



ENTRE EL HIELO Y EL FUEGO

VERDADES Y MITOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

CARLOS JAVIER ALONSO



ENTRE EL HIELO Y EL FUEGO

CARLOS JAVIER ALONSO

ENTRE EL HIELO Y EL FUEGO

**VERDADES Y MITOS
DEL CAMBIO CLIMÁTICO**



Entre el hielo y el fuego. Verdades y mitos del cambio climático

© Carlos Javier Alonso Gutiérrez, 2025

© BibliotecaOnline, 2025

Serrano, 51 - 28006 Madrid (España)

digitalreasons.es

hola@bibliotecaonline.net

Diseño de cubierta: BibliotecaOnline.

ISBN (papel): 978-84-10093-31-7

D.L.: M-18476-2025

ISBN (digital): 978-84-10093-32-4-

Ficha bibliográfica: Alonso, Carlos Javier (2025): *Entre el hielo y el fuego. Verdades y mitos del cambio climático*. Madrid, Digital Reasons.

Imprime: Podiprint.

Impreso en España - *Printed in Spain*

Las afirmaciones incluidas en el libro son responsabilidad exclusiva de los autores. Cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública o transformación de esta obra solo puede ser realizada con la autorización de sus titulares, salvo excepción prevista por la ley. Diríjase a CEDRO (Centro Español de Derechos Reprográficos) si necesita reproducir algún fragmento de esta obra (www.conlicencia.com; 91 702 19 70 / 93 272 04 47).

Índice

0. Introducción	9
1. La Ciencia del clima frente a la mitología climática	15
1.1. Fundamentos de climatología	15
1.2. Los principales mitos climáticos	53
2. El ecoalarmismo.....	127
2.1. La teoría oficial del cambio climático	128
2.2. Argumentos ecoalarmistas.....	134
2.3. Exponentes del ecoalarmismo	138
3. El climoescpticismo.....	199
3.1. Argumentos climoescépticos	200
3.2. Exponentes del climoescpticismo	207
4. El realismo climático.....	275
4.1. Argumentos del realismo climático	275
4.2. Exponentes del realismo climático	278
5. La politización del clima.....	385
5.1. Cómo hemos llegado hasta aquí	385

5.2. El IPCC en cuestión	392
5.3. La Agenda 2030 y el Pacto Verde.....	415
6. Conclusiones.....	423
7. Bibliografía esencial	435

«El cambio climático se ha convertido en una guerra cultural más, un campo de batalla argumental donde un bando es tildado de *negacionista* y el otro de *apocalíptico*».

Paul Krugman

0. Introducción

El cambio climático se ha consolidado como uno de los temas más trascendentales de nuestra era, abarcando ámbitos que van desde la ciencia y la política hasta la economía y la vida cotidiana. La constatación de que el clima terrestre atraviesa transformaciones significativas ha dado lugar a un debate complejo y multifacético, especialmente en lo relativo a sus causas y a las posibles consecuencias para el futuro del planeta.

Este libro tiene como propósito ofrecer un análisis objetivo de dicho debate, explorando tanto las posturas que respaldan el consenso científico sobre el origen antropogénico del cambio climático como las de aquellos que se muestran escépticos o directamente lo niegan. A lo largo del texto se examinarán las principales evidencias científicas esgrimidas por ambos lados, se analizarán posibles fuentes de sesgo o conflictos de interés que puedan influir en sus argumentaciones, se evaluará la solidez de sus razonamientos y se rastreará la evolución histórica del debate, con especial atención a las controversias que han marcado su desarrollo. El objetivo final es brindar al lector una comprensión profunda y matizada de un asunto crucial para el presente y el futuro de la humanidad.

En las últimas décadas ha surgido una especie de ciencia de combate –o ciencia defensiva– compuesta por una proliferación de estudios y publicaciones científicas que investigan con igual vehemencia tanto las raíces del problema climático como las tesis contrarias, en un intento por refutarlas. Así, mientras investigadores como Christopher Rhodes de Freitas, de la Escuela de Geografía y Ciencia Ambiental de la Universidad de Auckland, abren sus artículos con listas de supuestas «falacias ambientalistas» –llegando en su caso a enumerar catorce–, medios como la revista *New Scientist* dedicaban su portada del 19 de mayo de 2007 al tema bajo el título *Cambio climático. Guía para perplejos*,¹ donde se recogen las principales afirmaciones de los climoescépticos, clasificándolas como

1 Michael Le Page: «Climate change: A guide for the perplexed», *New Scientist*, 16 de mayo de 2007.

mitos o verdades a medias, sin conceder validez plena a ninguna.

En este contexto, resulta cada vez más difícil encontrar un artículo generalista que se limite a presentar datos, gráficos, herramientas y modelos sin adoptar una postura polarizada. ¿Por qué? Porque la ciencia del cambio climático se ha vuelto, quizás como ninguna otra, abiertamente beligerante. Basta leer la entrada de aquella edición de *New Scientist*: «El clima de nuestro planeta es cualquier cosa menos simple. Depende de la interacción de muchos factores, desde acontecimientos masivos en el Sol hasta la acción de criaturas microscópicas en los océanos».

A pesar de la controversia, ha emergido una imagen ampliamente respaldada por una abrumadora cantidad de evidencias científicas: el planeta se está calentando, y este calentamiento se debe presumiblemente al aumento de los gases de efecto invernadero generados por la actividad humana. Si las emisiones continúan creciendo, las consecuencias serán más severas. Es cierto que subsisten grandes incertidumbres en algunas predicciones —por ejemplo, la influencia de las nubes podría frenar o acelerar el calentamiento—, pero esas incertidumbres no justifican la inacción. Lo último que necesitamos es que los problemas reales sean oscurecidos por argumentos desacreditados o teorías extremas. Debemos actuar ahora para evitar los peores efectos. Así lo señala la propia *New Scientist* al ofrecer su guía sobre mitos y errores del cambio climático, pensada para quienes aún no saben en qué creer.²

«El debate sobre el cambio climático está tan cargado emocionalmente como malinterpretado por el público», afirma De Freitas. «Las reiteradas apelaciones a la acción han ejercido una enorme presión sobre los gobiernos, que se ven obligados a reaccionar ante una amenaza percibida como inminente. Pero probablemente no exista otro tema científico tan plagado de errores y falacias como este».

En el panorama actual, el debate sobre el cambio climático se ha polarizado entre estas dos grandes posturas. Por

2 *Ibídem*, p. 34.

un lado, están los llamados ecoalarmistas, quienes advierten sobre consecuencias potencialmente catastróficas y defienden la adopción urgente de medidas drásticas para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. En el extremo opuesto se sitúan los climoescépticos que rechazan la existencia del cambio climático o niegan su vínculo con la actividad humana. Esta «actitud bipolar» alimenta la posibilidad de que los medios construyan narrativas maniqueas, donde el mundo se divide entre «buenos y malos», generalmente alineadas con los postulados del ecologismo dominante.

A estas dos visiones tradicionales se suma ahora una tercera: la de los realistas climáticos, quienes buscan una posición intermedia. Reconocen la existencia del cambio climático, pero ponen el énfasis en sus posibles beneficios y promueven la adaptación como estrategia prioritaria frente a la mitigación.

Desde esta perspectiva, se sostiene que el cambio climático no constituye una amenaza existencial para la humanidad y que, en ciertos aspectos, incluso puede resultar beneficioso. Por ejemplo, se argumenta que el aumento de dióxido de carbono en la atmósfera ha favorecido el reverdecimiento de zonas áridas, estimulando el crecimiento vegetal. Asimismo, se señala que el calentamiento global ha reducido el número de muertes por frío extremo, que superan en muchas regiones a las asociadas al calor. Si bien estas afirmaciones se apoyan en estudios científicos, también han sido criticadas por su aparente sesgo selectivo, al centrarse en datos que refuerzan una narrativa optimista.

En este contexto, la ciudadanía se encuentra sumida en un mar de información contradictoria. La mayoría de las personas no dispone de los conocimientos técnicos necesarios para evaluar críticamente los argumentos científicos, por lo que tienden a depositar su confianza en fuentes que perciben como confiables, muchas veces guiadas por afinidades políticas o ideológicas. Así, las posturas frente al cambio climático suelen alinearse más con las orientaciones de los partidos políticos que con un análisis riguroso de la evidencia disponible. Esta dinámica alimenta la confusión generalizada y obstaculiza

la construcción de un consenso social amplio, indispensable para impulsar una acción climática global y coordinada.

La confusión no se debe únicamente a la falta de formación científica de la población o a la politización del discurso, sino también a episodios controvertidos que han socavado la confianza en las instituciones científicas. Uno de los más notorios fue el escándalo del Climategate en 2009, cuando se filtraron correos electrónicos entre científicos vinculados al Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC). Algunos interpretaron esos mensajes como prueba de la manipulación deliberada de datos para reforzar la narrativa del calentamiento global. El episodio fue ampliamente utilizado por sectores escépticos para cuestionar la legitimidad del IPCC y sembrar dudas sobre sus conclusiones.

Lejos de acortarse, la brecha entre ambos bandos se ensancha con cada Cumbre del Clima, cada reunión del G7 o del G20, y cada informe del IPCC. Mientras algunos gobiernos adoptan medidas cada vez más estrictas para reducir las emisiones, otros ni siquiera acceden a firmar tratados como el Protocolo de Kioto.

Diversos analistas han tratado de explicar por qué, ante una polarización tan marcada del debate climático, la mayoría del público —guiado en gran medida por los medios de comunicación— ha optado por adherirse mayoritariamente a la causa ecologista. Algunas de las explicaciones más destacadas son las siguientes:

1. *Una visión idealizada de la naturaleza.* La noción de cambio climático encaja perfectamente con la imagen popular del «medio ambiente» y con el atractivo emocional del ecologismo. Mientras la ciencia describe la naturaleza como un sistema dinámico, lleno de contrastes, incertidumbre y lucha por la supervivencia, el imaginario colectivo —moldeado desde la infancia por la educación, los medios y el cine— tiende a verla como un entorno puro, frágil y armonioso. El biólogo y divulgador Miguel del Pino ha denominado a esta visión la «naturaleza ficticia de David el Gnomo». Esta concepción bucólica favorece una sensibilidad especialmente receptiva a los mensajes alarmistas sobre el clima.

