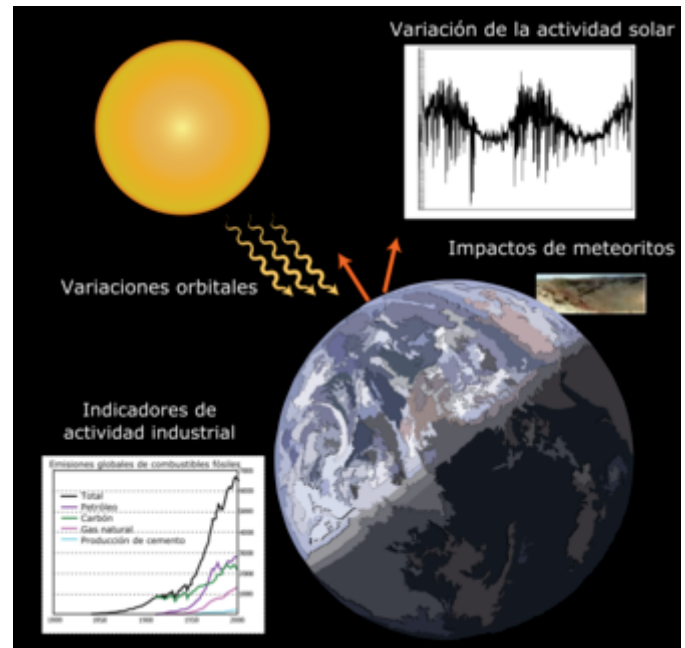


Cambio climático

Para el calentamiento actual del sistema climático debido a la actividad humana, véase *Calentamiento global*. Para el estudio de cambios climáticos pasados, véase *Paleoclimatología*

Un **cambio climático** se define^{1 2} como la variación en el estado del sistema climático, formado por la atmósfera, la hidrosfera, la criosfera, la litosfera y la biosfera, que perdura durante periodos de tiempo suficientemente largos (décadas o más tiempo²) hasta alcanzar un nuevo equilibrio. Puede afectar tanto a los valores medios meteorológicos como a su variabilidad y extremos.

Los cambios climáticos han existido desde el inicio de la historia de la Tierra, han sido graduales o abruptos y se han debido a causas diversas, como las relacionadas con los cambios en los parámetros orbitales, variaciones de la radiación solar, la deriva continental, periodos de vulcanismo intenso, procesos bióticos o impactos de meteoritos. El cambio climático actual es antropogénico y se relaciona principalmente con la intensificación del efecto invernadero debido a las emisiones industriales procedentes de la quema de combustibles fósiles^{3 4}



Esquema ilustrativo de los principales factores que afectan a un cambio climático.

Los científicos trabajan activamente para entender el clima pasado y futuro mediante observaciones y modelos teóricos. Para ello recopilan un registro climático del pasado remoto de la Tierra basado en la evidencia geológica a partir de sondeos geotécnicos de perfiles térmicos, testigos de hielo, registros de la flora y fauna como crecimiento de anillos de árboles y de corales, procesos glaciares y periglaciares, análisis isotópico y otros análisis de las capas de sedimento y registros de los niveles del mar del pasado. Cualquier variación a largo plazo observado a partir de estos indicadores (proxies) puede indicar un cambio climático.

El registro instrumental provee de datos más recientes. Buenos ejemplos son los registros instrumentales de temperatura atmosférica y las mediciones de la concentración de CO₂ atmosférico. No debemos olvidar el enorme flujo de datos climatológicos procedente de los satélites en órbita pertenecientes principalmente de los programas de observación de La Tierra de NASA⁵ y ESA⁶

Los modelos de circulación general se utilizan a menudo en los enfoques teóricos para intentar reconstruir los climas del pasado⁷, realizar proyecciones futuras^{8 9} y asociar las causas y efectos del cambio climático¹⁰.

Los factores externos que pueden influir en el clima son llamados forzamientos climáticos^{1 2}. Los forzamientos climáticos son factores que inciden en el balance de energía del sistema climático, modificando la cantidad de energía que el sistema recibe del Sol o la cantidad de energía que el sistema pierde por emisión desde la Tierra al espacio exterior. Los climatólogos que estudian el cambio climático actual suelen denominarlos forzamientos radiativos y consideran básicamente cuatro de ellos: la cantidad de la radiación solar en lo alto de la atmósfera (constante solar), el albedo terrestre, la concentración de gases de efecto invernadero y la concentración de aerosoles tanto de procedencia natural, como son los procedentes de erupciones volcánicas, como los de origen antropogénico que proceden de actividades humanas, entre otros.

Los paleoclimatólogos sin embargo, consideran como forzamientos climáticos externos un rango mucho más amplio de fenomenología extraterrestre que incluyen las variaciones en los parámetros orbitales de la Tierra o la caída de meteoritos¹¹. Las variaciones orbitales, por ejemplo, cambian la distribución geográfica y estacional de la radiación solar pero apenas modifican el

balance de energía planetario, es decir, no constituyen un forzamiento radiativo relevante. Precisamente, uno de los objetivos de climatólogos y paleoclimatólogos es entender qué mecanismos amplificadores inducen estas variaciones orbitales para explicar los diferentes ciclos glaciales que se han producido en la historia de nuestro planeta.¹²

En cuanto a los procesos internos, desde el punto de vista climatológico se estudia principalmente la variabilidad natural ^{1 2} dentro del mismo sistema climático que no provoca cambios en el balance radiativo de la atmósfera. Esta variabilidad se produce como resultado de la interacción dinámica entre la atmósfera y el océano típicamente en escalas temporales de unos a años a unas pocas décadas. Los fenómenos más conocidos de esta variabilidad interna son la circulación termohalina y ENSO (El Niño). Así por ejemplo, los años El Niño, como 1997, se corresponden con temperaturas globales por encima de la media.

Los paleoclimatólogos añaden a los procesos internos aquellos inherentes a la dinámica planetaria que afectan al clima¹¹. Estos incluyen la orogénesis (formación de montañas), tectónica de placas, vulcanismo y cambios biológicos a largo plazo como la evolución de las plantas terrestres. La tectónica de placas junto a la erosión, por ejemplo, puede contribuir, mediante el Ciclo Geoquímico Carbonato-Silicato al secuestro de CO₂, disminuyendo la cantidad de gases de efecto invernadero y disminuyendo por tanto la temperatura global. El vulcanismo masivo y constante devuelve a la atmósfera el dióxido de carbono secuestrado en el manto por los procesos de subducción. Estos procesos actúan en periodos geológicos de entre decenas de miles a varios millones de años.

Índice

Terminología

Causas de los cambios climáticos

Influencias externas

- Variaciones solares

- Variaciones orbitales

- Impactos de meteoritos

Influencias internas

- La deriva continental

- La composición atmosférica

- Las corrientes oceánicas

- El campo magnético terrestre

- Los efectos antropogénicos

- Retroalimentaciones y factores moderadores

- Incertidumbre de predicción

Cambios climáticos en el pasado

- La paradoja del Sol débil

- El efecto invernadero en el pasado

- El CO₂ como regulador del clima

- Aparece la vida en la Tierra

- Máximo Jurásico

- Las glaciaciones del Pleistoceno

- El mínimo de Maunder

El cambio climático actual

- Combustibles fósiles y calentamiento global

- Planteamiento de futuro

- Agricultura

Clima de planetas vecinos

Materia multidisciplinar

Océanos

- El aumento de la temperatura

- Sumideros de carbono y acidificación

- El cierre de la circulación térmica

Impacto en los pueblos indígenas

Proyecciones futuras del cambio climático del siglo XXI

Cultura popular

Cine

Información cinematográfica sobre el cambio climático

Literatura

Véase también

Referencias

Bibliografía

Bibliografía complementaria

Enlaces externos

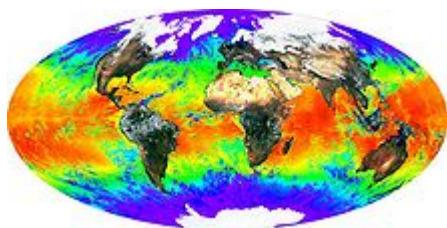
Terminología

La definición más general de *cambio climático* es un cambio en las propiedades estadísticas (principalmente su promedio y dispersión) del sistema climático al considerarse durante periodos largos de tiempo, independiente de la causa.² Por consiguiente, las fluctuaciones durante periodos más cortos que unas cuantas décadas, como por ejemplo El Niño, no representan un cambio climático.

El término a veces se usa para referirse específicamente al cambio climático causado por la actividad humana, en lugar de cambios en el clima que pueden haber resultado como parte de los procesos naturales de la Tierra.¹³ En este sentido, especialmente en el contexto de la política medioambiental, *cambio climático* se ha convertido en sinónimo de calentamiento global antropogénico. En las publicaciones científicas, *calentamiento global* se refiere a aumento de las temperaturas superficiales mientras que *cambio climático* incluye al calentamiento global y todo lo demás efectos que el aumento de los niveles de gases de efecto invernadero produce.¹⁴ La Convención Marco de la Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, define al cambio climático en su artículo 1 párrafo segundo, como un cambio de clima atribuido directa e indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera y que se suma a la variabilidad natural del clima observadas durante periodos de tiempos comparables.¹⁵

Véase también: Calentamiento global#Etimología

Causas de los cambios climáticos



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

El clima es un promedio del tiempo atmosférico a una escala de tiempo dado que la Organización Meteorológica Mundial ha estandarizado en 30 años¹⁶. Los distintos climas se corresponden principalmente con la latitud geográfica, la altitud, la distancia al mar, la orientación del relieve terrestre con respecto a la insolación (vertientes de solana y umbría) y a la dirección de los vientos (vertientes de Sotavento y barlovento) y por último, las corrientes marinas. Estos factores y sus variaciones en el tiempo producen cambios en los principales elementos constituyentes del clima: temperatura atmosférica, presión atmosférica, vientos, humedad y precipitaciones.

Un cambio en la emisión de radiación solar, 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 equilibrio térmico, alterando así profundamente el clima cuando se trata de procesos de larga duración.

En última instancia, para que se produzca un cambio climático global, debe actuar algún forzamiento climático, es decir, cualquier factor que incida en el balance de energía del sistema climático, modificando la cantidad de energía que el sistema recibe del Sol o la cantidad de energía que el sistema pierde por emisión desde la Tierra al espacio exterior. Los forzamientos pueden ser las variaciones

en los parámetros orbitales de la Tierra, en el albedo terrestre, en la concentración de gases de efecto invernadero, en la concentración de aerosoles tanto de procedencia natural, como son los procedentes de erupciones volcánicas, como los de origen antropogénico que proceden de actividades humanas, entre otros.

Otros factores como la distribución de los continentes pueden terminar afectando a alguno de los forzamiento e inducir un cambio climático global. Por ejemplo, la ocupación del océano ecuatorial por una gran masa de tierra, como ocurrió con el supercontinente Rodinia durante el Neoproterozoico, puede contribuir a una mayor reflexión de de radiación solar, aumentando el albedo y produciendo cierto enfriamiento que puede provocar la formación de hielo que, a su vez, vuelve a aumentar el albedo, en un ciclo conocido como realimentación hielo-albedo¹⁷. La fragmentación de Rodinia¹⁸ hace unos 700-800 millones de años, pudo exponer mayor cantidad de corteza terrestre a la erosión por lluvia y provocar que el Ciclo Geoquímico Carbonato-Silicato aumentara el secuestro de CO₂ atmosférico contribuyendo a una disminución de la temperatura que terminase induciendo una glaciación global, más conocida como bola de nieve.

El cambio climático actual es, de manera muy probable, totalmente antropogénico y se relaciona principalmente con la intensificación del efecto invernadero debido a las emisiones industriales procedentes de la quema de combustibles fósiles.^{3,4} Las contribuciones probables de los forzamientos naturales y la variabilidad interna al cambio de la temperatura global desde 1951 son insignificantes⁴.

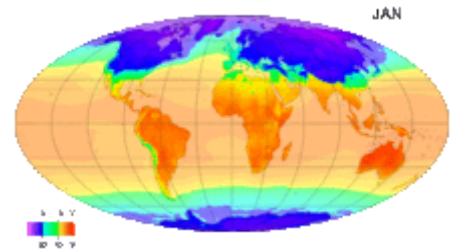
Influencias externas

Variaciones solares

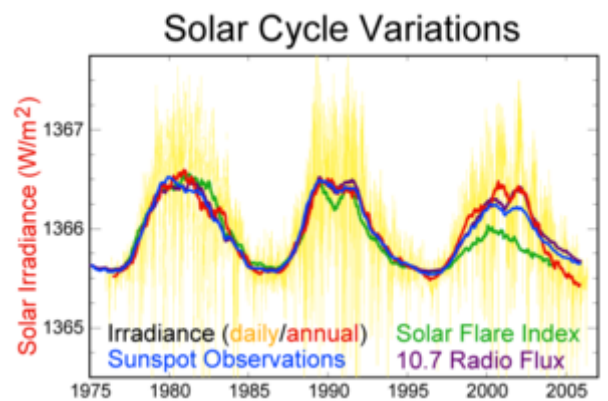
El Sol es una estrella aproximadamente de 4600 millones de años de edad que emite radiación electromagnética en todo el rango del espectro, desde las ondas de radio hasta los rayos X, aunque el 50% de la energía se emite en el visible e infrarrojo. La emisión se ajusta excelentemente a la de un cuerpo negro a 5770 K, temperatura característica de su superficie visible (la fotosfera). A la distancia de la Tierra (1 UA), la parte alta de la atmósfera recibe una irradiancia de 1361 W/m²¹⁹ que, debido a su escasa variación a corto plazo, se conoce históricamente como constante solar.

