906044106 (<http://dx.doi.org>)

- /10.1073%2Fpnas.0906044106) , ISSN 0027-8424 (<http://worldcat.org/issn/0027-8424>) , <http://www.pnas.org/content/106/30/12235.full>
- Hansen, James; Sato, Makiko; Kharecha, Pushker; y otros (2007), "Climate change and trace gases (<http://rsta.royalsocietypublishing.org/content/365/1856/1925.full>) " (en english), *Philosophical Transactions of the Royal Society A* **365** (1866): 1925-1954, doi:10.1098/rsta.2007.2052 (<http://dx.doi.org/10.1098%2Frsta.2007.2052>) , ISSN 1364-503X (<http://worldcat.org/issn/1364-503X>) , <http://rsta.royalsocietypublishing.org/content/365/1856/1925.full>
 - Hansen, James (2007), "Scientific reticence and sea level rise (http://www.iop.org/EJ/article/1748-9326/2/2/024002/er17_2_024002.html) " (en english), *Environmental Research Letters* **2** (2): 0204002, doi:10.1088/1748-9326/2/2/024002 (<http://dx.doi.org/10.1088%2F1748-9326%2F2%2F2%2F024002>) , ISSN 1748-9326 (<http://worldcat.org/issn/1748-9326>) , http://www.iop.org/EJ/article/1748-9326/2/2/024002/er17_2_024002.html
 - Hughes, Lesley (2001), "Biological consequences of global warming: is the signal already apparent?" (en english), *Trends in Ecology and Evolution* **15** (2): 56-61, doi:10.1016/S0169-5347(99)01764-4 (<http://dx.doi.org/10.1016%2FS0169-5347%2899%2901764-4>) , ISSN 0169-5347 (<http://worldcat.org/issn/0169-5347>)
 - IPCC (2001). J T Houghton et al (ed.). *Climate Change 2001: The Scientific Basis*. Cambridge: Cambridge University Press. ISBN 0521807670.
 - IPCC (2007). «Resumen para responsables de políticas», Pachauri, R.K. y Reisinger, A. (ed.). *Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. Ginebra: Cambridge University Press. ISBN 9291693227.
 - Knutti, Retto; Hegerl, Gabriele C. (2008), "The equilibrium sensitivity of the Earth's temperature to radiation changes (<http://www.iac.ethz.ch/people/knuttir/papers/knutti08natgeo.pdf>) " (en english), *Nature Geoscience* **1** (11): 735-743, doi:10.1038/ngeo337 (<http://dx.doi.org/10.1038%2Fng337>) , ISSN 1752-0894 (<http://worldcat.org/issn/1752-0894>) , <http://www.iac.ethz.ch/people/knuttir/papers/knutti08natgeo.pdf>
 - Oreskes, Naomi (2004), "Beyond the Ivory Tower. The Scientific Consensus on Climate Change" (en english), *Science* **306** (5702): 1686, doi:10.1126/science.1103618 (<http://dx.doi.org/10.1126%2Fscience.1103618>) , ISSN 1095-9203 (<http://worldcat.org/issn/1095-9203>)
 - Roe, Gerard H.; Baker, Marcia B. (2007), "Why Is Climate Sensitivity So Unpredictable?" (en english), *Science* **318** (5850): 629-632, doi:10.1126/science.1144735 (<http://dx.doi.org/10.1126%2Fscience.1144735>) , ISSN 1095-9203 (<http://worldcat.org/issn/1095-9203>)
 - Schnellhuber, Hans Joachim (2008), "Global warming: Stop worrying, start panicking?" (en english), *PNAS* **105** (38): 14239-14240, doi:10.1073/pnas.0807331105 (<http://dx.doi.org/10.1073%2Fpnas.0807331105>) , ISSN 0027-8424 (<http://worldcat.org/issn/0027-8424>)
 - Siegenthaler, U.; Sarmiento, J.L. (1993), "Atmospheric carbon dioxide and the ocean (http://www.gfdl.noaa.gov/bibliography/related_files/us9301.pdf) " (en english), *Nature* **365** (6442): 119-125, doi:10.1038/365119a0 (<http://dx.doi.org/10.1038%2F365119a0>) , ISSN 0028-0836 (<http://worldcat.org/issn/0028-0836>) , http://www.gfdl.noaa.gov/bibliography/related_files/us9301.pdf
 - Stainforth, D.A.; Aina, T; Christensen, C; y otros (2005), "Uncertainty in predictions of the climate response to rising levels of greenhouse gases (https://www.lse.ac.uk/collections/cats/papersPDFs/66_EvaluatingUncertainty_Nature_2005.pdf) " (en english), *Nature* **433** (7024): 403-406, doi:10.1038/nature03301 (<http://dx.doi.org/10.1038%2Fnature03301>) , ISSN 0028-0836 (<http://worldcat.org/issn/0028-0836>) , https://www.lse.ac.uk/collections/cats/papersPDFs/66_EvaluatingUncertainty_Nature_2005.pdf
 - Stern, Nicholas (2008), "The Economics of Climate Change (http://www.bioenergy-world.com/americas/2006/IMG/pdf/stern_summary__what_is_the_economics_of_climate_change.pdf) " (en english), *American Economic Review* **98** (2): 1-37, doi:10.1257/aer.98.2.1 (<http://dx.doi.org/10.1257%2Faer.98.2.1>) , ISSN 0002-8282 (<http://worldcat.org/issn/0002-8282>) , http://www.bioenergy-world.com/americas/2006/IMG/pdf/stern_summary__what_is_the_economics_of_climate_change.pdf
 - Svensmark, Henrik (2007), "Cosmoclimatology: a new theory emerges" (en english), *Astronomy & Geophysics* **48** (1): 1.18-1.24, doi:10.1111/j.1468-4004.2007.48118.x (<http://dx.doi.org/10.1111%2Fj.1468-4004.2007.48118.x>) , ISSN 1366-8781 (<http://worldcat.org/issn/1366-8781>)
 - Walther, Gian-Reto; Post, Eric; Convey, Peter; y otros (2002), "Ecological responses to recent climate change (<http://eebweb.arizona.edu/courses/Ecol206/Walther%20et%20al%20Nature%202002.pdf>) " (en english), *Nature* **416** (6879): 389-395, doi:10.1038/416389a (<http://dx.doi.org/10.1038%2F416389a>) , ISSN 0028-0836 (<http://worldcat.org/issn/0028-0836>) , <http://eebweb.arizona.edu/courses/Ecol206/Walther%20et%20al%20Nature%202002.pdf>