2. *Tendencia mediática al catastrofismo.* Los medios de comunicación suelen privilegiar los escenarios más extremos y alarmantes. Las predicciones más catastrofistas acaparan titulares, mientras que perspectivas más moderadas o escépticas apenas reciben cobertura. Esta «selección natural» informativa ha consolidado el discurso alarmista como el dominante, marginando otras voces.

3. *Efecto de retroalimentación ideológica.* A medida que una narrativa se impone, las posibilidades de que una visión alternativa encuentre espacio disminuyen. Los medios temen dar visibilidad a posturas escépticas para no ser tildados ellos mismos de negacionistas. En este clima, discrepar de la ortodoxia ambiental puede equivaler a ser catalogado como «enemigo del planeta». Así, mientras ciertos medios se permiten contar con activistas de Greenpeace como editores de secciones ambientales, difícilmente se arriesgarían a parecer «ecológicamente incorrectos» ante su audiencia.

4. *Uso político del cambio climático.* Especialmente entre sectores de izquierda moderada, el cambio climático ha sido interpretado como una causa global que ofrece una oportunidad de recuperar el impulso transformador colectivo perdido tras la caída del bloque soviético. Bajo el lema «ciudadanos del mundo, uníos para salvar el planeta», el discurso climático ha servido como una nueva plataforma de acción global con resonancias casi revolucionarias.

5. *Rentabilidad electoral del voto verde.* En muchos países europeos –como Alemania, Francia, Austria o España– el respaldo de grupos ecologistas es políticamente valioso. Por ello, los líderes políticos buscan congraciarse con esta base mediante declaraciones alineadas con la ortodoxia climática. Así, por ejemplo, cuando en septiembre de 2007 los líderes de 21 países (incluidos EE. UU., China y Rusia) se reunieron en Sídney en el marco del Foro de Cooperación Económica Asia-Pacífico (APEC), los medios destacaron un supuesto consenso para reducir la «presión energética». Sin embargo, el acuerdo solo mencionaba de forma vaga la necesidad de alcanzar un entendimiento futuro en el marco de la ONU, sin compromisos vinculantes. Ni EE. UU. –que no firmó el Protocolo de Kioto– ni

China —exenta por su condición de país emergente— se comprometieron a medida concreta alguna. Aun así, los titulares hablaron de avances en la lucha contra el calentamiento global.

6. *Intereses científicos y económicos.* Muchos científicos apoyan posturas alarmistas con el objetivo de reforzar el compromiso público y asegurar la continuidad de la financiación para sus investigaciones. Las ciencias del clima gozan actualmente de las mayores garantías de financiación pública y privada, en parte gracias al respaldo político y social que suscita el temor al calentamiento global.

7. *Confusión deliberada de agendas.* La aceptación pública del cambio climático facilita que se mezclen, intencionadamente, distintos problemas ambientales. Es frecuente que, en debates sobre el clima, los argumentos deriven hacia temas como la escasez de agua, la contaminación, la pérdida de biodiversidad o la sobrepesca. De este modo, creer en el origen antropogénico del calentamiento se ha convertido en una credencial que legitima la preocupación ambiental general. Por contraste, quienes cuestionan esa hipótesis son vistos como indiferentes ante los problemas ecológicos en su conjunto.

8. *Influencia dominante del IPCC.* Desde sectores escépticos se ha señalado que la percepción social del problema climático está sesgada por la enorme capacidad de influencia del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC), cuyos informes tienen un alcance mediático global. Su autoridad científica rara vez se cuestiona públicamente, lo que refuerza la impresión de que su visión del cambio climático es incuestionable.

Así pues, el debate está servido, las posturas firmemente confrontadas y los argumentos debidamente esgrimidos. A lo largo de estas páginas analizaremos qué postura resulta vencedora en la contienda y cuál es el estado actual de la cuestión climática.

1. La Ciencia del clima frente a la mitología climática

1.1. Fundamentos de climatología

a) Meteorología y climatología

La atmósfera es la capa gaseosa que rodea la Tierra y se mantiene unida a su superficie por la fuerza de gravedad del planeta. La meteorología es la ciencia que estudia la atmósfera y los fenómenos que en ella ocurren, conocidos como meteoros, como el viento, la lluvia, la nieve, entre otros.

El tiempo atmosférico es el estado de la atmósfera en un momento concreto, definido por variables como la temperatura, la presión del aire, la humedad y el viento. Cuando se analiza el comportamiento promedio de estas variables durante un período prolongado –de décadas o más– en un lugar determinado, hablamos de clima. En términos generales, puede decirse que la meteorología se ocupa del tiempo atmosférico y la climatología, del clima.

Por tanto, es incorrecto utilizar términos como *climatología* o *condiciones climatológicas* para referirse al tiempo atmosférico de un momento determinado. Una característica fundamental tanto del tiempo como del clima es que están en constante cambio, aunque en escalas temporales muy distintas: mientras el tiempo puede variar en minutos u horas, el clima cambia a lo largo de décadas, siglos o incluso milenios. Esto se debe a que la Tierra y su atmósfera conforman un sistema dinámico en continua evolución.

La climatología³ es una rama de la geografía⁴ y de las ciencias de la Tierra que estudia los fenómenos meteorológicos y su variación a lo largo del tiempo. Aunque emplea los mismos parámetros que la meteorología, su propósito es distinto: no busca realizar predicciones inmediatas, sino analizar las características y tendencias del clima en el largo plazo.⁵

A diferencia de la meteorología —que se centra en fenómenos de corta duración, generalmente de hasta unas pocas semanas—, la climatología examina la frecuencia y evolución de los sistemas meteorológicos a lo largo de años o milenios. Estudia patrones periódicos y cambios en las condiciones atmosféricas medias, tanto a nivel local, regional como global. Además, investiga los factores —naturales o de origen humano— que contribuyen a la variabilidad y al cambio climático. Así, la climatología no solo se ocupa del pasado, sino que también ofrece herramientas para proyectar posibles escenarios futuros.

Las condiciones atmosféricas influyen en múltiples aspectos de la vida humana, desde la agricultura hasta decisiones tan cotidianas como salir a pasear. Por ello, se ha dedicado un gran esfuerzo científico y tecnológico a mejorar la predicción del tiempo, tanto a corto como a medio plazo.

b) Variabilidad del tiempo y evolución del clima

El tiempo y el clima se desarrollan en la atmósfera, aunque difieren en su escala temporal y espacial. Para definir un clima, es necesario observar las condiciones atmosféricas durante un período prolongado. La Organización Meteorológica Mundial establece un mínimo de treinta años para este tipo de registros; sin embargo, algunos autores proponen plazos aún mayores —de cien años o más— para captar con mayor precisión

3 Real Academia Española: «Climatología». *Diccionario panhispánico de dudas*, Santillana, Madrid, 2005.

4 Ya Claudio Ptolomeo, en su libro *Geographia*, dedica un tercio de este a la variación zonal de los climas en la superficie terrestre.

5 Cristina Crespo Garay: «¿Qué diferencia a la climatología de la meteorología?», *National Geographic*, 9 de marzo de 2022

las variaciones climáticas.

Las observaciones se realizan en estaciones meteorológicas y abarcan variables como temperatura, presión atmosférica, viento, humedad y precipitaciones, así como los distintos tipos de tiempo registrados. A partir de estos datos se elaboran tablas de valores medios, que se representan gráficamente en los climogramas. Estos muestran la variación anual de la temperatura y las precipitaciones, dos de las variables fundamentales del clima.

A comienzos del siglo XX, la climatología se centraba en la descripción de los climas regionales. Esta etapa, conocida como climatología descriptiva, tenía un enfoque aplicado: proporcionaba a agricultores y otros sectores interesados información estadística sobre el comportamiento habitual del tiempo y la probabilidad de eventos extremos.⁶ Para ello, fue necesario definir una «normalidad climática», es decir, un promedio de las condiciones atmosféricas y sus extremos a lo largo de un período estándar, generalmente de 30 años.⁷

Hacia mediados del siglo XX, muchos supuestos científicos en meteorología y climatología partían de la idea de que el clima era relativamente constante. Aunque se conocían los cambios climáticos del pasado, como los correspondientes a las eras glaciares, se asumía que el clima actual era estable, lo cual facilitaba la formulación de teorías generales sobre sus determinantes. Sin embargo, esta visión comenzó a cambiar en las décadas siguientes. Aunque la investigación sobre el cambio climático había comenzado anteriormente, no fue sino hasta la década de 1970,⁸ cuando este fenómeno se convirtió en uno de los principales objetos de estudio de la climatología.

El análisis de los climas contemporáneos se basa en datos meteorológicos recopilados a lo largo de muchos años, incluyendo registros de precipitaciones, temperaturas y composi-

6 Spencer Weart: «La climatología como profesión», Instituto Americano de Física, 2008, www.history.aip.org.

7 Robinson y Henderson-Sellers: *Contemporary climatology*, Longman, Londres, 1999, pp. 4-5.

8 Ibídem, pp. 5-6.

ción atmosférica. Estos datos se integran mediante modelos —estadísticos o matemáticos— que permiten interpretar las observaciones y explorar sus interrelaciones. La modelización climática es fundamental para comprender la evolución del clima en el pasado, el presente y el futuro.

El estudio del clima se enfrenta a importantes desafíos debido a la magnitud espacial y temporal de los fenómenos implicados, así como a la complejidad de los procesos físicos que lo regulan. Las leyes físicas que gobiernan el clima se expresan mediante ecuaciones diferenciales, que son no lineales y están acopladas entre sí. Por ello, las soluciones solo pueden obtenerse mediante métodos numéricos, utilizados en la construcción de modelos climáticos globales. En algunos casos, el clima se representa como un proceso estocástico, lo cual constituye una aproximación útil cuando el análisis exacto resulta inviable por la complejidad del sistema.