El Sol presenta ciclos de actividad de once años reflejados en su superficie por el número de manchas²⁰. Desde 1978 tenemos observaciones directas de la actividad solar²¹ y desde principios del siglo XVII mediante indicadores indirectos (proxies) del ciclo solar²². La amplitud de estos ciclos varía en torno a un 0,1%²³, con períodos sin manchas solares, como el mínimo de Maunder (1645 a 1715) que contribuyó a la conocida como Pequeña Edad de Hielo y periodos de mayor actividad, como el Máximo Solar Moderno, centrado a finales de la década de 1950 y cuya amplitud está todavía en discusión.²⁴

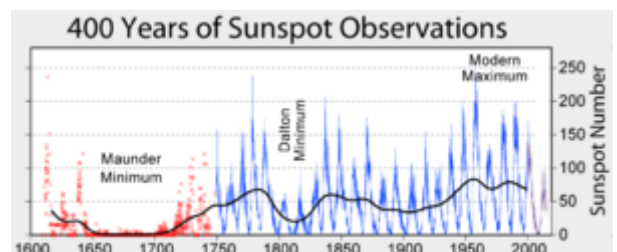
La temperatura media de la Tierra depende, en gran medida, del flujo de radiación solar que recibe. Sin embargo, debido a que ese aporte de energía apenas varía en el tiempo, no se considera que sea una contribución importante para la variabilidad climática a corto plazo en comparación con el efecto de los gases de efecto invernadero²⁵. Esto sucede porque el Sol es una estrella de tipo G en fase de



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



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



400 años de observaciones de manchas solares.

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 estos se produzcan²⁶. Las variaciones en la irradiancia solar, por tanto, no han contribuido al cambio climático de las últimas décadas²⁷.

Las variaciones de la radiación solar son, sin embargo, más acusadas en el ultravioleta cercano²⁸, por lo que sería esperable que el ciclo solar afectase a la estratósfera a través de la absorción de la capa de ozono. Dicha influencia en la temperatura y en la concentración de ozono ha sido efectivamente observada en la estratósfera tanto en latitudes medias como tropicales²⁹.

No es la única conexión establecida entre el Sol y el clima. Una de los resultados más robustos^{30 31} es la variación de la temperatura de la estratósfera polar cuando los datos se relacionan con la fase de la Oscilación Casi Bienal (QBO), una oscilación del viento en la baja estratósfera con un periodo medio de entre 28 y 29 meses³².

Otros muchos estudios encuentran cierta influencia en la troposfera, en los océanos y en la superficie continental. Existe, por ejemplo, cierta evidencia de la amplificación, en lo alto del ciclo solar, del máximo de precipitaciones tropicales, con un ensanchamiento de la circulación de Hadley y un fortalecimiento de la circulación de Walker en el Pacífico ecuatorial ligada a los ciclos El Niño-La Niña (ENSO)³¹.

Con respecto al calentamiento global del último siglo, estudios estadísticos de detección y atribución encuentran la influencia solar en la primera mitad del siglo XX, pero no en la segunda, perfectamente en consistencia con la constancia de la irradiancia solar después de 1980^{31 27}.

Una hipótesis popular relaciona las variaciones en el campo magnético solar con cambios en el clima mediante la creación de núcleos de condensación por ionizaciones provocadas por los rayos cósmicos. En los momentos de mayor actividad solar se intensifica el campo magnético, que limita la cantidad de rayos cósmicos que alcanzan la atmósfera y, por tanto, la creación de núcleos de condensación, formándose menos nubes y aumentando la cantidad de luz solar que alcanza la superficie. De esta manera indirecta, la parte alta del ciclo solar provoca un mayor calentamiento de la superficie. Sin embargo, los datos disponibles no respaldan esta conexión^{31 33 34 35 36}.

A largo plazo el Sol aumenta su luminosidad a razón de un 10 % cada mil millones de años, lo que cambia enormemente el clima a través de los eones (ver La paradoja del Sol débil más abajo)

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 glaciares e interglaciares.

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 apenas 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. Sólo la excentricidad puede cambiar ligeramente el flujo de radiación global, en menos del 0,2%^{37 38}.

El perihelio actual coincide muy aproximadamente con el solsticio de invierno pero se trata solamente de una coincidencia temporal. El eje de rotación de la Tierra describe una circunferencia en un periodo de unos 26 000 años. Es el conocido fenómeno de la precesión de los equinoccios.

La órbita de la Tierra también está sometida a su propio movimiento de precesión del perihelio provocada por la influencia gravitatoria de Júpiter y Saturno principalmente, con un periodo de unos 112 000 años³⁹. Ambos movimientos, la precesión de los equinoccios y del perihelio (precesión absidal) se combinan para provocar la traslación del perihelio con respecto a las estaciones en dos ciclos, uno dominante de 23 000 y otro menos acusado de 19 000 años⁴⁰.

Esas variaciones orbitales podrían tener su relevancia en tiempos históricos y constituir uno de los disparadores del Óptimo Climático del Holoceno hace unos 6000 años, cuando el verano del hemisferio norte llevaba varios milenios en la parte de la órbita cercana al perihelio^{41 42}. La mayor cantidad de radiación incidente sobre el norte de Africa también ayudó al aumento de las lluvias monzónicas y a crear, como consecuencia, un Sahara verde y húmedo hace unos 10 000 años⁴³

La situación empezó a cambiar de manera significativa hace unos 5 000 años, cuando el invierno empezó a acercarse al perihelio, provocando una tendencia progresiva al enfriamiento que parece haberse encontrado en los indicadores de los últimos dos milenios.^{44 45}

La periodicidad del ciclo de la precesión también controló las variaciones climáticas varios millones de años antes de los últimos 3 millones de años aproximadamente. A partir de ese momento empezó a dominar un nuevo ciclo muy estable de 41 000 años que iniciaría las grandes glaciaciones del hemisferio norte aparentemente provocadas por las variaciones de la oblicuidad del eje de rotación entre unos 22 y 24,5°.^{46 47} El factor clave propuesto que afecta al avance y retirada de los glaciales es la insolación sobre el hemisferio norte integrada a lo largo del verano en lugar del máximo o el promedio de insolación⁴⁸. Los modelos numéricos siguen mostrando sin embargo una clara influencia de la precesión, por lo que la explicación del ciclo de 41 000 años en los periodos glaciales de la primera mitad del Pleistoceno parece resistirse a una explicación definitiva⁴⁹.

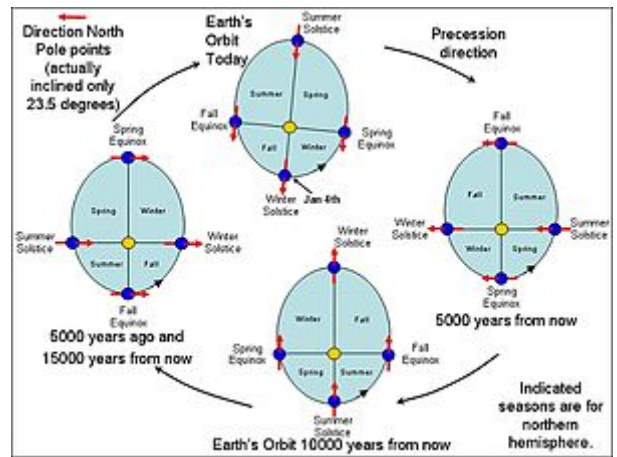
Misteriosamente, pues todavía no estamos seguros de las causas, esos ciclos glaciales cambiaron a una periodicidad de cien mil años durante el último millón de años aproximadamente.⁵⁰

El misterio procede de que, aunque las variaciones de la excentricidad de la órbita terrestre presentan una periodicidad de 100 mil años (más un segundo ciclo de 405 mil años^{51 52}), la variación de insolación producida de mucho menor magnitud que la provocada por los otros movimientos orbitales de nuestro planeta. Se han propuesto numerosas soluciones, pero actualmente se considera un problema no resuelto.^{53 40 54 55 56 57 58 59 47 60}

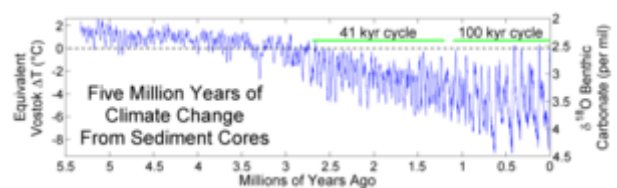
Los tres ciclos de insolación provocados por los diferentes movimientos orbitales se conocen como Ciclos de Milankovitch y fueron descubiertos de manera pionera en la década de 1870 por el escocés James Croll.^{61 62} Previamente, en 1842, Joseph Adhémar ya había conjeturado que la precesión de la órbita terrestre era la causa de las eras glaciales. Los cálculos de Croll fueron perfeccionados independientemente en los años veinte del siglo pasado por el astrónomo serbio Milutin Milanković.^{63 64 65} Treinta años más tarde, tres investigadores utilizaron registros climáticos de los últimos 450 000 años a partir del análisis de sedimentos marinos para poner a prueba la hipótesis. En 1976 publicaban en la revista Science un artículo⁵⁰ con la confirmación de la conexión entre el cambio de insolación provocada a 65°N debido a los ciclos orbitales y las eras glaciales del Cuaternario. Dicha conexión ha sido extendida actualmente hasta hace 1400 millones años, durante el Proterozoico.⁶⁶ Aunque lo cierto es que no existe una teoría consolidada del mecanismo que amplifica el efecto de la insolación para producir los ciclos glaciales.^{40 67 47 68}

Las variaciones orbitales han podido estar estrechamente relacionadas con la evolución de los homínidos a través del clima africano⁶⁹

El estudio del papel de estas variaciones orbitales será fundamental para entender el clima futuro⁴⁷. La variación de los parámetros orbitales harían esperar el final del interglacial actual dentro de los próximos 10 milenios si las emisiones de CO₂ se mantuviesen en niveles preindustriales (menor de unas 300 ppmv)⁷⁰. Con el aumento de emisiones industriales, la terminación del interglacial no se



Efectos de la precesión en las estaciones.



Variaciones de los ciclos glaciales indicados por sedimentos oceánicos.

producirá muy probablemente al menos dentro de los próximos 50 mil años^{71 72 73 74}.

Véase también: Órbita

Impactos de meteoritos

En raras ocasiones ocurren acontecimientos de tipo catastrófico que cambian la faz de la Tierra para siempre. Se trata de los impactos de meteoritos de gran tamaño. El último de tales acontecimientos globalmente catastrófico y bien documentado, el suceso de Chicxulub (en Yucatán, México) conocido como impacto K/T, se produjo hace 66 millones de años⁷⁵ y provocó una extinción masiva que acabó con muchas especies además de los dinosaurios^{76 77}. El causante, un asteroide de unos 10 km de diámetro, creó un cráter de unos 200 km y puso en juego una energía en torno a mil millones de Mt^{78 79}, equivalente en orden de magnitud a la energía que nuestro planeta recibe del Sol durante todo un año. Es indudable que tales fenómenos pueden provocar un efecto devastador sobre el clima al liberar grandes cantidades de aerosoles (principalmente como óxidos de azufre que producen ácido sulfúrico), polvo, vapor de agua y CO₂ a la atmósfera debido a la eyección de materiales, tanto del propio objeto como de la superficie terrestre, y a los incendios provocados por el impacto^{79 80 81}.

El modelo climático clásico propuesto después del impacto K/T consiste en la liberación inicial de polvo y dióxido de azufre, creand una reducción de la luz solar de hasta un 20% en la primera década y un enfriamiento global durante otra década más hasta temperaturas que podrían estar por debajo del punto de congelación^{82 83 84}, un escenario habitualmente denominado invierno nuclear. Posteriormente, dominaría el aumento del efecto invernadero provocado por el CO₂ procedente de la roca carbonatada pulverizada en el impacto. La magnitud de estas emisiones se ha estimado en aproximadamente una década de las emisiones industriales actuales⁸⁵, induciendo primero un ligero calentamiento global y posteriormente un calentamiento importante a largo plazo (unos cien mil años), del que existe evidencia reciente^{86 87}. Pero podrían existir otros mecanismos que provocasen el calentamiento⁸⁸ y la distinción entre los efectos de la caída de bólidos y la actividad volcánica masiva son difíciles de diferenciar sin una datación precisa de los eventos⁸⁹.