Bibliografía complementaria

- Una veintena de periodistas iberoamericanos. Coordinación Arturo Larena, EFEverde (2009). *Guía para periodistas sobre cambio climático y negociación internacional[1]* (<http://www.efeverde.com>) (*Descarga en pdf gratuita*). MARM y EFEverde. NIPO 770-09-388-5.
- James Trefil (2005). *Gestionemos la naturaleza*. Antoni Bosch editor. ISBN 978-84-95348-20-3.
- Manuel Vargas Yáñez, et al. (2008). *Cambio Climático en el Mediterráneo español*. Instituto Español de Oceanografía. ISBN 84-95877-39-2.
- William F. Ruddiman (2008). *Los tres jinetes del cambio climático*. Turner. ISBN 978-84-7506-852-7.

Enlaces externos

-  Wikinoticias tiene noticias relacionadas con **Cambio climático**.

-  Wikiquote alberga frases célebres de o sobre **Cambio climático**.

En español

- Observatorio de Cambio Climático en español (<http://www.cambioclimatico.org/>)
- La Onda Verde de NRDC (<http://www.nrdc.org/laondaverde/>)
- Página especial de Greenpeace sobre Cambio Climático -Revolución Renovable- (<http://www.greenpeace.org/espana/r-evoluci-n-renovable/>)
- Página web de la UE sobre cambio climático (<http://www.climatechange.eu.com/>) .
- Consenso científico sobre el cambio climático (<http://www.greenfacts.org/es/cambio-climatico-ie4/index.htm>) resumen del informe IPCC 2007, elaborado por GreenFacts.
- Nodo participativo de la iniciativa CambioClimático.com (<http://www.cambioclimatico.com/>)
- Greenpeace sobre el Cambio Climático (<http://www.greenpeace.org/mexico/campaigns/energia-y-cambio-climatico>)
- Ley estatal española 1/2005 de derechos de emisión de gases de efecto invernadero (http://www.mma.es/secciones/cambio_climatico/documentacion_cc/normativa_cc/pdf/a08405-08420.pdf) (PDF)

Otros idiomas

- Web de la ONU para el cambio global (<http://www.ipcc.ch>) (en inglés)
- Programa para el cambio global (<http://www.usgcrp.gov>) (en inglés)
- Real Climate (<http://www.realclimate.org/>) Blog realizado por expertos climatólogos en activo.
- Climate Audit (<http://climateaudit.org/>) El influyente blog de Stephen McIntyre dedicado al análisis y debate del cambio climático (en inglés)
- Watts Up With That (<http://wattsupwiththat.com/>) . Blog sobre novedades del clima de Anthony Watts con más de 15 millones de visitas mensuales. Votado como el mejor blog científico del año 2008 (en inglés)

Obtenido de "http://es.wikipedia.org/wiki/Cambio_clim%C3%A1tico"

Categorías: Cambio climático | Actualidad

- Esta página fue modificada por última vez el 14:52, 24 mar 2010.
- El texto está disponible bajo la Licencia Creative Commons Reconocimiento Compartir Igual 3.0; podrían ser aplicables cláusulas adicionales. Lee los términos de uso para más información.