La recopilación de registros extensos de variables climáticas es esencial para entender la dinámica climática. La climatología se nutre de los datos agregados proporcionados por la meteorología. Para ello, los científicos emplean observaciones tanto directas como indirectas, obtenidas a partir de satélites, redes de termómetros distribuidos globalmente e incluso mediante el análisis de núcleos de hielo extraídos de glaciares.⁹ Sin embargo, los avances tecnológicos en los métodos de medición dificultan la comparación directa entre registros de distintas épocas. Además, factores como la urbanización —que genera el llamado «efecto isla de calor urbano»¹⁰— obligan a corregir los datos para evitar sesgos.

Desde tiempos antiguos, el ser humano ha necesitado conocer las temperaturas, las precipitaciones y los vientos para organizar su vida cotidiana, así como para el desarrollo de actividades agrícolas y ganaderas. Las condiciones atmosféricas en un momento y lugar concretos —como la temperatura, la humedad, el viento o la presencia de precipitaciones— cons-

9 Science.nasa.gov: «¿Qué tipo de datos utilizan los científicos para estudiar el clima?», *Cambio climático: Signos vitales del planeta*, 2024.

10 Robert Rohli y Anthony J. Vega: *Climatology*, Jones & Bartlett Learning, 2011, p. 8.

tituyen lo que conocemos como *tiempo*, en contraste con el *clima*, que se refiere al comportamiento promedio de esas condiciones a lo largo del tiempo.

El tiempo atmosférico cambia constantemente, minuto a minuto, si bien –con algunas variaciones– se repite anualmente de forma cíclica y con unas características propias para cada lugar según la época del año. Ello no es impedimento para que, en ocasiones, no se registre el tiempo que es habitual en una época concreta, con lo que pueden tener lugar períodos más fríos o cálidos o más pluviosos o secos de lo que correspondería según el calendario, fenómeno que conocemos como variabilidad natural.

De forma natural, el tiempo puede cambiar como consecuencia de alguno o algunos de los siguientes factores:

- a) La radiación solar: los cambios en la radiación emitida por el Sol podrían derivar en significantes variaciones de la cantidad de calor recibida en la Tierra.
- b) La composición de la atmósfera: un cambio en la composición atmosférica afectaría en gran medida en el balance energético del planeta.
- c) Las características orbitales de la Tierra: la excentricidad de la órbita terrestre, así como la inclinación del eje terrestre y el movimiento de precesión, cambian en ciclos de muchísimos miles de años afectando también a la recepción de la radiación solar.
- d) La naturaleza de la superficie terrestre: en función del albedo¹¹ de las superficies y otras características, la radiación absorbida y perdida por el planeta puede cambiar.
- e) Las circulaciones atmosférica y oceánica: cambios en estas circulaciones podrían generar grandes desequilibrios térmicos en las diferentes latitudes.

El clima de un lugar se define por las características promedio de la atmósfera observadas durante un largo período de tiempo (cientos o miles de años). Estas observaciones nos permiten identificar patrones climáticos, aunque siempre existe variabilidad interanual, es decir, no todos los años presentan

11 El albedo es la cantidad de luz solar reflejada al espacio.

las mismas condiciones. A lo largo de la historia, la humanidad ha sido vulnerable a la irregularidad climática, lo que llevó a las sociedades agrícolas a desarrollar prácticas como las rogativas para pedir lluvias o para evitar desastres climáticos.

Aunque la evolución del clima es lenta, el planeta ha experimentado cambios significativos a lo largo de su historia, como las glaciaciones y períodos interglaciares. El cambio climático implica transformaciones profundas que afectan al clima global y requieren de miles de años para ser evidentes. Factores astronómicos, geológicos y biológicos intervienen en estos cambios, haciendo del clima un sistema dinámico y en constante evolución. Además, investigaciones científicas han demostrado que la Tierra ha pasado por diversas fases climáticas muy diferentes a las actuales, lo que confirma que el clima no es estático.

c) La atmósfera

La atmósfera es la capa gaseosa que rodea la Tierra y se mantiene unida a su superficie por la fuerza de gravedad del planeta. La meteorología es la ciencia que estudia la atmósfera y los fenómenos que en ella ocurren, conocidos como meteoros, como el viento, la lluvia y la nieve, entre otros.

El tiempo atmosférico es el estado de la atmósfera en un momento concreto, definido por variables como la temperatura, la presión del aire, la humedad y el viento. Cuando se analiza el comportamiento promedio de estas variables durante un período prolongado —de décadas o más— en un lugar determinado, hablamos de clima. En términos generales, puede decirse que la meteorología se ocupa del tiempo atmosférico y la climatología, del clima.

Por tanto, es incorrecto utilizar términos como climatología o condiciones climatológicas para referirse al tiempo atmosférico de un momento determinado. Una característica fundamental tanto del tiempo como del clima es que están en constante cambio, aunque en escalas temporales muy distintas: mientras el tiempo puede variar en minutos u horas, el clima cambia a lo largo de décadas, siglos o incluso milenios. Esto

se debe a que la Tierra y su atmósfera conforman un sistema dinámico en continua evolución.

Como rama de la geografía y de las ciencias de la Tierra, la climatología estudia los fenómenos meteorológicos y su variación a lo largo del tiempo. Aunque emplea los mismos parámetros que la meteorología, su propósito es distinto: no busca realizar predicciones inmediatas, sino analizar las características y tendencias del clima en el largo plazo.

A diferencia de la meteorología –que se centra en fenómenos de corta duración, generalmente de hasta unas pocas semanas–, la climatología examina la frecuencia y evolución de los sistemas meteorológicos a lo largo de años o milenios. Estudia patrones periódicos y cambios en las condiciones atmosféricas medias, tanto a nivel local, regional como global. Además, investiga los factores –naturales o de origen humano– que contribuyen a la variabilidad y al cambio climático. Así, la climatología no solo se ocupa del pasado, sino que también ofrece herramientas para proyectar posibles escenarios futuros.

Las condiciones atmosféricas influyen en múltiples aspectos de la vida humana, desde la agricultura hasta decisiones tan cotidianas como salir a pasear. Por ello, se ha dedicado un gran esfuerzo científico y tecnológico a mejorar la predicción del tiempo, tanto a corto como a medio plazo.

La atmósfera es una capa gaseosa muy delgada comparada con el radio terrestre. Está formada por una mezcla de gases, agua en sus tres fases y partículas sólidas en suspensión. La atmósfera está estructurada en capas. Según la distribución de temperatura, se pueden distinguir varias capas que en orden creciente son la troposfera, estratosfera, mesosfera y la termosfera. La troposfera contiene la mayor parte de la masa de la atmósfera y es la más importante desde el punto de vista meteorológico.

La atmósfera actual es producto de la evolución del planeta durante millones de años. En su mayor parte procede de erupciones volcánicas y en su composición actual ha sido crucial

el papel de la fotosíntesis como causa de la generación del oxígeno atmosférico y de la absorción del dióxido de carbono.

La atmósfera está compuesta por una mezcla de gases, entre los que destacan el nitrógeno (N_2), el oxígeno (O_2), el argón (Ar), el dióxido de carbono (CO_2) y el vapor de agua. La concentración de estos gases varía con la altitud, siendo especialmente notable en el caso del vapor de agua, cuya presencia se concentra principalmente en las capas más próximas a la superficie terrestre.

La existencia de estos gases es esencial para el desarrollo y mantenimiento de la vida en la Tierra. El oxígeno y el dióxido de carbono permiten los procesos vitales de los seres vivos – como la respiración en animales y la fotosíntesis en plantas –, mientras que el vapor de agua y el CO_2 desempeñan un papel fundamental en la regulación térmica del planeta. Ambos, junto con otros gases menos abundantes como el metano (CH_4) y el ozono (O_3), forman parte del grupo conocido como gases de efecto invernadero.

Estos gases permiten el paso de la radiación solar hacia la superficie, pero absorben parte de la radiación infrarroja que la Tierra emite al calentarse. Esta energía no escapa completamente al espacio, lo que contribuye a mantener una temperatura media global adecuada para la vida. Sin el efecto invernadero natural, la temperatura en la superficie terrestre sería inferior a $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Además de su composición, la atmósfera también presenta una estructura térmica estratificada. La temperatura del aire varía con la altitud, lo que permite dividir la atmósfera en varias capas diferenciadas:

Troposfera: Es la capa más baja, donde se desarrolla la vida y ocurren la mayoría de los fenómenos meteorológicos. Su espesor varía entre unos 10 km en los polos y hasta 18 km en el ecuador. En esta capa, la temperatura disminuye progresivamente con la altura, hasta alcanzar valores cercanos a los $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$. Su límite superior se denomina *tropopausa*.

Estratosfera: Se extiende desde la tropopausa hasta unos 50 km de altitud. En esta capa, la temperatura aumenta gradual-

mente con la altura, alcanzando aproximadamente los -10°C . Aquí se encuentra la capa de ozono, responsable de absorber gran parte de la radiación ultravioleta e infrarroja procedente del Sol, lo que permite condiciones adecuadas para la vida. El límite superior de esta capa recibe el nombre de estratopausa.

Mesosfera: En esta región la temperatura vuelve a descender con la altitud, llegando hasta los -140°C . Se extiende hasta unos 80 km de altura, donde se encuentra la mesopausa, su límite superior.

Termosfera: Se extiende desde la mesopausa hasta varios cientos de kilómetros de altitud. En ella, la temperatura aumenta considerablemente, pudiendo superar los 1.000°C . Los gases presentes en esta capa son muy poco densos y se encuentran en estado ionizado, por lo que también se la conoce como ionosfera.

Exosfera: Es la capa más externa de la atmósfera, comenzando donde termina la termosfera y extendiéndose hasta aproximadamente 10.000 km. Constituye la primera línea de defensa frente a la radiación solar, meteoritos y otros cuerpos celestes. Además, por sus características, es el lugar ideal para la colocación de satélites artificiales.

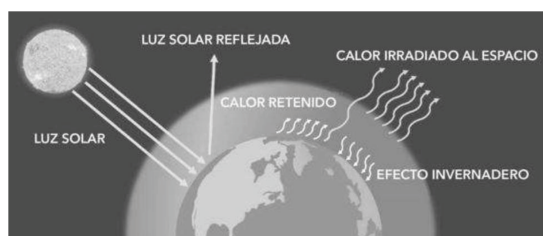


Figura 1.1.: Ilustración sobre el mecanismo de acción del llamado efecto invernadero.