Se han intentado conectar al menos dos eventos climáticos significativos con la caída de un asteroide. Uno de ellos podría corresponderse con la extinción masiva del Pérmico-Tiásico sucedida hace 252 millones de años⁹⁰. Se han propuesto varios cráteres candidatos^{91 92 93} aunque el cráter Araguainha (Brasil) de 40 km de diámetro parezca, de momento, el mejor aspirante, considerada que su datación, en una edad comprendida entre 250 y 256 millones de años, se solapa con la fecha de la extinción masiva⁹⁴. Ese tamaño de cráter no debería provocar efectos convencionales duraderos⁷⁹, pero se ha propuesto un mecanismo alternativo consistente en la producción de terremotos de gran magnitud (9-10 en la escala Richter) actuando a escala continental y afectando a yacimientos de arenas bituminosas y rocas ricas en materiales orgánicos, lo que provocaría importantes emisiones de metano y, en consecuencia, un cambio climático abrupto⁹⁵

El otro de los cambios climáticos asociado a un posible impacto de bólide podría haberse producido mucho más recientemente, poco antes de comenzar el Holoceno. El descubrimiento reciente de un cráter de 31 km de diámetro bajo el hielo de Groenlandia, correspondiente a un bólide de 1,5 km de diámetro, ha reabierto el caso de la hipótesis del impacto en el evento climático conocido como Dryas Reciente⁹⁶, un enfriamiento repentino sucedido hace unos 12 800 años, aparentemente respaldada por una acumulación de nuevas evidencias físicas⁹⁷. El cráter, sin embargo, no ha sido datado, aunque se estima que se ha producido en los últimos 100 000 años⁹⁶, por lo que el debate sigue abierto.

Influencias internas

La deriva continental

La Tierra ha sufrido muchos cambios desde su origen hace 4600 millones de años. Hace 225 millones de años todos los continentes estaban unidos, formando lo que se conoce como Pangea, y había un océano universal llamado Panthalassa. 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.

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.

Un proceso que demuestra fehacientemente la influencia a largo plazo de la deriva de los continentes (o de igual manera, la tectónica de placas) sobre el clima es la existencia de yacimientos de carbón en las islas Svaldbard o Spitbergen, en una latitud donde ahora no existen árboles por el clima demasiado frío: la idea que explica estos yacimientos es que el movimiento de la placa donde se encuentran dichas islas se produjo hacia el norte desde una ubicación más meridional con un clima más cálido.



Pangea.

Véanse 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 (H_2) y el helio (He), para ser sustituidos por gases procedentes de las emisiones volcánicas del planeta o 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 manera natural en volcanes. Por otro lado, la cantidad de óxidos de azufre (SO , SO_2 y SO_3) 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 CO_2 de la atmósfera primitiva, a la vez que empezaba a 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 aún mayor. 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

Las corrientes oceánicas, o marinas, son factores reguladores del clima que actúan 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 celsius 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 manera que el viento solar puede afectar al clima directamente, 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.

Véase también: Paleomagnetismo

Los efectos antropogénicos

Una hipótesis dice que el ser humano podría haberse convertido en uno de los agentes climáticos, incorporándose a la lista hace relativamente poco tiempo. Su influencia comenzaría con la deforestación de bosques para convertirlos en tierras de cultivo y pastoreo, pero en la actualidad su influencia sería mucho mayor al producir la emisión abundante de gases que, según algunos autores⁹⁸, producen un efecto invernadero: CO₂ en fábricas y medios de transporte y metano en granjas de ganadería intensiva y arrozales. Actualmente las emisiones 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, sería la causa que explica el "valle" que se observa en el gráfico de temperaturas en la zona central del siglo XX.

La alta demanda de energía por parte de los países desarrollados es la principal causa del calentamiento global, debido a que sus emisiones contaminantes son las mayores del planeta. Esta demanda de energía hace que cada vez más se extraigan y consuman los recursos energéticos como el petróleo.

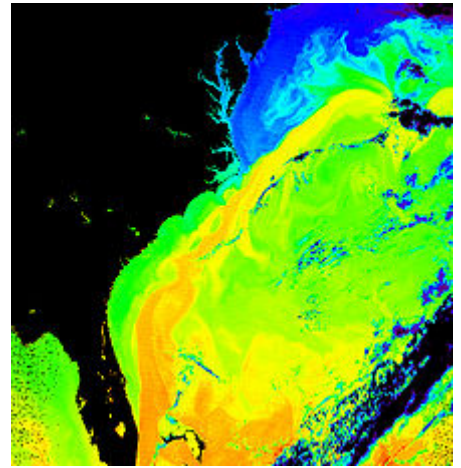
De acuerdo a un estudio de FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) la agricultura animal es responsable del 18% de las emisiones de gases de efecto invernadero, más que las emisiones combinadas de todo el transporte mundial.

Véase también: Efecto invernadero

Retroalimentaciones y factores moderadores

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



Temperatura del agua en la Corriente del Golfo.



La Tierra vista desde el Apolo 17

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 elecuador y los Polos.

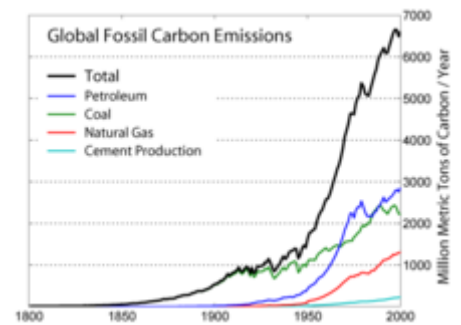
También hay factores moderadores del cambio. Uno es el efecto de la biosfera y, más concretamente, de los organismos fotosintéticos (fitoplancton, algas y plantas) sobre el aumento del dióxido de carbono en la atmósfera. Se estima que el incremento de dicho gas conllevará un aumento en el crecimiento 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 solo 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 conservadores⁹⁹) ha llegado a la conclusión, mediante observaciones desde el espacio, de que el efecto total que producen las nubes es de enfriamiento.¹⁰⁰ 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.

Incertidumbre de predicción

Se debe destacar la existencia de incertidumbre (errores) en la predicción de los modelos. La razón fundamental para la mayoría de estos errores es que muchos procesos importantes a pequeña escala no pueden representarse de manera explícita en los modelos, pero deben incluirse de manera aproximada cuando interactúan a mayor escala. Ello se debe en parte a las limitaciones de la capacidad de procesamiento, pero también es el resultado de limitaciones en cuanto al conocimiento científico o la disponibilidad de observaciones detalladas de algunos procesos físicos.^{101 102} En particular, existen niveles de incertidumbre considerables, asociados con la representación de las nubes y con las correspondientes respuestas de las nubes al cambio climático.¹⁰³

Edward N. Lorenz, un investigador del clima, ha encontrado una teoría revolucionaria de caos¹⁰⁴ que hoy en día se aplica en las áreas de economía, biología y finanzas (y otros sistemas complejos). En el modelo numérico se calcula el estado del futuro con insumos de observaciones meteorológicas (temperatura, precipitación, viento, presión) de hoy y usando el sistema de ecuaciones diferenciales. Según Lorenz, si hay pequeñas tolerancias en la observación meteorológica (datos de insumo), en el proceso del cálculo de predicción crece la tolerancia drásticamente. Se dice que la predictibilidad (duración confiable de predicción) es máximo siete días para discutir cuantitativamente in situ (a escala local). Cuánto más aumenta el largo de las integraciones (7 días, 1 año, 30 años, 100 años) entonces el resultado de la predicción tiene mayor incertidumbre. Sin embargo, la técnica de “ensamble” (cálculo del promedio de varias salidas del modelo con insumos diferentes) disminuye la incertidumbre y según la comunidad científica, a través de esta técnica se puede discutir el estado del promedio mensual cualitativamente. Cuando se discute sobre la cantidad de precipitación, temperatura y otros, hay que tener la idea de la existencia de incertidumbre y la propiedad caótica del clima. Al mismo tiempo, para la toma de decisiones políticas relacionadas con la temática del cambio climático es importante considerar un criterio de multimodelo



Emisiones globales de dióxido de carbono discriminadas según su origen

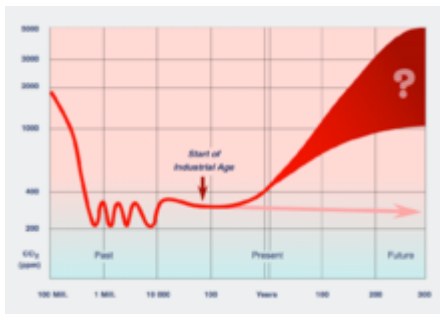
Cambios climáticos en el pasado

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 3800 millones de años, por lo que la paradoja del Sol débil solo puede explicarse por una atmósfera con mucha mayor concentración de CO_2 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 a 15 micrómetros, a la que la atmósfera ya no es transparente. El CO_2 , que en marzo de 2017 superó en la atmósfera las 405 ppm, absorbe dicha radiación.¹⁰⁵ 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.

Véase también: Equilibrio térmico de la Tierra

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, observándose 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 estos 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; este fenómeno aceleró el proceso de calentamiento hasta el límite y condujo a la Tierra a la peor extinción en masa que ha padecido.

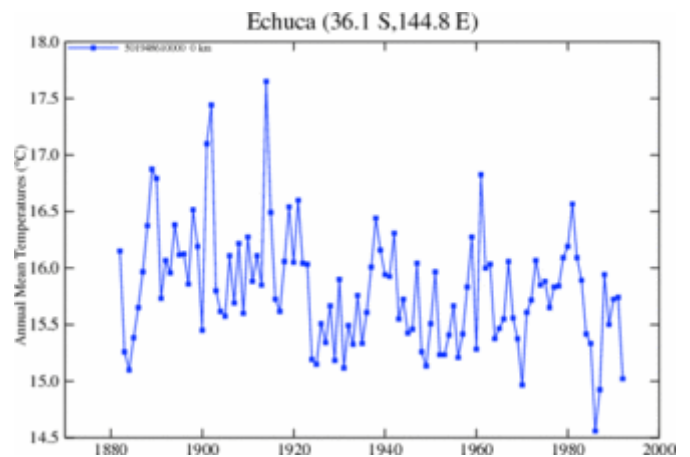
Véase también: Efecto invernadero

El CO_2 como regulador del clima

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 y algunos científicos predicen que en el futuro serán aún más calientes. Algunos expertos están de acuerdo en que este proceso tiene un origen antropogénico, 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. Paradojicamente la extensión del 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. Esto produce lo que se llama «efecto amplificador». De la misma manera, 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.



Echuca: Temperatura diaria promedio del aire en casilla meteo, de 1881 a 1992; según la NASA.

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 CO_2 , y emiten O_2 . Su acumulación en la atmósfera favoreció la aparición de los organismos aerobios que lo usan para respirar y devuelven CO_2 . El O_2 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 lo que quizá solo serían meros intercambiadores de esos gases. Sin embargo, estos estudios no tienen en cuenta que la absorción de CO_2 no se realiza solamente en el crecimiento y producción de la biomasa vegetal, sino también en la producción de energía que hace posible las funciones vitales de las plantas, energía que pasa a la atmósfera o al océano en forma de calor y que contribuye al proceso del ciclo hidrológico. 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 CO_2 .

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^{106 107} 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, probablemente, hace unos tres millones de años. Desde hace unos dos millones, la Tierra ha sufrido glaciaciones en las que gran parte de Norteamérica, Europa y el norte de Asia 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 glaciar acabó hace unos quince mil años y dio lugar a un cambio

fundamental en los hábitos del hombre, que desarrolló el conocimiento necesario para domesticar plantas (agricultura) y animales (ganadería) como el perro. La mejora de las condiciones térmicas facilitó el paso del Paleolítico al Neolítico hace unos diez mil años. Para entonces, el hombre ya era capaz de construir pequeñas aldeas dentro de un marco social bastante complejo.

No fue hasta 1941 que el matemático y astrónomo serbio Milutin Milanković propuso la teoría de que las variaciones orbitales de la Tierra causaron 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 solo 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.

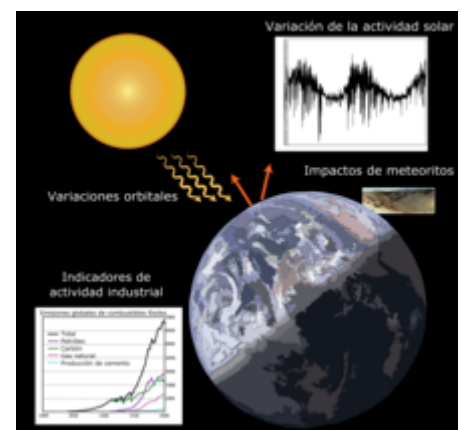
El cambio climático actual

Combustibles fósiles y calentamiento global

A finales del siglo XVII el ser humano empezó a utilizar combustibles fósiles que la Tierra había acumulado en el subsuelo durante su historia geológica.¹⁰⁸ La quema de petróleo, carbón y gas natural ha causado un aumento del CO_2 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) esta 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 (CO_2), existen otros gases de efecto invernadero responsables del calentamiento global, tales como el gas metano (CH_4) óxido nitroso (N_2O), Hidrofluorcarbonos (HFC), Perfluorcarbonos (PFC) y Hexafluoruro de azufre (SF_6), los cuales están contemplados en el Protocolo de Kioto

Los últimos años del siglo XX se caracterizaron por poseer temperaturas medias que son siempre las más altas del siglo.^[cita requerida]



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.