La atmósfera, por el hecho de ser muy transparente para la luz visible, pero mucho menos para la radiación infrarroja, produce para la superficie terrestre similar efecto que el techo de cristal produce en un invernadero; la luz solar, que llega sin grandes obstáculos hasta el suelo, lo calienta, dando lugar a que emita rayos infrarrojos (ondas caloríficas), los cuales, a di-

ferencia de los rayos de luz, son absorbidos en gran parte por el vidrio o la atmósfera. Al final la cantidad de energía emitida al espacio tiene que ser la misma que la absorbida, pero la superficie terrestre tiene que alcanzar la temperatura en que ambos flujos se equilibran, la cual es más alta en presencia de una atmósfera (en un planeta) o de techos de cristal (en un invernadero; aunque en realidad el cristal de un invernadero protege de la pérdida de calor más porque interrumpe la circulación del aire, que porque sea opaco a los rayos infrarrojos).

Es importante señalar que el efecto invernadero afecta a todos los cuerpos planetarios del sistema solar dotados de atmósfera, porque, aunque no todos los gases absorben radiación infrarroja, en ninguna de esas atmósferas faltan los que sí lo hacen. El efecto invernadero es un fenómeno natural, pero la alusión frecuente a él en relación con el calentamiento global hace creer a algunos que es en sí indeseable, y una consecuencia reciente de la contaminación atmosférica. Sin embargo, el efecto invernadero es esencial para la vida en la Tierra porque actúa como un mecanismo natural de regulación de la temperatura del planeta. En conjunto, los gases de efecto invernadero regulan el balance energético de la Tierra. Sin ellos, la temperatura media global sería de aproximadamente -18°C ,¹² en lugar de los 15°C actuales.¹³ Sin ellos, la Tierra sería un lugar mucho más frío y hostil para la vida tal como la conocemos. Una temperatura media global de -18°C impediría la existencia de agua líquida en la mayor parte del planeta. Esto haría prácticamente imposible la vida como la conocemos: los ecosistemas, la agricultura y la biodiversidad dependen de un rango de temperaturas relativamente estable y cálido.

d) Gases de efecto invernadero

El efecto invernadero es un fenómeno natural mediante el cual ciertos gases presentes en la atmósfera retienen parte de la radiación térmica que la Tierra emite tras recibir energía solar,

12 «NASA GISS: Science Briefs: Greenhouse Gases: Refining the Role of Carbon Dioxide». www.giss.nasa.gov. 3 de mayo de 2016.

13 Thomas R. Karl y Kevin E. Trenberth. «Modern global climate change», *Science*, Vol. 302, (2003), pp. 1719-1723.

impidiendo que esta escape completamente al espacio.¹⁴ Gracias a este proceso, la temperatura del planeta se mantiene en niveles compatibles con la vida. Aunque durante mucho tiempo se consideró un fenómeno beneficioso, en la actualidad está estrechamente asociado al calentamiento global, siendo el dióxido de carbono (CO₂) el principal gas señalado por su creciente concentración debido a la actividad humana.

Los gases de efecto invernadero (GEI) son aquellos capaces de absorber y emitir radiación en el espectro infrarrojo.¹⁵ Este proceso es considerado, por la mayoría de los climatólogos, como la causa principal del efecto invernadero. Los principales GEI en la atmósfera terrestre son:

El vapor de agua (H₂O): Es el gas con mayor contribución al efecto invernadero natural, debido a su gran capacidad para absorber radiación infrarroja. Se genera por evaporación del agua líquida o sublimación del hielo. Es incoloro e inodoro; contrariamente a lo que se cree, el vaho visible en una cacerola o las nubes no son vapor de agua, sino diminutas gotas líquidas o cristales de hielo suspendidos en el aire.

El vapor de agua es el gas de efecto invernadero más importante. La cantidad de vapor de agua presente en la atmósfera en cualquier lugar y momento sin duda varía mucho (la humedad cambia mucho en función del tiempo que haga); pero, por término medio, solo constituye un 0,4 % de las moléculas de la atmósfera. Aun así, representa más del 90 % de la capacidad de la atmósfera para retener el calor. El físico irlandés John Tyndall, que fue el primero en estudiar la absorción de luz infrarroja en los gases, dejó bien clara su importancia en una conferencia pública de 1863: «El vapor de agua es una manta más necesaria para la vida vegetal de Inglaterra que la ropa para el ser humano. Si se eliminara durante una sola noche de estío el vapor acuoso del aire que cubre este país, se destruiría con total seguridad toda planta susceptible de perecer por congelación. El calor de nuestros campos y jardines se derra-

14 «IPCC AR4 SYR Appendix Glossary» (PDF). 17 de noviembre de 2018.

15 «Gases de efecto invernadero». www.mendoza.conicet.gov.ar, 26 de junio de 2020.

maría irremediablemente por el espacio, y el Sol saldría sobre una isla atenazada por férreas heladas».¹⁶

El metano (CH_4): Es el alcano más simple, formado por un átomo de carbono y cuatro de hidrógeno. Es un gas no polar, incoloro, inodoro y escasamente soluble en agua. Se genera de forma natural a través de la descomposición anaerobia de materia orgánica y puede ser aprovechado como biogás. En las minas de carbón se le conoce como grisú y representa un peligro por su alta inflamabilidad. Aunque su concentración atmosférica es mucho menor que la del CO_2 , su potencial de calentamiento global es aproximadamente 25 veces superior en un horizonte de 100 años. No obstante, su contribución total al calentamiento es menor por su baja concentración relativa.

Los óxidos de nitrógeno (NO_x): Este término engloba varios compuestos formados por oxígeno y nitrógeno, como el óxido nitroso (N_2O), que se genera principalmente en procesos de combustión a alta temperatura y en actividades agrícolas. El N_2O es un potente GEI, con un efecto de calentamiento notablemente superior al del CO_2 .

El ozono (O_3): Se forma cuando una molécula de oxígeno (O_2) se disocia en átomos libres que luego se combinan con otras moléculas de O_2 . En la estratosfera, el ozono forma la capa que protege la vida de la radiación ultravioleta. Sin embargo, en la troposfera (la capa más baja), actúa como contaminante y gas de efecto invernadero.

Los clorofluorocarburos (CFC): Son compuestos sintéticos derivados de hidrocarburos saturados, en los que algunos átomos de hidrógeno han sido sustituidos por flúor y/o cloro. Se utilizaron ampliamente desde la década de 1930 como refrigerantes, propelentes en aerosoles y agentes extintores, debido a su estabilidad química y baja toxicidad. Sin embargo, su elevada persistencia y su capacidad para destruir la capa de ozono provocaron su restricción internacional mediante el Protocolo de Montreal. Aunque presentes en muy bajas concen-

¹⁶ Rudy M. Baum: «Future Calculations». *Instituto de Historia de la Ciencia*, 19 de abril de 2019.

<https://www.sciencehistory.org/distillations/future-calculations>.

traciones, los CFC tienen un potencial de calentamiento global miles de veces superior al del CO_2 .

El dióxido de carbono (CO_2), también conocido como óxido de carbono (IV), gas carbónico o anhídrido carbónico, es un gas cuyas moléculas están formadas por un átomo de carbono y dos de oxígeno. Su fórmula química es CO_2 . Es el segundo gas de efecto invernadero más importante, después del vapor de agua. A diferencia de este último, cuya concentración varía mucho según el lugar y las condiciones meteorológicas, el CO_2 está distribuido de forma bastante uniforme en la atmósfera a escala global. En la actualidad, representa aproximadamente el 7 % de la capacidad de la atmósfera para retener el calor del planeta.

Desde el comienzo de la Revolución Industrial, en 1750, la concentración de CO_2 atmosférico ha aumentado de forma sostenida debido casi con seguridad a la actividad humana. Ha pasado de 280 partes por millón (ppm) a unas 410 ppm en 2019, y continúa aumentando a un ritmo de aproximadamente 2,3 ppm por año. Aunque la mayor parte del CO_2 en la atmósfera proviene de fuentes naturales, probablemente este aumento se debe en parte al uso intensivo de combustibles fósiles –carbón, petróleo y gas natural–, así como a la deforestación, la degradación de suelos y la ganadería.¹⁷

El CO_2 adicional emitido por los seres humanos actúa como una capa extra de aislamiento térmico, dificultando la salida del calor desde la superficie terrestre hacia el espacio. En condiciones promedio de cielo despejado, este efecto ha provocado que la proporción de calor retenido por la atmósfera aumente del 82,1 % en 1750 al 82,7 % en la actualidad. Si la concentración de CO_2 se duplicara respecto al nivel preindustrial y alcanzara las 560 ppm, ese porcentaje subiría al 83,2 %, en condiciones de cielo despejado. Este aumento en la concentración equivaldría a tan solo 2,8 moléculas más por cada 10.000; esto es, que un incremento de menos de 3 moléculas de CO_2 por cada 10.000 moléculas de aire elevaría la cantidad retenida de calor del 82,1 % al 83,2 %: es decir, en torno a un

¹⁷ «AR4 SYR Synthesis Report Summary for Policymakers – 2 Causes of change». ipcc.ch., 28 de febrero de 2018.

1 %.¹⁸ Desde 1750, la concentración de CO₂ en la atmósfera ha aumentado un 45 %, a pesar de que una parte importante de las emisiones ha sido absorbida por sumideros naturales como los océanos y los ecosistemas terrestres. Hoy en día, el mayor emisor de dióxido de carbono es China.¹⁹

Otra cuestión distinta es la llamada «saturación del CO₂», es decir, el hecho de que el CO₂ se vuelve menos eficaz como gas invernadero a concentraciones más altas: cada aumento de su concentración atmosférica de 50 ppm (0,005%) produce cada vez un menor cambio en forzamiento de la radiación o en la temperatura, de modo que si se dobla la concentración de CO₂ en la atmósfera (de 400 ppm a 800 ppm), este tendrá muy poco efecto de calentamiento. Este fenómeno de saturación explicaría por qué las temperaturas terrestres no fueron catastróficamente altas con concentraciones de CO₂ 10 y 20 veces superiores a las actuales. El CO₂ es un gas esencial para la fotosíntesis, que promueve el crecimiento vegetal y la producción de oxígeno. Diversos estudios de 2016²⁰ muestran que el aumento de CO₂ ha incrementado la vegetación global. En la práctica, se utiliza este gas para la fertilización carbónica. En los invernaderos, se suele inyectar CO₂ para mejorar la productividad agrícola hasta un 30%.