Rachel Kyte, vicepresidente para Desarrollo Sostenible del Banco Mundial anunció en el año 2013, que el costo económico por los desastres naturales aumentó cuatro veces desde 1980.¹⁰⁹

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 Terra estaba 8 °C más cálida.

Véanse 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 afectaran 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

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, este 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 este 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 Terra.
- En Marte la atmósfera tiene una presión de solo 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 estas 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 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 de las corrientes oceánicas.

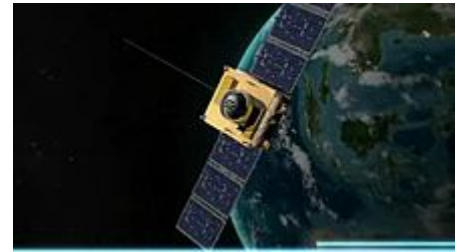
Con el ascenso de la temperatura global el agua en los océanos se expande. El agua de la tierra o de los glaciares pasa a estar en los océanos, como por ejemplo el caso de Groenlandia o las capas de hielo del océano Antártico. Las predicciones muestran que antes del 2050 el volumen de los glaciares disminuirá 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 25 a 44 cm 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 3 mm/año.

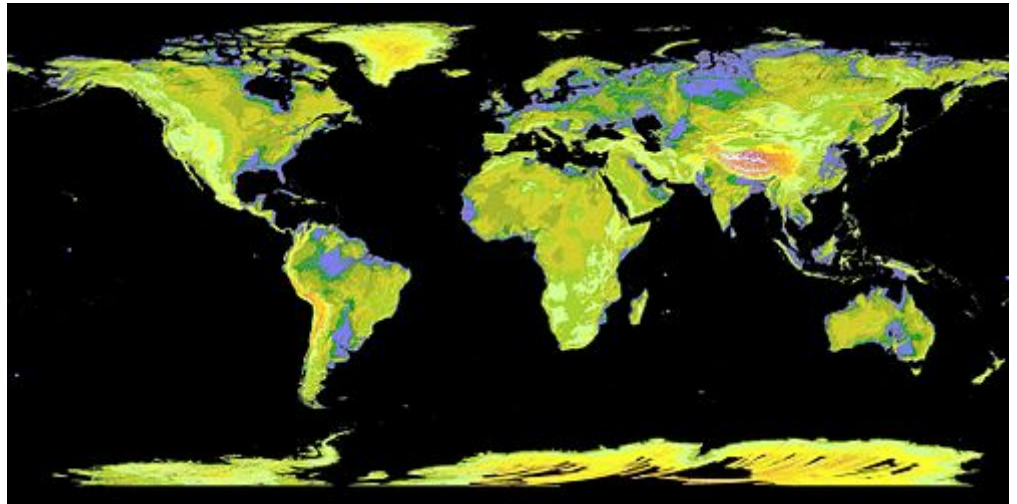
El nivel del mar ha aumentado más de 120 m desde el máximo de la última glaciación alrededor de 20000 años atrás. La mayor parte de ello ocurrió hace 7000 años. La temperatura global bajó después del Holoceno Climático, causando un descenso del nivel del mar de 70 cm (±10 cm entre el 2000 y el 500 a. C.).

Desde el 1000 a. C. hasta el principio del siglo XIX, el nivel del mar era casi constante, con solo 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 90 cm sobre el nivel actual en el año 300 d. C. (700 años del presente).

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 manera gradual y lineal sino que oscila repentinamente de un estado a otro según los registros geológicos. Es preocupante que los pronósticos de GEI con los que el IPCC trabaja habitualmente (BAU GHG o *business as usual greenhouse gases* en sus siglas en



Reproducir contenido multimedia
Magnetometers Can Measure the
Magnetic Fields of Planets



En este mapa, las zonas mostradas en púrpura son aquellas zonas vulnerables a la subida del nivel del mar

inglés) puedan causar unos aumentos del nivel del mar considerables.

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 temperatura del océano Antártico se elevó 0,17 °C entre los años cincuenta y ochenta. 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 ión 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.¹¹⁰

A una escala muchísimo más lenta, el ion 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 CO₂ una vez más, dentro del ciclo geoquímico del carbonato-silicato.¹¹⁰ 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 CO₂. 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, 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 significativamente, podría llevar a una situación oceánica deanoxia.

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.

Impacto en los pueblos indígenas

Los pueblos indígenas serán los primeros en sentirse afectados por el cambio climático, ya que su supervivencia depende de los recursos naturales de su entorno, y cualquier cambio, como por ejemplo sequías extremas, pueden amenazar su vida. Por la disminución del agua estos pueblos pierden su terreno cultural y forma de vida por generaciones, donde múltiples culturas han creado formas sociales, culturales y artísticas en torno al ecosistema.¹¹¹ causando un desplazamiento de pueblos indígenas a ciudades desarrolladas.

En un informe publicado en 2009, la ONG Survival International denunciaba el impacto de las medidas de mitigación del cambio climático sobre los pueblos indígenas, como los biocombustibles, la energía hidroeléctrica, la conservación de los bosques y la compensación de las emisiones de carbono.¹¹² Según el informe, dichas medidas facilitan a gobiernos y empresas violar sus derechos y reclamar y explotar sus tierras.

Proyecciones futuras del cambio climático del siglo XXI

En 2017, David Wallace-Wells¹¹³ realizó docenas de entrevistas con investigadores del clima, cuyos puntos de vista en gran medida representan el consenso científico sobre el próximo siglo más o menos. Su revisión proporciona una referencia lista y actualizada del impacto esperado del presente ciclo de alteraciones climáticas. Las predicciones más probables de las alteraciones climáticas contemporáneas incluyen:

- "En ausencia de un ajuste significativo de cómo miles de millones de humanos llevan a cabo sus vidas, es probable que partes de la Tierra se vuelvan inhabitables y otras partes horriblemente inhóspitas, tan pronto como a fines de este siglo".
- Miami, Bangladesh y otras bajas áreas costeras podrían perderse en este siglo.
- Ciudades como Karachi y Kolkata serán inhabitables.
- Las olas de calor y las sequías pueden causar disminuciones significativas en la productividad agrícola.
- Los vectores de enfermedad liberados por el derretimiento del hielo polar o por la expansión de los rangos geográficos de los vectores existentes podrían provocar el regreso de algunas plagas antiguas.
- Descensos significativos en las capacidades cognitivas humanas debido a la posible triplicación (al final del siglo) de los niveles de dióxido de carbono en la atmósfera.
- Cada año, los niveles crecientes de smog pueden causar millones de muertes prematuras.

Cultura popular

Cine

- Una verdad incómoda: El político estadounidense 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.
- La última hora: El actor estadounidense Leonardo DiCapri produce y narra este documental que trata el tema de la crisis ambiental actual, y de cómo establecer soluciones para salvar el planeta para las futuras generaciones.
- La gran estafa del calentamiento global: Documental de Martin Durkin producido por la cadena británica Channel 4 que cuestiona la influencia del hombre y el CO₂ en el calentamiento global.¹¹⁴ 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.¹¹⁵
- El día después 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.¹¹⁶
- Home ("Hogar" en español): es un documental dirigido por Yann Arthus-Bertrand y estrenado en 2009. La película está enteramente compuesta por vistas aéreas de diversos lugares alrededor del mundo junto a la voz de un narrador. Muestra la diversidad de la vida en La Tierra y cómo las actividades humanas se han convertido en una amenaza para el equilibrio ecológico del planeta.

Información cinematográfica sobre el cambio climático

- **La era de la estupidez**(The Age of Stupid). Franny Armstrong, GB, 2009.

Muestra una descarnada visión del desarrollo de la humanidad en el contexto de la catástrofe global.

- **Algol: la tragedia del poder**(Algol – Tragödie der Macht). Hans Werckmeister, Alemania, 1920.

La película muda alemana analiza el culto al progreso característico de la modernidad como una de las causas fundamentales del cambio climático.

- **Sobre el agua**(Über das Wasser). Udo Maurer, Austria/Luxemburgo, 2007.

Documental dedicado a tres diferentes lugares de la Tierra, sobre el significado existencial del elemento agua para la humanidad.

- **Recetas para el desastre**(Recipes for disaster). John Webster, Finlandia, 2008.

Preocupado por la adicción de nuestra civilización al petróleo y sus catastróficos efectos sobre el cambio climático, el cineasta convenció a su familia de hacer durante un año una “dieta petrolífera”. Con el objetivo de reducir su aporte a las emisiones de CO₂, hizo grandes descubrimientos transformándose en un hombre con una misión.

- **Wall-E** (Batallón de limpieza). Andrew Stanton, Walt Disney Pictures y Pixar Animation Studios. Estados Unidos, 2008. El medio ambiente puede deteriorarse y sufrir un cambio climático si no cuidamos la naturaleza. A través de imágenes y voces, prácticamente sin diálogo, esta película nos motiva a reflexionar que debemos preocuparnos, vincularnos y ocuparnos por el medio ambiente.
- **2012** (2012). Adrian Hemsley (Chiwetel Ejiofor) es un geólogo estadounidense que visita al astrofísico indio Satnam Tsurutani (Jimi Mistry) y descubre que los neutrinos de una enorme erupción solar han mutado y causan que la temperatura de la corteza terrestre aumente.
- **La hora 11** (The 11th hour). Leonardo Di Caprio, Warner Independent Picture. Estados Unidos, 2007. Describe el momento preciso en que es posible cambiar la crisis ecológica actual, se centra en fenómenos como la sequía, el hambre, las inundaciones o la lluvia ácida, algunas de las consecuencias que sufre el planeta a causa del cambio climático. Presenta soluciones prácticas para ayudar a cambiar la situación actual e incluso restaurar los ecosistemas de nuestro planeta.
- **La Era de Hielo 4**(ICE AGE Continental drift) The Century Fox. Esta película nos muestra un ejemplo de como es que se ha desarrollado el cambio climático en nuestro planeta a través de diferentes etapas, esto solo hace referencia al cambio climático natural que se deriva por factores como, la latitud , altitud, temperatura atmosférica, presión atmosférica, humedad y precipitaciones. Lo que nos deja ver que nuestro planeta por naturaleza sufrirá cambios constantes en su entorno, de ahí la importancia de cuidarlo ya que si a estos cambios le sumamos los factores humanos como contaminación, la lluvia ácida, y el calentamiento global, se generan cambios que logran alterar en gran manera nuestro ecosistema.

Literatura

- *Estado de miedo*: Novela tecno-thriller de Michael Crichton cuyo hilo conductor es el cambio climático como arma política. Ha recibido críticas de algunos autores como Myles Allen por su falta de rigor científico.¹¹⁷

Véase también

- Anexo:Lista de ciudades próximas al nivel del mar
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático
- Guerra climática
- Fenómeno meteorológico extremo
- Oscurecimiento global