Reducir el CO₂ atmosférico podría comportar ciertos riesgos. Niveles bajos de este gas, similares a los de épocas glaciales, podrían causar desertización por déficit de CO₂, afectando la vegetación. Según datos de la NASA, desde mediados del siglo XX, los niveles de CO₂ han crecido drásticamente, debido al desarrollo de actividades humanas (industria, transporte, etc.). El aumento es tan significativo que no puede atribuirse únicamente a causas naturales. Y es tan notable el impacto ambiental, que se impone la necesidad de controlar emisiones

18 Steven E. Koonin: *No toda la culpa es nuestra*, La Esfera de los Libros, Madrid, 2023, pp. 48-49.

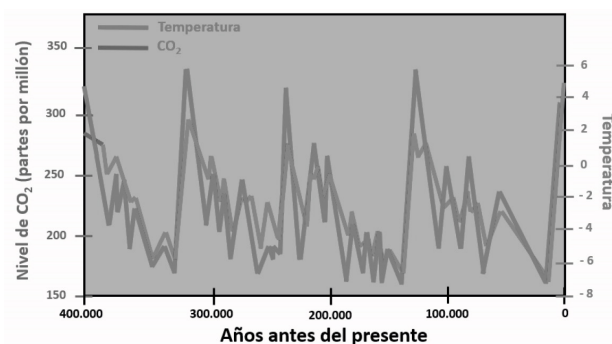
19 «China apuesta por el carbón ante la escasez de energía», *El Estímulo* AFP, 19 de septiembre de 2022.

20 Z. Zhu, S. Piao, R. Myneni *et al.*: «Greening of the Earth and its drivers», *Nature Climate Change*, Vol. 6, (2016), pp. 791-795; Karl B. Hille: «Carbon Dioxide Fertilization Greening Earth», *Study Finds*, NASA, 26 de abril de 2016.

de CO₂, vertidos tóxicos, plásticos, fertilizantes y otros contaminantes para proteger el medio ambiente. El consenso mayoritario científico, así como la opinión pública y los acuerdos internacionales (por ejemplo, la Cumbre de Glasgow) consideran al CO₂ el principal responsable del calentamiento global.

Algunos autores han estimado que, si las emisiones de GEI continúan al ritmo actual, la temperatura de la superficie terrestre podría exceder los valores históricos hacia 2047, con efectos potencialmente dañinos en los ecosistemas, la biodiversidad y peligraría la subsistencia de las personas en el planeta.²¹ Estimaciones de agosto de 2016 sugieren que de seguir la actual trayectoria de emisiones, la Tierra podría superar el límite de 2 °C de calentamiento global, (el límite señalado por el IPCC como un calentamiento global «peligroso») en 2036.²²

No obstante, otros científicos, incluidos premios Nobel, cuestionan la relación causa-efecto entre el CO₂ y el cambio climático, argumentando que no hay evidencia concluyente. Para estos autores, los datos geológicos y los registros históricos sugieren que la discusión sobre el origen antropogénico del calentamiento global no está cerrada. La interpretación actual debe ser coherente con la historia climática del planeta.



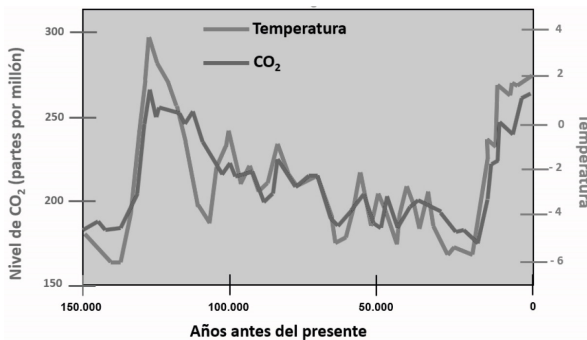
21 C. Mora: «The projected timing of climate departure from recent variability», *Nature*, Vol. 502, 2013, pp. 183-187.

22 Michael E. Mann: «Earth Will Cross the Climate Danger Threshold by 2036», *Scientific American*, 1 de abril de 2014.

Figura 1.2.: Desfase temporal entre el aumento de CO₂ y la temperatura media global.

Los sondeos realizados en el hielo de Groenlandia permiten analizar el aire atrapado en burbujas, revelando la composición atmosférica de los últimos 450.000 años. Mediante estos sondeos, se ha podido determinar que, en largos períodos, la temperatura y el CO₂ muestran una correlación evidente. Sin embargo, algunos estudios detallados (150.000 y 235.000-245.000 años) desvelan un desfase temporal entre el CO₂ y la temperatura porque muestran que el aumento de esta precede al incremento de CO₂ en unos 500-800 años, sugiriendo que el CO₂ es consecuencia, no causa, del calentamiento. La explicación que aportan es que el calentamiento de los océanos libera CO₂, pero con retraso debido a la lenta transferencia de calor en masas de agua profundas.²³

Si ampliamos el gráfico anterior y nos centramos en el período comprendido dentro de los últimos 150.000 años, se puede observar cómo la línea roja de la temperatura tiende a ascender antes que la azul, correspondiente al CO₂. Debe recordarse que, igual que en la figura anterior, la gráfica fue realizada en 2007, por lo tanto, los valores del año "cero" no se corresponden con la actualidad.



23 Nadezda Vakulenko: «Evidence for the leading role of temperature variations in comparison with the greenhouse gases concentration variations in the Vostok ice core record», Doklady Earth Sciences Vol. 396 (5), junio de 2004, pp. 686-690.

Figura 1.3.: Desfase temporal más evidente entre el aumento de CO₂ y la temperatura media global.

Estos datos sugieren que el nivel de CO₂ en la atmósfera aumentaría con posterioridad y como consecuencia del incremento de la temperatura, y no al revés. Este desfase puede explicarse fácilmente por el comportamiento del agua de los océanos, que constituye la principal fuente de emisión de dióxido de carbono. Al ir ascendiendo la temperatura de los mares, crecen las emisiones desde el agua hacia la atmósfera, aumentando así el contenido de CO₂ en el aire, pero siempre con un cierto retardo respecto del aumento de la temperatura, porque la enorme profundidad de algunas zonas, hacen que se necesite mucho tiempo para calentar la enorme masa de agua de todo el planeta. Desde esta nueva perspectiva, podría afirmarse que sí existe una relación de causalidad entre el aumento del dióxido de carbono y el calentamiento global, pero sería en sentido opuesto al que se viene preconizando desde hace décadas.

Además, en los últimos 10.000 años, el aumento de CO₂ no siempre se corresponde con un incremento de temperatura:

- 1) 1850-actualidad: Las emisiones de CO₂ crecen constantemente, pero la temperatura muestra oscilaciones bruscas sin correlación directa, según datos de Our World in Data.
- 2) 1945-1975: A pesar del aumento de emisiones de CO₂ por el uso de automóviles, la temperatura global disminuyó, indicando otras influencias.
- 3) 1960-actualidad: El CO₂ atmosférico aumenta a un ritmo constante (~1,6 ppm/año) en Mauna Loa, independientemente de las variaciones en las emisiones antropogénicas.

En las sociedades occidentales se han generalizado las críticas a las políticas climáticas por los elevados costes económicos. Las medidas de la Comisión Europea para reducir emisiones podrían superar los 500.000 millones de euros, aumentando impuestos y el precio de la energía (fuentes renovables más caras e inestables). Otras críticas se concentran en la revisión de modelos climáticos. Algunos científicos consideran

que los modelos actuales no contemplan adecuadamente la captura de CO_2 por la vegetación ni las contradicciones en los datos (por ejemplo, el aumento del hielo marino en la Antártida).

Otro tercer grupo de críticas se refieren a cuestiones educativas y mediáticas. Algunos autores sostienen que se ofrece una información sesgada sobre el cambio climático. Los medios y materiales educativos suelen presentar el CO_2 como el único responsable del calentamiento, ignorando los ciclos naturales, al tiempo que transmiten ciertos errores específicos. Frente a estos últimos, insisten en las siguientes evidencias:

- a) El CO_2 no es un contaminante, ya que es natural y esencial.
- b) El calentamiento actual no es excepcional; ha habido períodos más cálidos y cambios más rápidos en la historia.
- c) No hay evidencia de que el aumento de temperatura en los últimos 100 años iguale el de los 18.000 años anteriores.
- d) Predicciones fallidas: Profecías catastrofistas (agujero de ozono, aumento del nivel del mar) no se han cumplido, siendo reemplazadas por otras más lejanas.

Finalmente, otras críticas se relacionan con la ineficiencia de estas políticas al cuestionar que la reducción de CO_2 podría no frenar el calentamiento, que estaría determinado más por ciclos orbitales naturales. Por esta razón, plantean alternativas a esos gastos: los recursos podrían destinarse a problemas más urgentes, como la contaminación por plásticos, pesticidas, deforestación o vertidos tóxicos, que reciben menos atención global.

Aunque el alarmismo puede motivar acciones ambientales, basarse en hipótesis no comprobadas sobre el cambio climático sería contraproducente a largo plazo. Por tanto, se aboga por difundir datos objetivos para que la sociedad forme opiniones bien fundadas, en lugar de promover narrativas catastrofistas que pueden generar un pánico injustificado. Además, las generaciones futuras juzgarían negativamente la actual gestión del cambio climático, de modo similar a como se criti-

ca a épocas pasadas por aferrarse a ideas erróneas frente a la evidencia científica.

El IPCC realiza informes estimando cuánto subirán las temperaturas cuando se duplique la cantidad de CO_2 en la atmósfera, cuando se triplique o cuando se multiplique por 2,5. Sin embargo, no tenemos ni idea de cómo va a evolucionar el CO_2 . No sabemos tampoco si el crecimiento del dióxido de carbono es proporcional, o si cada unidad adicional es más difícil que quede retenida en la atmósfera o no. Hay demasiadas variables que entran en juego como para realizar estimaciones al respecto, en horizontes temporales tan largos.

Timothy Patterson, paleoclimatólogo canadiense y profesor de Geología en la Carleton University de Canadá, cuestiona la versión oficial del cambio climático: «No existe una correlación significativa entre los niveles de CO_2 y la temperatura de la Tierra sobre esa línea del tiempo geológica. De hecho, cuando los niveles de CO_2 estuvieron diez veces más altos que hoy, hace alrededor de 450 millones de años, el planeta estaba en el período más frío absoluto de los últimos 5000 millones de años. Sobre la base de esta evidencia, ¿cómo podría alguien todavía creer que el aumento relativamente pequeño de los últimos niveles de CO_2 sería la causa principal del modesto calentamiento del siglo XX?». ²⁴ Y el químico neozelandés concluye: «La estafa del calentamiento global se ha perpetrado para respaldar la creencia ambientalista de que la Tierra está siendo perjudicada por la emisión de gases de efecto invernadero procedentes de la combustión de combustibles fósiles». ²⁵

24 Tom Harris: «Científicos responden a las advertencias de Gore de una catástrofe climática», *Canada Free Press*, junio de 2006.

25 Vicent Gray: «The Global Warming Scam», abril de 2008.

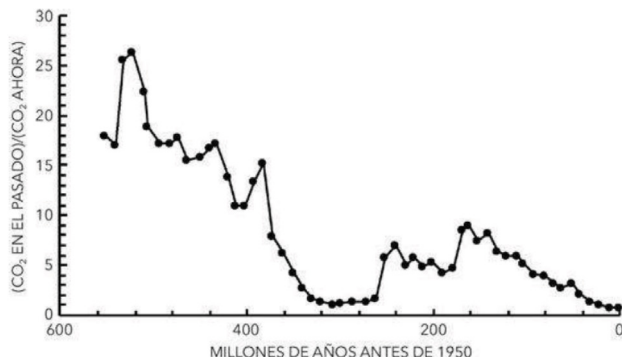


Figura 1.4.: Evolución de la concentración de CO_2 desde hace 550 millones de años hasta el presente.

En suma, se debe cuestionar la narrativa dominante que culpa al CO_2 del calentamiento global, destacando datos geológicos y recientes que sugieren una relación compleja y no necesariamente causal. Hay que abogar por un enfoque más equilibrado, que priorice problemas ambientales urgentes y revise las políticas climáticas en función de su eficacia y coste, promoviendo un debate científico abierto y una educación basada en hechos verificables.

El CO_2 no es un contaminante. Es esencial para toda la vida en la Tierra. La fotosíntesis es una bendición. Más CO_2 resulta beneficioso para la naturaleza, ya que reverdece la Tierra: el CO_2 adicional en el aire ha promovido el crecimiento de la biomasa vegetal global. También es bueno para la agricultura, ya que aumenta el rendimiento de los cultivos en todo el mundo.²⁶

En conclusión, resulta necesario cuestionar la narrativa dominante que atribuye el calentamiento global exclusivamente al CO_2 . Los datos geológicos y recientes apuntan a una relación más compleja, que no siempre es directamente causal.

26 Clintel: «There is no climate emergency», World Climate Declaration, 2 de mayo de 2025 (actualizado), 1992 científicos firmantes, <https://clintel.org/world-climate-declaration/>

Por ello, se propone un enfoque más equilibrado, que priorice los problemas ambientales más urgentes, revise las políticas climáticas según su eficacia y coste, y fomente un debate científico abierto, junto con una educación basada en hechos verificables.

e) La actividad solar

El Sol es una estrella de tipo enana amarilla, formada principalmente por hidrógeno y helio, con una edad aproximada de 4.500 millones de años. Se encuentra a unos 150 millones de kilómetros de la Tierra y es el centro de nuestro sistema solar. Toda la energía que permite la vida en nuestro planeta proviene de él. Aunque a simple vista parezca una fuente constante de luz y calor, el Sol es un astro activo y cambiante que está enviando energía al espacio de manera continua.

Con un diámetro de cerca de 1,4 millones de kilómetros, el Sol es el objeto más grande del sistema solar. Su enorme fuerza gravitatoria mantiene unidos a todos los planetas, asteroides y demás cuerpos que giran a su alrededor. A pesar de su tamaño, no es una estrella especialmente grande comparada con otras del universo: hay estrellas que son hasta 100 veces más grandes, y muchos sistemas estelares tienen dos o más soles.

En su interior, el Sol alcanza temperaturas superiores a los 15 millones de grados Celsius. Es en su núcleo donde ocurre la fusión nuclear, un proceso que convierte hidrógeno en helio y libera enormes cantidades de energía. La capa que vemos desde la Tierra, llamada fotosfera, es mucho más «fría», con unos 5.500 °C. Curiosamente, la capa más externa de su atmósfera, la corona, es mucho más caliente que la superficie: puede alcanzar los 2 millones de grados Celsius, algo que los científicos todavía están investigando.

La energía del Sol viaja hasta nosotros en forma de radiación electromagnética, que incluye varios tipos de ondas. Una parte es visible (la luz que podemos ver), pero también hay radiación ultravioleta (invisible y de alta energía, que puede dañar la piel) e infrarroja (también invisible, pero que sentimos

como calor). Por suerte, la atmósfera terrestre actúa como un escudo natural: la capa de ozono absorbe gran parte de la peligrosa radiación ultravioleta. En un día claro, la energía solar que llega a la superficie terrestre se distribuye más o menos así: un 10% ultravioleta, un 45% luz visible y otro 45% infrarroja.

Si imaginamos que al tope de la atmósfera llegan 100 «unidades» de energía solar, no toda esa energía llega al suelo ni se utiliza en el planeta.

- Unas 23 unidades son absorbidas por la atmósfera (por el ozono, el vapor de agua y las nubes).
- 46 unidades alcanzan y son absorbidas por la superficie terrestre (océanos y continentes).
- Las 31 unidades restantes son reflejadas de nuevo al espacio, ya sea por las nubes, el suelo o el aire.

Las 69 unidades que sí son absorbidas (por el aire o la superficie) alimentan los procesos naturales que hacen funcionar el planeta: desde el movimiento de los vientos y las corrientes oceánicas, hasta la fotosíntesis de las plantas o el ciclo del agua. Esta energía se transforma y se reparte en muchas formas: como movimiento (energía cinética), como calor, como energía química en los organismos vivos, o como energía potencial al elevar el agua que luego caerá como lluvia. Finalmente, toda esa energía se “degrada” y regresa al espacio en forma de calor.

La energía que entra y sale del sistema climático se mide en vatios por metro cuadrado (W/m^2). La energía de la luz solar que absorbe la Tierra (y, por tanto, la energía térmica que irradia) asciende a un promedio de $239 \text{ W}/\text{m}^2$. Dado que una bombilla incandescente de 100 vatios emite, claro está, 100 vatios (casi todos en forma de calor), esto significa que el planeta irradia calor como si en su superficie hubiera poco más de dos bombillas por metro cuadrado. La influencia humana suma hoy algo más de $2 \text{ W}/\text{m}^2$, es decir, algo menos del 1 % de ese flujo natural.²⁷

27 Steven E. Koonin: *No toda la culpa es nuestra*, op. cit., p. 53.

Dentro del sistema Tierra, la energía también se reparte de distintas maneras. Por ejemplo, la superficie (suelo y océanos) recibe más energía del Sol que la atmósfera, por lo que una parte de ese calor se transfiere hacia arriba. Esto ocurre por conducción (el calor pasa del suelo al aire), por convección (el aire caliente sube y se mezcla con el más frío), y, sobre todo, por evaporación del agua. Cuando el agua se evapora, se lleva calor con ella; cuando se condensa (al formar nubes o lluvia), ese calor se libera.

Algo similar ocurre entre las distintas regiones del planeta: el ecuador recibe mucha más energía solar que los polos. Esa diferencia genera grandes movimientos de aire y agua —lo que conocemos como la circulación general del planeta—, que ayudan a repartir el calor desde las zonas cálidas hacia las frías. Las corrientes oceánicas, como la Corriente del Golfo, cumplen un papel clave en este proceso, influyendo en el clima de muchos lugares.

Además, el vapor de agua funciona como una especie de «batería» de calor: al evaporarse, absorbe energía; al condensarse, la libera. Este intercambio de energía es fundamental para entender fenómenos meteorológicos como las tormentas, las lluvias y los huracanes.

Por otro lado, el Sol también juega un papel clave. En su superficie se observan unas regiones oscuras llamadas manchas solares, que son zonas más frías (entre 3.500 y 4.500 °K, frente a los 5.500 °K de su entorno) debido a intensos campos magnéticos que impiden que el calor ascienda desde el interior. Estas manchas aparecen y desaparecen siguiendo un ciclo de unos 11 años, conocido como ciclo solar, durante el cual la actividad del Sol aumenta y disminuye de forma natural.

Aunque las manchas solares son más frías, suelen ir acompañadas de zonas más brillantes llamadas «fáculas», que emiten más energía. Por eso, durante los períodos de alta actividad solar (cuando hay muchas manchas), la irradiancia solar total —es decir, la energía que emite el Sol hacia el espacio— aumenta ligeramente, aproximadamente un 0,1%.

Este pequeño cambio puede tener efectos sobre el clima terrestre. Un ejemplo histórico es el llamado Mínimo de Maunder (entre 1645 y 1715), un período con muy pocas manchas solares que coincidió con un notable enfriamiento en Europa, conocido como la Pequeña Edad de Hielo. Sin embargo, este enfriamiento también podría haber sido causado, al menos en parte, por una intensa actividad volcánica que bloqueó la luz solar con nubes de ceniza y aerosoles. La ciencia aún debate hasta qué punto las variaciones solares afectan al clima global, ya que la relación no es directa ni del todo comprendida.