Referencias

1. «Vocabulario climático» (http://www.acomet-web.com/vocabulario_climatico.pdf) AEC|ACOMET. Consultado el 27 de diciembre de 2018
2. «IPCC: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Anexo III Glossary» (https://archive.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_AnnexIII_FINAL.pdf). https://archive.ipcc.ch/report/ar5/wg1/index_es.shtml Consultado el 29 de diciembre de 2018
3. «Detection and Attribution of Climate Change: from Global to Regional» (https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5_Chapter10_FINAL.pdf) AR5 Synthesis Report: Climate Change 2014. Consultado el 27 de diciembre de 2018. Resumen divulgativo (http://www.miteco.gob.es/es/ceneam/recursos/rini-portal-es-tematicos/Cclimatico/informe_ipcc.aspx)
4. «Detection and Attribution of Climate Change» (<https://science2017.globalchange.gov/chapter/3/>) Climate Science Special Report Fourth National Climate Assessment (NCA4). Consultado el 27 de diciembre de 2018.
5. «Earth Science Missions | NASA Science» (https://climate.nasa.gov/nasa_science/missions/) Climate Change: Vital Signs of the Planet. Consultado el 1 de enero de 2019.
6. «ESA EO Missions - Earth Online - ESA» (<https://earth.esa.int/web/guest/missions/esa-eo-missions>) earth.esa.int Consultado el 1 de enero de 2019
7. Sandy P. Harrison Patrick J. Bartlein I. Colin Prentice. «What have we learnt from palaeoclimate simulations?» (<https://onlinelibrarywiley.com/doi/full/10.1002/jqs.2842>). *Journal of Quaternary Science*. doi:10.1002/jqs.2842 (<http://dx.doi.org/10.1002%2Fjqs.2842>). Consultado el 17 de junio de 2016
8. «Evaluation of Climate Models» (https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5_Chapter09_FINAL.pdf). IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Consultado el 27 de diciembre de 2018
9. «Climate Models, Scenarios, and Projections» (<https://science2017.globalchange.gov/chapter/4/>) Climate Science Special Report Fourth National Climate Assessment (NCA4). Consultado el 27 de diciembre de 2018.
10. Gareth S. Jones Peter A. Stott Nikolaos Christidis (12 de febrero de 2013). «Attribution of observed historical near-surface temperature variations to anthropogenic and natural causes using CMIP5 simulations» (<https://agupubs.onlinelibrarywiley.com/doi/full/10.1002/jgrd.50239>). *JGR: Atmospheres* doi:10.1002/jgrd.50239 (<http://dx.doi.org/10.1002%2Fjgrd.50239>).
11. M., Cronin, Thomas. *Paleoclimates : understanding climate change past and present* (<https://www.worldcat.org/oclc/778435829>) ISBN 9780231516365. OCLC 778435829 (<https://www.worldcat.org/oclc/778435829>). Consultado el 30 de diciembre de 2018
12. Maslin, Mark (2016-12). «In retrospect: Forty years of linking orbits to ice ages» (<https://www.nature.com/articles/540208a>). *Nature* (en inglés) **540** (7632): 208-210. ISSN 1476-4687 (<https://www.worldcat.org/issn/1476-4687>). doi:10.1038/540208a (<http://dx.doi.org/10.1038%2F540208a>). Consultado el 30 de diciembre de 2018
13. «The United Nations Framework Convention on Climate Change» (http://unfccc.int/essential_background/convention/background/items/1349.php) 21 de marzo de 1994. «Climate change means a change of climate which is attributed directly or indirectly to human activity that alters the composition of the global atmosphere and which is in addition to natural climate variability observed over comparable time periods.»
14. «What's in a Name? Global Warming vs. Climate Change» (http://www.nasa.gov/topics/earth/features/diagnosing_earth_climate_by_any_other_name.html) NASA. Consultado el 23 de julio de 2011
15. Naciones Unidas. «Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático» (<http://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf>) Consultado el 10 de marzo de 2016
16. Organización Meteorológica Mundial, ed. (2017). *Directrices de la Organización Meteorológica Mundial sobre el cálculo de las normales climáticas* (https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=20131). ISBN 978-92-63-311203-7 | isbn= incorrecto (ayuda). Consultado el 29 de diciembre de 2018
17. Schrag, Daniel P.; Berner, Robert A.; Hoffman, Paul F.; Halverson, Galen P. (2002). «On the initiation of a snowball Earth» (<https://agupubs.onlinelibrarywiley.com/doi/abs/10.1029/2001GC000219>) *Geochemistry, Geophysics, Geosystems* (en inglés) **3** (6): 1-21. ISSN 1525-2027 (<https://www.worldcat.org/issn/1525-2027>). doi:10.1029/2001GC000219 (<http://dx.doi.org/10.1029%2F2001GC000219>). Consultado el 29 de diciembre de 2018
18. «Assembly, configuration, and break-up history of Rodinia: A synthesis» (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301926807001635>) *Precambrian Research* (en inglés) **160** (1-2): 179-210. 5 de enero de 2008. ISSN 0301-9268 (<https://www.worldcat.org/issn/0301-9268>). doi:10.1016/j.precamres.2007.04.021 (<http://dx.doi.org/10.1016%2Fj.precamres.2007.04.021>). Consultado el 29 de diciembre de 2018
19. Kopp, Greg; Lean, Judith L. (2011). «A new, lower value of total solar irradiance: Evidence and climate significance» (<https://agupubs.onlinelibrarywiley.com/doi/abs/10.1029/2010GL045777>) *Geophysical Research Letters* (en inglés) **38** (1). ISSN 1944-8007 (<http://www.worldcat.org/issn/1944-8007>). doi:10.1029/2010GL045777 (<http://dx.doi.org/10.1029%2F2010GL045777>). Consultado el 1 de enero de 2019
20. Gray, L. J.; Beer, J.; Geller, M.; Haigh, J. D.; Lockwood, M.; Matthes, K.; Cubasch, U.; Fleitmann, D. et al. (2010). «Solar Influences on Climate» (<https://agupubs.onlinelibrarywiley.com/doi/abs/10.1029/2009RG000282>). *Reviews of Geophysics* (en inglés) **48** (4). ISSN 1944-9208 (<https://www.worldcat.org/issn/1944-9208>). doi:10.1029/2009RG000282 (<http://dx.doi.org/10.1029%2F2009RG000282>). Consultado el 1 de enero de 2019
21. Kopp, Greg (2014). «An assessment of the solar irradiance record for climate studies» (<https://www.swsc-journal.org/articles/swsc/abs/2014/01/swsc130036/swsc130036.html>) *Journal of Space Weather and Space Climate* (en inglés) **4**: A14. ISSN 2115-7251 (<https://www.worldcat.org/issn/2115-7251>). doi:10.1051/swsc/2014012 (<http://dx.doi.org/10.1051%2Fswsc%2F2014012>). Consultado el 1 de enero de 2019

22. Lean, J.; Wu, C. J.; Krivova, N.; Kopp, G. (1 de noviembre de 2016). «The Impact of the Revised Sunspot Record on Solar Irradiance Reconstructions» (<https://link.springer.com/article/10.1007/s11207-016-0853-x>). *Solar Physics* (en inglés) **291** (9-10): 2951-2965. ISSN 1573-093X (<https://www.worldcat.org/issn/1573-093X>). doi:10.1007/s11207-016-0853-x (<http://dx.doi.org/10.1007/s11207-016-0853-x>). Consultado el 1 de enero de 2019
23. Kopp, Greg; Lean, Judith L. (2011). «A new, lower value of total solar irradiance: Evidence and climate significance» (<https://agupubs.onlinelibrarywiley.com/doi/abs/10.1029/2010GL045777>) *Geophysical Research Letters* (en inglés) **38** (1). ISSN 1944-8007 (<http://www.worldcat.org/issn/1944-8007>). doi:10.1029/2010GL045777 (<http://dx.doi.org/10.1029/2010GL045777>). Consultado el 1 de enero de 2019
24. Científicas, SINC Servicio de Información y Noticias (11 de diciembre de 2018). «Primer análisis completo de la actividad solar de los últimos 400 años» (<http://www.agenciasinc.es/Noticias/Primer-analisis-completo-de-la-actividad-solar-de-los-ultimos-400-anos>) *www.agenciasinc.es*. Consultado el 1 de enero de 2019.
25. «The Impact of Different Absolute Solar Irradiance Values on Current Climate Model Simulations» (<https://journals.ametsoc.org/action/captchaChallenge?redirectUrl=https%3A%2F%2Fjournals.ametsoc.org%2Fdoi%2F10.1175%2FJCLI-D-13-00136.1&journals.ametsoc.org> doi:10.1175/jcli-d-13-00136.1 (<http://dx.doi.org/10.1175%2Fjcli-d-13-00136.1>). Consultado el 1 de enero de 2019.
26. Lean, Judith (1 de septiembre de 1997). «The sun's variable radiation and its relevance for earth» (<https://www.annualreviews.org/doi/10.1146/annurev.astro.35.1.33>). *Annual Review of Astronomy and Astrophysics* **35** (1): 33-67. ISSN 0066-4146 (<https://www.worldcat.org/issn/0066-4146>). doi:10.1146/annurev.astro.35.1.33 (<http://dx.doi.org/10.1146/annurev.astro.35.1.33>). Consultado el 1 de enero de 2019.
27. USGCRP «Climate Science Special Report» (<https://science2017.globalchange.gov/chapter/2/>) *science2017.globalchange.gov* (en inglés). Consultado el 1 de enero de 2019
28. «SUSIM'S 11-year observational record of the solar UV irradiance» (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0273117703001480>) *Advances in Space Research* (en inglés) **31** (9): 2111-2120. 1 de mayo de 2003. ISSN 0273-1177 (<https://www.worldcat.org/issn/0273-1177>). doi:10.1016/S0273-1177(03)00148-0 ([http://dx.doi.org/10.1016/S0273-1177\(03\)00148-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0273-1177(03)00148-0)). Consultado el 1 de enero de 2019.
29. *journals.ametsoc.org* doi:10.1175/2009jas2866.1 (<http://dx.doi.org/10.1175/2009jas2866.1>) [https://journals.ametsoc.org/action/captchaChallenge?redirectUrl=https%3A%2F%2Fjournals.ametsoc.org%2Fdoi%2F10.1175%2F2009JAS2866.1&https://journals.ametsoc.org/action/captchaChallenge?redirectUrl=https%3A%2F%2Fjournals.ametsoc.org%2Fdoi%2F10.1175%2F2009JAS2866.1&url=sin%20t%C3%ADtulo%20\(ayuda\)](https://journals.ametsoc.org/action/captchaChallenge?redirectUrl=https%3A%2F%2Fjournals.ametsoc.org%2Fdoi%2F10.1175%2F2009JAS2866.1&https://journals.ametsoc.org/action/captchaChallenge?redirectUrl=https%3A%2F%2Fjournals.ametsoc.org%2Fdoi%2F10.1175%2F2009JAS2866.1&url=sin%20t%C3%ADtulo%20(ayuda)). Consultado el 1 de enero de 2019
30. «Associations between the 11-year solar cycle, the QBO and the atmosphere. Part I: the troposphere and stratosphere in the northern hemisphere in winter» (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0021916988900682>). *Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics* (en inglés) **50** (3): 197-206. 1 de marzo de 1988. ISSN 0021-9169 (<https://www.worldcat.org/issn/0021-9169>) doi:10.1016/0021-9169(88)90068-2 ([http://dx.doi.org/10.1016/0021-9169\(88\)90068-2](http://dx.doi.org/10.1016/0021-9169(88)90068-2)). Consultado el 1 de enero de 2019.
31. Gray, L. J.; Beer, J.; Geller, M.; Haigh, J. D.; Lockwood, M.; Matthes, K.; Cubasch, U.; Fleitmann, D. *et al.* (30 de octubre de 2010). «SOLAR INFLUENCES ON CLIMATE» (<http://dx.doi.org/10.1029/2009rg000282>) *Reviews of Geophysics* **48** (4). ISSN 8755-1209 (<https://www.worldcat.org/issn/8755-1209>). doi:10.1029/2009rg000282 (<http://dx.doi.org/10.1029/2009rg000282>). Consultado el 1 de enero de 2019
32. «La Oscilación Casi Biental» (<http://www.divulgameteo.es/ampliab/4/1383/La-Oscilacion-Casi-Biental.html>) *www.divulgameteo.es*. Consultado el 1 de enero de 2019.
33. Sloan, T.; Wolfendale, A. W. (2013). «Cosmic rays, solar activity and the climate» (<http://stacks.iop.org/1748-9326/8/i=4/a=045022>) *Environmental Research Letters* (en inglés) **8** (4): 045022. ISSN 1748-9326 (<https://www.worldcat.org/issn/1748-9326>). doi:10.1088/1748-9326/8/4/045022 (<http://dx.doi.org/10.1088/1748-9326/8/4/045022>). Consultado el 1 de enero de 2019
34. Wolfendale, A. W.; Sloan, T.; Erlykin, A. D. (1 de agosto de 2013). «A review of the relevance of the 'CLOUD' results and other recent observations to the possible effect of cosmic rays on the terrestrial climate» (<https://link.springer.com/article/10.1007/s00703-013-0260-x>). *Meteorology and Atmospheric Physics* (en inglés) **121** (3-4): 137-142. ISSN 1436-5065 (<https://www.worldcat.org/issn/1436-5065>). doi:10.1007/s00703-013-0260-x (<http://dx.doi.org/10.1007/s00703-013-0260-x>). Consultado el 1 de enero de 2019
35. Benestad, Rasmus E. (2013). «Are there persistent physical atmospheric responses to galactic cosmic rays?» (<http://stacks.iop.org/1748-9326/8/i=3/a=035049>). *Environmental Research Letters* (en inglés) **8** (3): 035049. ISSN 1748-9326 (<https://www.worldcat.org/issn/1748-9326>). doi:10.1088/1748-9326/8/3/035049 (<http://dx.doi.org/10.1088/1748-9326/8/3/035049>). Consultado el 1 de enero de 2019
36. Dunne, Eimear M.; Čalogović, Jaša; Pallé, Enric; Laken, Benjamin A. (2012). «A cosmic ray-climate link and cloud observations» (<https://www.swsc-journal.org/articles/swsc/abs/2012/01/swsc120049/swsc120049.html>). *Journal of Space Weather and Space Climate* (en inglés) **2**: A18. ISSN 2115-7251 (<https://www.worldcat.org/issn/2115-7251>). doi:10.1051/swsc/2012018 (<http://dx.doi.org/10.1051/swsc/2012018>). Consultado el 1 de enero de 2019.
37. Read "Radiative Forcing of Climate Change: Expanding the Concept and Addressing Uncertainties" at NAP.edu (<https://www.nap.edu/read/11175/chapter/5>) (en inglés). Consultado el 2 de enero de 2019
38. Tamino (Grant Foster). «Wobbles» (<http://web.archive.org/web/20080501124634/tamino.wordpress.com/2007/11/19/wobbles-part-1/>) Archivado desde el original (<http://tamino.wordpress.com/2007/11/19/wobbles-part-1/>) el |urlarchivo= requiere |fechaarchivo= (ayuda).
39. Heuvel, Van Den; J, E. P. (1 de noviembre de 1966). «On the Precession as a Cause of Pleistocene Variations of the Atlantic Ocean Water Temperatures» (<https://academic.oup.com/gji/article/11/3/323/663422>) *Geophysical Journal International* (en inglés) **11** (3): 323-336. ISSN 0956-540X (<https://www.worldcat.org/issn/0956-540X>). doi:10.1111/j.1365-246X.1966.tb03086.x (<http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-246X.1966.tb03086.x>)