Además del Sol, hay otra fuente de influencia externa que ha captado la atención de los científicos: los rayos cósmicos. Se trata de partículas subatómicas que llegan a la Tierra desde el espacio exterior. Al entrar en la atmósfera, estas partículas interactúan con las moléculas del aire, cargándolas eléctricamente (un proceso llamado ionización). Esto puede facilitar la formación de nubes, ya que las partículas cargadas sirven como núcleos de condensación para el vapor de agua.

Pero el flujo de rayos cósmicos no es constante. ¿Por qué? Porque el viento solar —una corriente de partículas emitidas por el Sol— actúa como un escudo que desvía parte de estos rayos cósmicos. Cuanto más activa está la superficie solar (es decir, cuando hay más manchas solares), más fuerte es este viento, y menos rayos cósmicos llegan a la Tierra. Y si llegan menos rayos cósmicos, se formarían menos nubes, lo que podría influir en el calentamiento del planeta.²⁸

Esta idea es la base de una hipótesis científica conocida como la teoría de la cosmoclimatología, propuesta por el físico danés Henrik Svensmark.²⁹ Según esta teoría, las estrellas que explotan en el universo (supernovas), al emitir rayos cósmicos, tendrían un efecto indirecto pero importante sobre el clima terrestre, al influir en la cobertura nubosa y, por

28 Enrique Ortega Gironés, José Antonio Saénz de Santa María y Stefan Uhlig: *Cambios climáticos*, Aula Magna/Mc Graw Hill, 2024, p. 127.

29 Henrik Svensmark: «Cosmoclimatology: a new theory emerges», *Astronomy & Geophysics*, Vol. 48, Febrero de 2007, pp. 118-124.

tanto, en la cantidad de energía solar que alcanza la superficie. Aunque esta teoría sigue siendo objeto de debate en la comunidad científica, ha abierto un campo fascinante de estudio sobre cómo factores externos –desde las profundidades del océano hasta los confines del universo– podrían estar vinculados al clima de nuestro planeta.

Los rayos cósmicos –partículas de alta energía que provienen del espacio interestelar– podrían desempeñar un papel importante en la formación de las nubes de baja altitud. Según algunas investigaciones, cuando aumenta la cantidad de rayos cósmicos que penetran en la atmósfera terrestre, también lo hace la nubosidad, lo que puede tener un efecto refrescante sobre el clima. Por el contrario, cuando la cantidad de rayos cósmicos disminuye, las nubes también lo hacen, permitiendo que más radiación solar llegue a la superficie terrestre y provocando un aumento de temperatura.

Durante más de dos décadas, los registros satelitales han mostrado una correlación entre la variación de los rayos cósmicos y los niveles de nubosidad. Esta posible conexión fue investigada en profundidad en el experimento SKY, realizado en el sótano del Centro Espacial Nacional de Dinamarca. En ese estudio, se comprobó que los electrones liberados por el paso de los rayos cósmicos en la atmósfera pueden favorecer la formación de núcleos de condensación, pequeñas partículas en las que se agrupa el vapor de agua para formar gotas y, con ellas, las nubes.

El flujo de rayos cósmicos que llega a nuestro planeta no es constante: depende en gran parte de la actividad solar. Cuando el Sol está muy activo (con muchas manchas solares), su campo magnético se intensifica y actúa como un escudo que bloquea parcialmente la entrada de estos rayos en la atmósfera terrestre. Así, menos rayos cósmicos implican menos nubes, más insolación y, por tanto, mayor temperatura. En cambio, cuando el Sol está tranquilo (poca

actividad), más rayos cósmicos logran entrar, se forman más nubes y el planeta se enfría.³⁰

Este fenómeno puede ayudar a explicar ciertos períodos fríos del pasado. El registro de estas fluctuaciones en los rayos cósmicos se conserva gracias a elementos radiactivos como el carbono-14, que se forman en la atmósfera precisamente por la acción de estas partículas y quedan atrapados en el hielo o en anillos de árboles, funcionando como una especie de «memoria cósmica» del clima.

Sin embargo, esta teoría de la cosmoclimatología aún genera debate. Aunque en el pasado se observaron correlaciones entre rayos cósmicos, nubosidad y temperatura —particularmente entre 1950 y 1970—, esa relación parece haberse debilitado en las últimas décadas. Investigaciones recientes, como las realizadas por Terence Sloan (Universidad de Lancaster) y Arnold Wolfendale (Universidad de Durham), muestran que, a pesar de que en años recientes los rayos cósmicos han aumentado, la temperatura global ha seguido subiendo. Estos estudios, publicados en *Environmental Research Letters*, encontraron solo una débil correlación, y por eso el IPCC (Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático) ha señalado que no hay evidencia concluyente de que los rayos cósmicos sean un factor decisivo en los cambios climáticos actuales.

Aun así, algunos investigadores sostienen que las variaciones del clima terrestre a lo largo del tiempo no pueden explicarse solo por factores humanos. El geólogo argentino Eduardo Malagnino, por ejemplo, destaca que «en los últimos cien años la temperatura media se incrementó en aproximadamente 1°C. Sin embargo, no se trata de una rareza ya que, si analizamos cómo fue la marcha de la temperatura planetaria durante los últimos 7000 años, podemos observar que la temperatura media global tuvo fluctuaciones importantes, del orden de 1° a 1,5 °C por encima y por debajo de los registros promedio actuales. Y lo que es más destacable: estas

30 Henrik Svensmark *et al*: «Increased ionization supports growth of aerosols into cloud condensation nuclei», *Nature communications*, 2017, vol. 8, no 1, p. 2199.

variaciones no estuvieron vinculadas con las actividades antropogénicas, sino que se relacionaron con oscilaciones de la radiación solar».³¹

f) Los océanos

Los océanos cubren aproximadamente el 71% de la superficie terrestre y desempeñan un papel fundamental en la regulación del clima global. Su influencia se debe a su capacidad para almacenar y transportar calor, absorber dióxido de carbono (CO₂) y modificar los patrones atmosféricos a través de procesos físicos y químicos. A continuación, se explica de manera científica y accesible cómo los océanos y las corrientes oceánicas impactan en el clima.

Los océanos tienen una alta capacidad calorífica específica, lo que significa que pueden absorber, almacenar y liberar grandes cantidades de calor sin cambios drásticos en su temperatura. Esto se debe a una propiedad física del agua: su alto calor específico, lo que significa que necesita mucha energía para aumentar su temperatura. Por ejemplo, calentar un kilogramo de agua requiere diez veces más energía que calentar la misma cantidad de hierro. En comparación con el aire, el agua puede almacenar alrededor de 4,2 veces más energía. Esto los convierte en un «termostato» natural del planeta. Por ejemplo, los océanos absorben cerca del 90% del exceso de calor generado por el aumento de gases de efecto invernadero, mitigando el calentamiento atmosférico.

Además, las corrientes oceánicas mueven agua cálida desde los trópicos hacia los polos y agua fría desde los polos hacia los trópicos, equilibrando las temperaturas globales. Sin esta redistribución, los trópicos serían mucho más cálidos y las regiones polares, más frías. Un ejemplo claro es la Corriente del Golfo, una corriente cálida que transporta calor desde el Golfo de México hacia el Atlántico Norte. Esto mantiene a Europa

31 Cit. en Tamara Novelle: «Eduardo Malagnino. El científico del Conicet y la ONU advierte sobre un enfriamiento global», en *Miradas al Sur/Sociedad*, N° 34, 15 de agosto de 2010.

occidental, como el Reino Unido o Noruega, mucho más cálida de lo que su latitud sugeriría.

Las corrientes oceánicas son impulsadas por factores como el viento, la rotación terrestre (efecto Coriolis) y las diferencias en temperatura y salinidad del agua. La circulación termohalina, conocida como la «cinta transportadora» global, es un sistema global de corrientes oceánicas que regula el clima al transportar calor, carbono y nutrientes a través de los océanos. Funciona gracias a las diferencias de densidad del agua, determinadas por su temperatura y salinidad. En regiones polares, como el Atlántico Norte, el agua superficial se enfría y se vuelve más salada al formarse hielo marino, lo que la hace más densa. Esta agua densa se hunde, formando masas como el Agua Profunda del Atlántico Norte (NADW), iniciando corrientes profundas que fluyen lentamente por las cuencas oceánicas.

Estas corrientes profundas viajan desde el Atlántico hacia el Índico y el Pacífico, a profundidades de 2 a 4 km, transportando agua fría rica en oxígeno y nutrientes esenciales para los ecosistemas marinos. En regiones como el Pacífico Norte o el Océano Antártico, el agua profunda asciende a la superficie mediante procesos como el afloramiento, impulsado por vientos o mezcla vertical. Este ascenso fertiliza la superficie con nutrientes, promoviendo la productividad biológica, y el agua, al calentarse en los trópicos, se vuelve menos densa y fluye como corriente superficial.

Las corrientes superficiales, como la Corriente del Golfo, cierran el ciclo al llevar agua cálida desde los trópicos hacia los polos, moderando el clima de regiones como Europa noroccidental. La circulación termohalina transporta aproximadamente 1 petavatio (1000 billones de watios) de calor, estabilizando las temperaturas globales, y regula el CO₂ atmosférico al almacenar carbono en el océano profundo. Además, el afloramiento sostiene pesquerías clave, como las de las costas de Perú.

g) Los ciclos de Milankovitch

Los ciclos de Milankovitch son variaciones periódicas en la

forma en que la Tierra se mueve alrededor del Sol. Aunque estos cambios ocurren muy lentamente —a lo largo de decenas o cientos de miles de años—, tienen un impacto profundo en el clima del planeta. Estas oscilaciones fueron estudiadas en detalle por el científico serbio Milutin Milankovitch a comienzos del siglo XX, y en su honor llevan su nombre.

En esencia, los ciclos de Milankovitch explican cómo pequeñas alteraciones en la órbita terrestre y en la inclinación de su eje modifican la cantidad y distribución de la energía solar que llega a nuestro planeta. Estos cambios no son perceptibles en escalas de tiempo humanas, pero sí han desempeñado un papel clave en la alternancia entre períodos de glaciaciones y etapas más cálidas a lo largo de la historia geológica de la Tierra.