- g/10.1111%2Fj.1365-246X.1966.tb03086.x). Consultado el 4 de enero de 2019
40. Huybers, Peter; Raymo, Maureen E. (2008-01). «Unlocking the mysteries of the ice ages» (<https://www.nature.com/articles/nature06589>) *Nature* (en inglés) **451** (7176): 284-285. ISSN 1476-4687 (<https://www.worldcat.org/issn/1476-4687>). doi:10.1038/nature06589 (<http://dx.doi.org/10.1038%2Fnature06589>). Consultado el 4 de enero de 2019.
 41. Wu, H.; Williams, J.; Vau, A. E.; Thompson, R. S.; Sugita, S.; Shuman, B.; Seppä, H.; Scholze, M. *et al.* (1 de agosto de 2011). «Pollen-based continental climate reconstructions at 6 and 21 ka: a global synthesis» (<https://link.springer.com/article/10.1007/s00382-010-0904-1>) *Climate Dynamics* (en inglés) **37** (3-4): 775-802. ISSN 1432-0894 (<https://www.worldcat.org/issn/1432-0894>). doi:10.1007/s00382-010-0904-1 (<http://dx.doi.org/10.1007%2Fs00382-010-0904-1>). Consultado el 2 de enero de 2019.
 42. NOAA. «Mid-Holocene Warm Period – About 6,000 Years Ago» (<https://web.archive.org/web/20181105054052/https://www.ncdc.noaa.gov/global-warming/mid-holocene-warm-period>) Archivado desde el original (<http://www.ncdc.noaa.gov/global-warming/mid-holocene-warm-period>) el `|urlarchivo=` requiere `|fechaarchivo=(ayuda)`.
 43. «Green Sahara: African Humid Periods Paced by Earth's Orbital Changes | Learn Science at Scitable» (<https://www.nature.com/scitable/knowledge/library/green-sahara-african-humid-periods-paced-by-82884405>) *www.nature.com*. Consultado el 4 de enero de 2019
 44. Members, Arctic Lakes 2k Project; Vinther, Bo M.; Overpeck, Jonathan T.; Otto-Bliesner, Bette L.; Miller, Gifford H.; Briffa, Keith R.; Bradley, Raymond S.; Ammann, Caspar M. *et al.* (4 de septiembre de 2009). «Recent Warming Reverses Long-Term Arctic Cooling» (<http://science.sciencemag.org/content/325/5945/1236>) *Science* (en inglés) **325** (5945): 1236-1239. ISSN 1095-9203 (<https://www.worldcat.org/issn/1095-9203>). PMID 19729653 (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19729653>). doi:10.1126/science.1173983 (<http://dx.doi.org/10.1126%2Fscience.1173983>). Consultado el 2 de enero de 2019
 45. Brewer, Simon; Shafer, Sarah L.; Bartlein, Patrick J.; Shuman, Bryan N.; Marsicek, Jeremiah (2018-02). «Reconciling divergent trends and millennial variations in Holocene temperatures» (<https://www.nature.com/articles/nature25464>) *Nature* (en inglés) **554** (7690): 92-96. ISSN 1476-4687 (<https://www.worldcat.org/issn/1476-4687>). doi:10.1038/nature25464 (<http://dx.doi.org/10.1038%2Fnature25464>). Consultado el 2 de enero de 2019
 46. «The role of orbital forcing in the Early Middle Pleistocene Transition» (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1040618215000701>) *Quaternary International* (en inglés) **389**: 47-55. 2 de diciembre de 2015. ISSN 1040-6182 (<https://www.worldcat.org/issn/1040-6182>). doi:10.1016/j.quaint.2015.01.047 (<http://dx.doi.org/10.1016%2Fj.quaint.2015.01.047>). Consultado el 2 de enero de 2019.
 47. Maslin, Mark (2016-12). «In retrospect: Forty years of linking orbits to ice ages» (<https://www.nature.com/articles/540208a>) *Nature* (en inglés) **540** (7632): 208-210. ISSN 1476-4687 (<https://www.worldcat.org/issn/1476-4687>). doi:10.1038/540208a (<http://dx.doi.org/10.1038%2F540208a>). Consultado el 2 de enero de 2019
 48. Huybers, Peter (28 de julio de 2006). «Early Pleistocene Glacial Cycles and the Integrated Summer Insolation Forcing» (<http://science.sciencemag.org/content/313/5786/508>) *Science* (en inglés) **313** (5786): 508-511. ISSN 1095-9203 (<https://www.worldcat.org/issn/1095-9203>). PMID 16794041 (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16794041>). doi:10.1126/science.1125249 (<http://dx.doi.org/10.1126%2Fscience.1125249>). Consultado el 4 de enero de 2019.
 49. Huybers, Peter; Raymo, Maureen E. (2008-01). «Unlocking the mysteries of the ice ages» (<https://www.nature.com/articles/nature06589>) *Nature* (en inglés) **451** (7176): 284-285. ISSN 1476-4687 (<https://www.worldcat.org/issn/1476-4687>). doi:10.1038/nature06589 (<http://dx.doi.org/10.1038%2Fnature06589>). Consultado el 4 de enero de 2019.
 50. Shackleton, N. J.; Imbrie, John; Hays, J. D. (10 de diciembre de 1976). «Variations in the Earth's Orbit: Pacemaker of the Ice Ages» (<http://science.sciencemag.org/content/194/4270/1121>) *Science* (en inglés) **194** (4270): 1121-1132. ISSN 1095-9203 (<https://www.worldcat.org/issn/1095-9203>). PMID 17790893 (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17790893>). doi:10.1126/science.194.4270.1121 (<http://dx.doi.org/10.1126%2Fscience.194.4270.1121>). Consultado el 2 de enero de 2019
 51. «Milankovitch Orbital Data Viewer» (<http://biocycle.atmos.colostate.edu/shiny/Milankovitch/>) *biocycle.atmos.colostate.edu* Consultado el 4 de enero de 2019.
 52. «Jupiter and Venus Change Earth's Orbit Every 405,000 Years» (<https://www.universetoday.com/139198/jupiter-and-venus-change-earths-orbit-every-405000-years/>). *Universe Today* (en inglés estadounidense) 10 de mayo de 2018 Consultado el 4 de enero de 2019
 53. Paillard, Didier (28 de julio de 2006). «What Drives the Ice Age Cycle?» (<http://science.sciencemag.org/content/313/5786/455>) *Science* (en inglés) **313** (5786): 455-456. ISSN 1095-9203 (<https://www.worldcat.org/issn/1095-9203>). PMID 16873636 (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16873636>). doi:10.1126/science.1131297 (<http://dx.doi.org/10.1126%2Fscience.1131297>). Consultado el 4 de enero de 2019.
 54. Lisiecki, Lorraine E. (2010-05). «Links between eccentricity forcing and the 100,000-year glacial cycle» (<https://www.nature.com/articles/ngeo828>) *Nature Geoscience* (en inglés) **3** (5): 349-352. ISSN 1752-0908 (<https://www.worldcat.org/issn/1752-0908>). doi:10.1038/ngeo828 (<http://dx.doi.org/10.1038%2Fng828>). Consultado el 4 de enero de 2019.
 55. Huybers, Peter (2011-12). «Combined obliquity and precession pacing of late Pleistocene deglaciations» (<https://www.nature.com/articles/nature10626>) *Nature* (en inglés) **480** (7376): 229-232. ISSN 1476-4687 (<https://www.worldcat.org/issn/1476-4687>). doi:10.1038/nature10626 (<http://dx.doi.org/10.1038%2Fnature10626>). Consultado el 4 de enero de 2019.
 56. Blatter, Heinz; Takahashi, Kunio; Okuno, Jun'ichi; Raymo, Maureen E.; Kawamura, Kenji; Saito, Fuyuki; Abe-Ouchi, Ayako (2013-08). «Insolation-driven 100,000-year glacial cycles and hysteresis of ice-sheet volume» (<https://www.nature.com/articles/nature12374>) *Nature* (en inglés) **500** (7461): 190-193. ISSN 1476-4687 (<https://www.worldcat.org/issn/1476-4687>). doi:10.1038/nature12374 (<http://dx.doi.org/10.1038%2Fnature12374>). Consultado el 4 de enero de 2019.
 57. Marshall, Shawn J. (2013-08). «Climate science: Solution proposed for ice-age mystery» (<https://www.nature.com/articles/500159a>) *Nature* (en inglés) **500** (7461): 159-160. ISSN 1476-4687 (<https://www.worldcat.org/issn/1476-4687>). doi:10.1038/nature12374 (<http://dx.doi.org/10.1038%2Fnature12374>). Consultado el 4 de enero de 2019.

- sn/1476-4687). doi:10.1038/500159a (<http://dx.doi.org/10.1038%2F500159a>). Consultado el 4 de enero de 2019
58. Feng, Fabo; Bailer-Jones, C. A. L. (8 de mayo de 2015). «Obliquity and precession as pacemakers of Pleistocene deglaciations» (<http://arxiv.org/abs/1505.02183>). *arXiv:1505.02183 [astro-ph, physics:physics]*. Consultado el 4 de enero de 2019
 59. «The role of orbital forcing in the Early Middle Pleistocene Transition» (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1040618215000701>) *Quaternary International* (en inglés) **389**: 47-55. 2 de diciembre de 2015. ISSN 1040-6182 (<https://www.worldcat.org/issn/1040-6182>). doi:10.1016/j.quaint.2015.01.047 (<http://dx.doi.org/10.1016%2Fj.quaint.2015.01.047>). Consultado el 4 de enero de 2019.
 60. Lee, Jung-Eun; Shen, Aaron; Fox-Kemper, Baylor; Ming, Yi (2017). «Hemispheric sea ice distribution sets the glacial tempo» (<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/2016GL071307>) *Geophysical Research Letters* (en inglés) **44** (2): 1008-1014. ISSN 1944-8007 (<https://www.worldcat.org/issn/1944-8007>). doi:10.1002/2016GL071307 (<http://dx.doi.org/10.1002%2F2016GL071307>). Consultado el 4 de enero de 2019
 61. Fleming, James Rodger (2006). «James Croll in Context: The Encounter between Climate Dynamics and Geology in the Second Half of the Nineteenth Century'» (http://www.meteorhistory.org/2006historyofmeteorology3/3fleming_croll.pdf) *History of Meteorology*. Consultado el 6 de febrero de 2019
 62. Sugden, David E. (2014/12). «James Croll (1821–1890): ice, ice ages and the Antarctic connection» (<http://www.cambridge.org/core/journals/antarcticscience/article/james-croll-18211890-ice-ice-ages-and-the-antarctic-connection/5A73093AF327263AC0E022B6992B54E6>). *Antarctic Science* (en inglés) **26** (6): 604-613. ISSN 1365-2079 (<https://www.worldcat.org/issn/1365-2079>). doi:10.1017/S095410201400008X (<http://dx.doi.org/10.1017%2FS095410201400008X>). Consultado el 6 de enero de 2019.
 63. «Ice Ages — John Imbrie, Katherine Palmer Imbrie | Harvard University Press» (<http://www.hup.harvard.edu/catalog.php?isbn=9780674440753>) *www.hup.harvard.edu* (en inglés). Consultado el 6 de enero de 2019.
 64. «Past Climate Cycles: Ice Age Speculations» (<https://history.aip.org/history/climate/cycles.htm>) *history.aip.org*. Consultado el 6 de enero de 2019
 65. Krüger, Tobias (17 de junio de 2013). *Discovering the Ice Ages: International Reception and Consequences for a Historical Understanding of Climate* (<https://brill.com/view/title/22701>) (en inglés). BRILL. ISBN 9789004241701. Consultado el 6 de enero de 2019.
 66. Canfield, Donald E.; Bian, Lizeng; Zhang, Baomin; Connelly, James N.; Bjerrum, Christian J.; Costa, M. Mafalda; Wang, Huajian; Hammarlund, Emma U. *et al.* (24 de marzo de 2015). «Orbital forcing of climate 1.4 billion years ago» (<https://www.pnas.org/content/112/12/E1406>). *Proceedings of the National Academy of Sciences* (en inglés) **112** (12): E1406-E1413. ISSN 1091-6490 (<https://www.worldcat.org/issn/1091-6490>). PMID 25775605 (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25775605>). doi:10.1073/pnas.1502239112 (<http://dx.doi.org/10.1073%2Fpnas.1502239112>). Consultado el 2 de enero de 2019
 67. «Ghosts of Climates Past – Part Six – “Hypotheses Abound”» (<https://scienceofdoom.com/2013/11/11/ghosts-of-climates-past-part-six-hypotheses-abound/>) *The Science of Doom* (en inglés). 11 de noviembre de 2013. Consultado el 6 de enero de 2019
 68. «Interglacials of the last 800,000 years» (<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/2015RG000482>). *Reviews of Geophysics* (en inglés) **54** (1): 162-219. 2016. ISSN 1944-9208 (<https://www.worldcat.org/issn/1944-9208>). doi:10.1002/2015RG000482 (<http://dx.doi.org/10.1002%2F2015RG000482>). Consultado el 6 de enero de 2019.
 69. «Milankovitch Cycles, Paleoclimatic Change, and Hominin Evolution | Learn Science at Scitable» (<https://www.nature.com/scitable/knowledge/library/milankovitch-cycles-paleoclimatic-change-and-hominin-evolution-68244581>). *www.nature.com*. Consultado el 6 de enero de 2019.
 70. Skinner, L. C.; Kleiven, H. F.; Hodell, D. A.; Channell, J. E. T.; Tzedakis, P. C. (2012-02). «Determining the natural length of the current interglacial» (<https://www.nature.com/articles/ngeo1358>) *Nature Geoscience* (en inglés) **5** (2): 138-141. ISSN 1752-0908 (<https://www.worldcat.org/issn/1752-0908>). doi:10.1038/ngeo1358 (<http://dx.doi.org/10.1038%2Fng1358>). Consultado el 6 de enero de 2019.
 71. Berger, A.; Loutre, M. F. (1 de julio de 2000). «Future Climatic Changes: Are We Entering an Exceptionally Long Interglacial?» (<https://link.springer.com/article/10.1023/A:1005559827189>) *Climatic Change* (en inglés) **46** (1-2): 61-90. ISSN 1573-1480 (<https://www.worldcat.org/issn/1573-1480>). doi:10.1023/A:1005559827189 (<http://dx.doi.org/10.1023%2FA%3A1005559827189>). Consultado el 6 de enero de 2019.
 72. Archer, David; Ganopolski, Andrey (2005). «A movable trigger: Fossil fuel CO2 and the onset of the next glaciation» (<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/2004GC000891>) *Geochemistry, Geophysics, Geosystems* (en inglés) **6** (5). ISSN 1525-2027 (<https://www.worldcat.org/issn/1525-2027>). doi:10.1029/2004GC000891 (<http://dx.doi.org/10.1029%2F2004GC000891>). Consultado el 6 de enero de 2019
 73. Wang, Zhaomin; Mysak, Lawrence A.; Cochelin, Anne-Sophie B. (1 de diciembre de 2006). «Simulation of long-term future climate changes with the green McGill paleoclimate model: the next glacial inception» (<https://link.springer.com/article/10.1007/s10584-0069099-1>). *Climatic Change* (en inglés) **79** (3-4): 381-401. ISSN 1573-1480 (<https://www.worldcat.org/issn/1573-1480>). doi:10.1007/s10584-006-9099-1 (<http://dx.doi.org/10.1007%2Fs10584-006-9099-1>). Consultado el 6 de enero de 2019
 74. «Interglacials of the last 800,000 years» (<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/2015RG000482>). *Reviews of Geophysics* (en inglés) **54** (1): 162-219. 2016. ISSN 1944-9208 (<https://www.worldcat.org/issn/1944-9208>). doi:10.1002/2015RG000482 (<http://dx.doi.org/10.1002%2F2015RG000482>). Consultado el 6 de enero de 2019.
 75. Smit, Jan; Mundil, Roland; Morgan, Leah E.; Mitchell, William S.; Mark, Darren F.; Kuiper, Klaudia F.; Hilgen, Frederik J.; Deino, Alan L. *et al.* (8 de febrero de 2013). «Time Scales of Critical Events Around the Cretaceous-Paleogene Boundary» (<http://science.sciencemag.org/content/339/6120/684>) *Science* (en inglés) **339** (6120): 684-687. ISSN 1095-9203 (<https://www.worldcat.org/issn/1095-9203>). PMID 23393261 (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23393261>). doi:10.1126/science.1230492 (<http://dx.doi.org/10.1126%2Fscience.1230492>). Consultado el 7 de enero de 2019.
 76. Michel, Helen V.; Asaro, Frank; Alvarez, Walter; Alvarez, Luis W. (6 de junio de 1980). «Extraterrestrial Cause for the Cretaceous-Tertiary Extinction» (<http://science.sciencemag.org/content/208/4448/1095>) *Science* (en inglés) **208** (4448): 1095-1108. ISSN 1095-9203 (<https://www.worldcat.org/issn/1095-9203>).

- PMID 17783054 (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17783054>). doi:10.1126/science.208.4448.1095 (<http://dx.doi.org/10.1126%2Fscience.208.4448.1095>). Consultado el 7 de enero de 2019.
77. Willumsen, Pi S.; Whalen, Michael T.; Vajda, Vivi; Urrutia-Fucugauchi, Jaime; Sweet, Arthur R.; Speijer, Robert P.; Salge, Tobias; Robin, Eric *et al.* (5 de marzo de 2010). «The Chicxulub Asteroid Impact and Mass Extinction at the Cretaceous-Paleogene Boundary» (<http://science.sciencemag.org/content/327/5970/1214>) *Science* (en inglés) **327** (5970): 1214-1218. ISSN 1095-9203 (<https://www.worldcat.org/issn/1095-9203>). PMID 20203042 (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20203042>). doi:10.1126/science.1177265 (<http://dx.doi.org/10.1126%2Fscience.1177265>). Consultado el 7 de enero de 2019
 78. Melosh, H. J. (2007). *Comet/Asteroid Impacts and Human Society* (https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-540-32711-0_12) (en inglés). Springer, Berlin, Heidelberg. pp. 211-224. ISBN 9783540327097. doi:10.1007/978-3-540-32711-0_12 (http://dx.doi.org/10.1007%2F978-3-540-32711-0_12). Consultado el 7 de enero de 2019.
 79. Toon, Owen B.; Zahnle, Kevin; Morrison, David; Turco, Richard P.; Covey, Curt (1997). «Environmental perturbations caused by the impacts of asteroids and comets» (<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/96RG03038>) *Reviews of Geophysics* (en inglés) **35** (1): 41-78. ISSN 1944-9208 (<https://www.worldcat.org/issn/1944-9208>). doi:10.1029/96RG03038 (<http://dx.doi.org/10.1029%2F96RG03038>). Consultado el 7 de enero de 2019.
 80. «The Chicxulub impact event and its environmental consequences at the Cretaceous-Tertiary boundary» (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0031018207003173>) *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology* (en inglés) **255** (1-2): 4-21. 2 de noviembre de 2007. ISSN 0031-0182 (<https://www.worldcat.org/issn/0031-0182>). doi:10.1016/j.palaeo.2007.02.037 (<http://dx.doi.org/10.1016%2Fj.palaeo.2007.02.037>). Consultado el 7 de enero de 2019
 81. Bobrowsky, Peter T., ed. (2007). *Comet/Asteroid Impacts and Human Society: An Interdisciplinary Approach* (<https://www.springer.com/la/book/9783540327097>) (en inglés). Springer-Verlag. ISBN 9783540327097. Consultado el 7 de enero de 2019.
 82. «Impact winter and the Cretaceous/Tertiary extinctions: Results of a Chicxulub asteroid impact model» (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0031018207003173>) *Earth and Planetary Science Letters* (en inglés) **128** (3-4): 719-725. 1 de diciembre de 1994. ISSN 0012-821X (<https://www.worldcat.org/issn/0012-821X>). doi:10.1016/0012-821X(94)90186-4 (<http://dx.doi.org/10.1016%2F0012-821X%2894%2990186-4>). Consultado el 7 de enero de 2019.
 83. «Global climatic effects of atmospheric dust from an asteroid or comet impact on Earth» (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0031018207003173>) *Global and Planetary Change* (en inglés) **9** (3-4): 263-273. 1 de diciembre de 1994. ISSN 0921-8181 (<https://www.worldcat.org/issn/0921-8181>). doi:10.1016/0921-8181(94)90020-5 (<http://dx.doi.org/10.1016%2F0921-8181%2894%2990020-5>). Consultado el 7 de enero de 2019
 84. Brugger, Julia; Feulner, Georg; Petri, Stefan (2017). «Baby, it's cold outside: Climate model simulations of the effects of the asteroid impact at the end of the Cretaceous» (<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/2016GL072241>) *Geophysical Research Letters* (en inglés) **44** (1): 419-427. ISSN 1944-8007 (<https://www.worldcat.org/issn/1944-8007>). doi:10.1002/2016GL072241 (<http://dx.doi.org/10.1002%2F2016GL072241>). Consultado el 7 de enero de 2019
 85. «Dinosaur-killing asteroid impact may have cooled Earth's climate more than previously thought» (<https://news.agu.org/press-release/dinosaur-killing-asteroid-impact-may-have-cooled-earths-climate-more-than-previously-thought/>). *AGU Newsroom* (en inglés estadounidense). Consultado el 7 de enero de 2019
 86. Kump, L. R.; Upchurch, G. R.; Royer, D. L.; Lomax, B. H.; Beerling, D. J. (11 de junio de 2002). «An atmospheric pCO₂ reconstruction across the Cretaceous-Tertiary boundary from leaf megafossils» (<https://www.pnas.org/content/99/12/7836>) *Proceedings of the National Academy of Sciences* (en inglés) **99** (12): 7836-7840. ISSN 1091-6490 (<https://www.worldcat.org/issn/1091-6490>). PMID 12060729 (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12060729>). doi:10.1073/pnas.122573099 (<http://dx.doi.org/10.1073%2Fpnas.122573099>). Consultado el 7 de enero de 2019
 87. Negra, M. H.; Sepúlveda, J.; Quinton, P. C.; MacLeod, K. G. (24 de mayo de 2018). «Postimpact earliest Paleogene warming shown by fish debris oxygen isotopes (El Kef, Tunisia)» (<http://science.sciencemag.org/content/early/2018/05/23/science.aap8525>) *Science* (en inglés): eaap8525. ISSN 1095-9203 (<https://www.worldcat.org/issn/1095-9203>). PMID 29794216 (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29794216>). doi:10.1126/science.aap8525 (<http://dx.doi.org/10.1126%2Fscience.aap8525>). Consultado el 7 de enero de 2019
 88. Lohmann, Kyger C.; Dutton, Andrea; Petersen, Sierra V. (5 de julio de 2016). «End-Cretaceous extinction in Antarctica linked to both Deccan volcanism and meteorite impact via climate change» (<https://www.nature.com/articles/ncomms12079>) *Nature Communications* (en inglés) **7**: 12079. ISSN 2041-1723 (<https://www.worldcat.org/issn/2041-1723>). doi:10.1038/ncomms12079 (<http://dx.doi.org/10.1038%2Fncnms12079>). Consultado el 7 de enero de 2019
 89. «On the causes of mass extinctions» (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0031018216306915>) *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology* (en inglés) **478**: 3-29. 15 de julio de 2017. ISSN 0031-0182 (<https://www.worldcat.org/issn/0031-0182>). doi:10.1016/j.palaeo.2016.11.005 (<http://dx.doi.org/10.1016%2Fj.palaeo.2016.11.005>). Consultado el 7 de enero de 2019
 90. Jin, Yu-gan; Jiang, Yao-fa; Zeng, Yong; Liu, Lu-jun; Liu, Xiao-lei; Tang, Yue-gang; Li, Wen-zhong; Mu, Lin *et al.* (9 de diciembre de 2011). «Calibrating the End-Permian Mass Extinction» (<http://science.sciencemag.org/content/334/6061/1367>) *Science* (en inglés) **334** (6061): 1367-1372. ISSN 1095-9203 (<https://www.worldcat.org/issn/1095-9203>). PMID 22096103 (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22096103>). doi:10.1126/science.1213454 (<http://dx.doi.org/10.1126%2Fscience.1213454>). Consultado el 7 de enero de 2019.
 91. Frese, Ralph R. B. von; Potts, Laramie V; Wells, Stuart B.; Leftwich, Timothy E.; Kim, Hyung Rae; Kim, Jeong Woo; Golynsky, Alexander V.; Hernandez, Orlando *et al.* (2009). «GRACE gravity evidence for an impact basin in Wilkes Land, Antarctica» (<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/2008GC002149>) *Geochemistry, Geophysics, Geosystems* (en inglés) **10** (2). ISSN 1525-2027 (<https://www.worldcat.org/issn/1525-2027>). doi:10.1029/2008GC002149 (<http://dx.doi.org/10.1029%2F2008GC002149>). Consultado el 7 de enero de 2019

92. «Geochronological constraints on the age of a Permo–Triassic impact event: U–Pb and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ results for the 40 km Araguainha structure of central Brazil» (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016703712001457>). *Geochimica et Cosmochimica Acta* (en inglés) **86**: 214–227. 1 de junio de 2012. ISSN 0016-7037 (<https://www.worldcat.org/issn/0016-7037>). doi:10.1016/j.gca.2012.03.005 (<http://dx.doi.org/10.1016/j.gca.2012.03.005>). Consultado el 7 de enero de 2019
93. Rocca, Maximiliano C. L.; Rampino, Michael R.; Presser, Jaime L. Báez (2017). «Geophysical evidence for a large impact structure on the Falkland (Malvinas) Plateau» (<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/ter.12269>). *Terra Nova* (en inglés) **29** (4): 233–237. ISSN 1365-3121 (<https://www.worldcat.org/issn/1365-3121>). doi:10.1111/ter.12269 (<http://dx.doi.org/10.1111/ter.12269>). Consultado el 7 de enero de 2019
94. Riccomini, Claudio; Warren, Lucas; Jourdan, Fred; Mendes, Pedro S. T.; Lana, Cris; Schmieder, Martin; Tohver, Eric (1 de julio de 2018). «End-Permian impactogenic earthquake and tsunami deposits in the intracratonic Paraná Basin of Brazil» (<https://pubs.geoscienceworld.org/gsa/gsabulletin/article-abstract/130/7-8/1099/525698/end-permian-impactogenic-earthquake-and-tsunami>). *GSA Bulletin* (en inglés) **130** (7-8): 1099–1120. ISSN 0016-7606 (<https://www.worldcat.org/issn/0016-7606>). doi:10.1130/B31626.1 (<http://dx.doi.org/10.1130/B31626.1>). Consultado el 7 de enero de 2019
95. «Biggest extinction in history caused by climate-changing meteor» (<https://phys.org/news/2013-08-biggest-extinction-history-climate-changing-meteor.html>). *phys.org* (en inglés estadounidense). Consultado el 7 de enero de 2019
96. Voosen, Paul (9 de noviembre de 2018). «Massive crater under Greenland's ice points to climate-altering impact in the time of humans» (<https://www.sciencemag.org/news/2018/11/massivecrater-under-greenland-s-ice-points-climate-altering-impact-time-humans>). *Science | AAAS* (en inglés). Consultado el 7 de enero de 2019
97. «Research suggests toward end of Ice Age, humans witnessed fires larger than dinosaur killer, thanks to a cosmic impact» (<https://phys.org/news/2018-02-ice-age-human-witnessed-larger.html>). *phys.org* (en inglés estadounidense). Consultado el 7 de enero de 2019
98. «Cambio Climático» (http://www.wwf.org.mx/que_hace_mos/cambio_climatico_y_energia/)
99. Kintisch, Eli (24 de febrero de 2006). «Evangelists Reach Common Ground on Climate Change» (<http://www.sciencemag.org/cgi/reprint/311/5764/1082a.pdf>) (pdf). *Science* (en inglés) (AAAS) **311** (5764): 1082–1083. ISSN 0028-0836 (<https://www.worldcat.org/issn/0028-0836>). doi:10.1126/science.311.5764.1082a (<http://dx.doi.org/10.1126/science.311.5764.1082a>). Consultado el 6 de julio de 2009.
100. «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.
101. IPCC, 2007a Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
102. IPCC, 2007b: Climate Change 2007: Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
103. ARAKAWA, A. y W. H. Schubert, 1974: «Interaction of a cumulus cloud ensemble with the large scale environment (part I)», en *J. Atmos. Sci.*, n.º 31, págs. 674–701. (en inglés)
104. LORENZ, E. (1963): «Deterministic nonperiodic flow», en *J. Atmos. Sci.*, n.º 20, págs. 130–141.
105. Trends in Atmospheric Carbon Dioxide, Up-to-date weekly average CO₂ at Mauna Loa (<http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/weekly.html>). Earth System Research Laboratory. Consultado el 21 de marzo de 2015
106. en:Open University
107. Open.ac.uk/Earth-Sciences(<https://web.archive.org/web/20090316071408/http://www3.open.ac.uk/earth-sciences/downloads/Press%20Release.pdf>)
108. «El agua jaquea a las ciudades y sus hombres» (http://www.revistaenlinea.clarin.com/ideas/agua-jaquea-ciudades-s-hombres_0_900509956.html) *Margarita Gascon*. 15 de abril de 2013. Consultado el 15 de abril de 2013
109. «Aumenta cuatro veces el costo económico por los desastres naturales» (<http://www.lanacion.com.ar/1640076-aumenta-cuatro-veces-el-costo-economico-por-los-desastres-naturales>) Consultado el 21 de noviembre de 2013.
110. Jaramillo, Víctor J. «El ciclo global del carbono» (<http://web.archive.org/web/20090328130933/http://www.inecologia.gob.mx/ueaje/publicaciones/libros/437/jaramillo.html>). México: Instituto Nacional de Ecología. Archivado desde el original (<http://www.inecologia.gob.mx/ueaje/publicaciones/libros/437/jaramillo.html>) el 28 de marzo de 2009. Consultado el 1 de agosto de 2009
111. [1] (<http://www.greenpeace.org/mexico/es/Campanas/Bosques/La-deforestacion-y-sus-causas/>)
112. Informe de Survival International sobre los impactos en los pueblos indígenas (http://assets.survivalinternational.org/documents/134/Survival_Informe_Cambio_Climatico.pdf)
113. Wallace-Wells, David (2017). «The Uninhabitable Earth» (<http://nymag.com/daily/intelligencer/2017/07/climate-change-earth-too-hot-for-humans.html>) *New York Magazine*.
114. Channel 4. «The Great Global Warming Swindle from Channel4.com» (https://web.archive.org/web/20090504074707/http://www.channel4.com/science/microsites/G/great_global_warming_swindle/) (en inglés). Archivado desde el original (http://www.channel4.com/science/microsites/G/great_global_warming_swindle/) el 4 de mayo de 2009. 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.»
115. PÚBLICO (21 de julio de 2008 20:35). «El timo de 'El gran timo del calentamiento global'» (<https://web.archive.org/web/20090402235525/http://www.publico.es/ciencias/136300/timo/calentamiento/global/cambio/climatico/channel4/escepticos>) Madrid. Archivado desde el original (<http://www.publico.es/ciencias/136300/timo/calentamiento/global/cambio/climatico/channel4/esceptico>) el 2 de abril de 2009. 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.»

116. Allen, Myles (27 de mayo de 2004). «Film: Making heavy weather» (<https://web.archive.org/web/20091016104231/http://www.nature.com/nature/journal/v429/n6990/full/429347a.html>) (pdf). *Nature* (en inglés) (McMillan) **429** (6990): 347-348. ISSN 0028-0836 (<https://www.worldcat.org/issn/0028-0836>). doi:10.1038/429347a (<http://dx.doi.org/10.1038%2F429347a>). Archivado desde el original (<http://www.nature.com/nature/journal/v429/n6990/full/429347a.html>) el 16 de octubre de 2009 Consultado el 6 de julio de 2009
117. Allen, Myles (20 de enero de 2005). «A novel view of global warming» (<https://web.archive.org/web/20081011190533/http://www.nature.com/nature/journal/v433/n7023/full/433198a.html>) (pdf). *Nature* (en inglés) (McMillan) **433** (7023): 198. ISSN 0028-0836 (<https://www.worldcat.org/issn/0028-0836>). doi:10.1038/433198a (<http://dx.doi.org/10.1038%2F433198a>). Archivado desde el original (<http://www.nature.com/nature/journal/v433/n7023/full/433198a.html>) el 11 de octubre de 2008. 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», *Science* (en inglés) **255** (5043): 423-430, ISSN 1095-9203, PMID 17842894, doi:10.1126/science.255.5043.423
- Crowley, Thomas J.; North, Gerald R. (1988), «Abrupt climate change and extinction events in Earth history», *Science* (en inglés) **240** (4855): 996-1002, ISSN 1095-9203, doi:10.1126/science.240.4855.996
- Dore, John E.; Lukas, Roger; Sadler, Daniel W.; y otros (2009), «Physical and biogeochemical modulation of ocean acidification in the central North Pacific», *PNAS* (en inglés) **106** (30): 12235-12240, ISSN 0027-8424, doi:10.1073/pnas.0906044106
- Hansen, James; Sato, Makiko; Kharecha, Pushker; y otros (2007), «Climate change and trace gases» *Philosophical Transactions of the Royal Society A* (en inglés) **365** (1866): 1925-1954, ISSN 1364-503X, doi:10.1098/rsta.2007.2052
- Hansen, James (2007), «Scientific reticence and sea level rise», *Environmental Research Letters* (en inglés) **2** (2): 0204002, ISSN 1748-9326, doi:10.1088/1748-9326/2/2/0204002
- Hughes, Lesley (2001), «Biological consequences of global warming: is the signal already apparent?», *Trends in Ecology and Evolution* (en inglés) **15** (2): 56-61, ISSN 0169-5347, doi:10.1016/S0169-5347(99)01764-4
- 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» En Pachauri, R. K. y Reisinger, A. *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», *Nature Geoscience* (en inglés) **1** (11): 735-743, ISSN 1752-0894, doi:10.1038/ngeo337
- Oreskes, Naomi (2004), «Beyond the ivory tower. The scientific consensus on climate change», *Science* (en inglés) **306** (5702): 1686, ISSN 1095-9203, doi:10.1126/science.1103618
- Roe, Gerard H.; Baker, Marcia B. (2007), «Why is climate sensitivity so unpredictable?», *Science* (en inglés) **318** (5850): 629-632, ISSN 1095-9203, doi:10.1126/science.1144735
- Schnellhuber, Hans Joachim (2008), «Global warming: Stop worrying, start panicking?», *PNAS* (en inglés) **105** (38): 14239-14240, ISSN 0027-8424, doi:10.1073/pnas.0807331105
- Siegenthaler, U.; Sarmiento, J. L. (1993), «Atmospheric carbon dioxide and the ocean», *Nature* (en inglés) **365** (6442): 119-125, ISSN 0028-0836, doi:10.1038/365119a0
- Stainforth, D. A.; Aina, T.; Christensen, C.; y otros (2005), «Uncertainty in predictions of the climate response to rising levels of greenhouse gases» *Nature* (en inglés) **433** (7024): 403-406, ISSN 0028-0836, doi:10.1038/nature03301
- Stern, Nicholas (2008), «The economics of climate change», *American Economic Review* (en inglés) **98** (2): 1-37, ISSN 0002-8282, doi:10.1257/aer.98.2.1, archivado desde el original el 19 de septiembre de 2011
- Svensmark, Henrik (2007), «Cosmoclimatology: a new theory emerges», *Astronomy & Geophysics* (en inglés) **48** (1): 1.18-1.24, ISSN 1366-8781, doi:10.1111/j.1468-4004.2007.48118.x
- Walther, Gian-Reto; Post, Eric; Convey, Peter; y otros (2002), «Ecological responses to recent climate change», *Nature* (en inglés) **416** (6879): 389-395, ISSN 0028-0836, doi:10.1038/416389a
- Varios autores; Larena (coordinación)., Arturo (2009), «Guía para periodistas sobre cambio climático y negociación internacional», *EFEverde* (en spanish) I: 100, archivado desde el original el 11 de mayo de 2011

Bibliografía complementaria

- Una veintena de periodistas iberoamericanos. Coordinación Arturo Larena, EFEverde (2009). *Guía para periodistas sobre cambio climático y negociación internacional* 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**
-  Wikimedia Commons alberga una categoría multimedia sobre **Cambio climático**
- Cambio Climático. Lecturas recomendadas Divulgameteo.
- Cambio climático. Cómo encajan las piezas. The COMET® Program. University Corporation for Atmospheric Research.
- Declaración de la OMM sobre el estado del clima mundial en 2017 Organización Meteorológica Mundial. 2018.
- Guía Científica ante el Escepticismo sobre el Calentamiento Global John Cook. 2010
- Guías resumidas del Quinto Informe de Evaluación del IPCC. Ministerio para la Transición Ecológica. Gobierno de España.

Obtenido de <https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Cambio_climático&oldid=113938510>

Esta página se editó por última vez el 13 feb 2019 a las 21:53.

El texto está disponible bajo la [Licencia Creative Commons Atribución Compartir Igual 3.0](#) pueden aplicarse cláusulas adicionales. Al usar este sitio, usted acepta nuestros [términos de uso](#) y nuestra [política de privacidad](#)

Wikipedia® es una marca registrada de la [Fundación Wikimedia, Inc.](#), una organización sin ánimo de lucro.