Los ciclos de Milankovitch se basan en tres fenómenos astronómicos principales:

- 1) *Excentricidad orbital*: La órbita de la Tierra no es perfectamente circular: es una elipse que varía su forma con el tiempo. Cada 100.000 años, aproximadamente, la excentricidad (el grado de achatamiento de esa elipse) cambia. En los momentos de mayor excentricidad, la diferencia entre el punto más cercano y el más lejano al Sol es mayor, lo que altera la cantidad de radiación solar que recibe el planeta en distintas épocas del año. Esto puede acentuar las estaciones y favorecer el inicio o el fin de glaciaciones.
- 2) *Inclinación axial*: El eje sobre el que gira la Tierra está inclinado unos 23,5 grados respecto a la perpendicular de su órbita. Sin embargo, esta inclinación no es constante: oscila entre unos 22 y 24,5 grados en ciclos de unos 41.000 años. Cuando la inclinación es mayor, las diferencias entre verano e invierno se intensifican, sobre todo en las altas latitudes. Esto tiene efectos importantes sobre la cantidad de hielo que puede acumularse o derretirse en las regiones polares.
- 3) *Precesión de los equinoccios*: Imagina una peonza que gira lentamente mientras también se tambalea. Algo parecido le ocurre a la Tierra: su eje de rotación describe un giro lento, como un cono, a lo largo de unos 26.000

años. Este fenómeno, llamado precesión, cambia la orientación del eje terrestre en el espacio, lo que a su vez modifica la posición de las estaciones en la órbita anual. Por ejemplo, actualmente el invierno en el hemisferio norte ocurre cuando la Tierra está más cerca del Sol, pero en unos miles de años sucederá lo contrario.

Aunque cada uno de estos ciclos tiene un ritmo diferente y un impacto distinto, su efecto combinado es lo que determina las grandes transformaciones climáticas del pasado, como las edades de hielo. Milankovitch fue pionero en calcular cómo varía la radiación solar (insolación) a lo largo del tiempo debido a estos ciclos. Sus modelos mostraron oscilaciones de hasta un 3 % por encima o por debajo de un valor medio, lo suficiente como para desencadenar cambios significativos en el clima global.

Estas variaciones, que se extienden hasta 150.000 años hacia el pasado y el futuro, ayudan a los científicos a entender el ritmo natural del clima terrestre, diferenciándolo de los cambios provocados por la actividad humana en tiempos recientes. Como puede verse en la gráfica, las variaciones oscilan entre aumentos o disminuciones máximas de un 3% respecto de la línea horizontal central, considerada como valor medio de todo el ciclo.

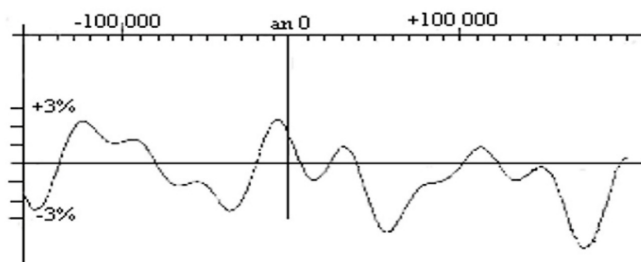
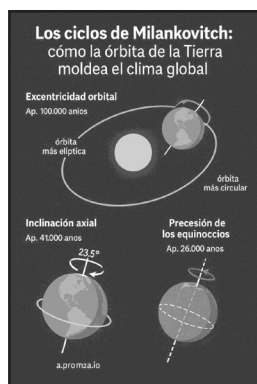


Figura 1.5.- Temperatura media desde hace 100.000 años hasta la prevista para los próximos 100.000 años, según los ciclos de Milankovitch.



Aunque las teorías de Milankovitch fueron innovadoras en su época, durante décadas quedaron relegadas al olvido. Solo a finales del siglo XX comenzaron a cobrar nueva relevancia, gracias a investigaciones realizadas en el casquete glaciar de Groenlandia. En esa región, el hielo se ha ido acumulando durante cientos de miles de años, formando un estrato de varios kilómetros de espesor. Este hielo se deposita en capas anuales muy finas, como si fueran las páginas de un libro climático. Entre los cristales de

nieve compactada —que con el tiempo se transforman en hielo por la presión de las capas superiores— quedan atrapadas pequeñas burbujas de aire. Estas burbujas son cápsulas del tiempo: conservan intacta la composición de la atmósfera en el momento en que quedaron selladas.

Al analizar el contenido de estas burbujas y la proporción de ciertos isótopos, como el oxígeno-18 (^{18}O),³² los científicos pueden reconstruir con gran precisión las condiciones climáticas del pasado. Este tipo de análisis se conoce como un *proxy*, o indicador indirecto del clima.

El estudio sistemático de miles de estas capas de hielo ha permitido trazar una historia detallada del clima de la Tierra durante los últimos cientos de miles de años. Y aquí es donde surgió una sorpresa extraordinaria: al representar gráficamente los cambios de temperatura registrados, los investigadores encontraron patrones cíclicos que coincidían notablemente con las predicciones que Milankovitch había hecho décadas antes.³³ Las oscilaciones térmicas observadas en los núcleos

32 L. Bruce Railsback et al.: «An optimized scheme of lettered marine isotope substages for the last 1.0 million years, and the climatostratigraphic nature of isotope stages and substages», *Quaternary Science Reviews*, Vol. 111, 1 de marzo de 2015, pp. 94-106.

33 Enrique Ortega Gironés, José Antonio Saénz de Santa María y Stefan Uhlig: *Cambios climáticos*, op. cit., P. 114.

de hielo seguían el mismo ritmo que los ciclos orbitales descritos por el científico serbio, confirmando así que sus cálculos no solo eran correctos, sino fundamentales para entender la historia climática de nuestro planeta.

h) La temperatura media global

La temperatura media global es uno de los indicadores más utilizados para estudiar el cambio climático. Nos ayuda a identificar tendencias a largo plazo y a entender cómo el clima está siendo influido tanto por fenómenos naturales (huracanes, erupciones volcánicas, etc.) como por la actividad humana (emisión de gases, contaminación, incendios). Sin embargo, este concepto plantea una pregunta clave: ¿es realmente representativo hablar de una única «temperatura media» para todo el planeta?

Lo primero que hay que entender es que la temperatura media global no se mide directamente, sino que se calcula a partir de miles de registros individuales distribuidos por todo el mundo. Se trata, por tanto, de un valor estadístico, una especie de «índice climático» que resume una gran cantidad de datos, pero que no corresponde a una magnitud física concreta que podamos medir como, por ejemplo, la temperatura de un vaso de agua.

Como explica el geólogo Enrique Ortega, «la temperatura media global no se corresponde con una realidad física inmediata, ya que se trata de un valor estadístico calculado por diversos procedimientos, un índice que recoge muchos datos e informaciones diferentes. Así pues, *estricto sensu*, no se puede hablar de la temperatura media global de la Tierra, porque nadie puede medir esa temperatura y no es una magnitud física, por lo tanto, al no tratarse de una medida, sino de un cálculo, está inevitablemente sujeto a controversia, especialmente en relación con el procedimiento utilizado para su obtención, y en la práctica es objeto de una permanente revisión».³⁴

Esto significa que no hay un termómetro que mida «la temperatura del planeta», sino un conjunto de procedimientos

34 Ibídem, p. 80.

que buscan estimarla de forma razonable, aunque imperfecta. Como cualquier estimación estadística, la temperatura media global tiene un margen de error, lo que introduce un grado de incertidumbre. Por ejemplo, cuando se habla de anomalías térmicas (es decir, diferencias respecto a una temperatura promedio en un período de referencia), esas cifras están sujetas a posibles desviaciones, sobre todo en las mediciones más recientes.

Generalmente, los estudios toman como punto de referencia el período 1850–1900, conocido como época preindustrial, cuando la temperatura media estimada era de unos 13,6 °C (y no 14 °C, como a veces se menciona). Sin embargo, este período coincide con el final de la Pequeña Edad de Hielo, un episodio particularmente frío, por lo que no es necesariamente el mejor punto de comparación.

Según el proyecto Berkeley Earth Surface Temperature (BEST), en 2022 la temperatura media global había aumentado 1,24 °C respecto a ese período preindustrial. Desde 1980, se observa una tendencia general al alza, aunque entre 2012 y 2022 la curva parece haberse estabilizado. En promedio, el aumento ha sido de 0,02 °C por año, es decir, 0,8 °C en 40 años. Aunque estas cifras indican calentamiento, el incremento es pequeño si se compara con las variaciones térmicas que la Tierra ha experimentado a lo largo de su historia geológica. Además, muchas de estas anomalías están dentro del margen de error estadístico, lo que complica su interpretación y reduce su impacto percibido.

Es importante recordar que la temperatura media global – generalmente calculada en torno a 14 °C – no representa la enorme diversidad climática de la Tierra. Mientras que en los polos se pueden alcanzar los -40 °C, en zonas como el Sahara es común superar los +25 °C. La media, por tanto, no refleja ninguna situación real específica, sino que es una simplificación útil para el análisis climático global.

A pesar de estas limitaciones, la temperatura media sigue siendo una herramienta valiosa y ampliamente utilizada en climatología, al igual que otros promedios como las precipitaciones o las horas de Sol. En realidad, el clima de cualquier lugar

del planeta se describe mediante promedios estadísticos, que resumen la sucesión de fenómenos y condiciones atmosféricas a lo largo del tiempo. Por eso, podemos decir que el clima es, por naturaleza, una construcción estadística.

Para calcular la temperatura media global, los científicos utilizan una malla global dividida en celdas de $5^\circ \times 5^\circ$ (aproximadamente 500×500 km), dentro de las cuales se promedian las anomalías térmicas medidas en más de 26.000 estaciones meteorológicas. Estas anomalías se definen como la diferencia entre la temperatura media mensual registrada y la media del período 1961-1990. Sin embargo, el cálculo presenta varios problemas:

- a) Distribución desigual de las estaciones: La mayoría de las estaciones del sistema GHCN (Global Historical Climatology Network) están ubicadas en el hemisferio norte, especialmente en Europa, Estados Unidos y Canadá, lo que deja grandes zonas del planeta poco representadas.
- b) Pocos registros antiguos: De esas 26.000 estaciones, solo 226 tienen datos desde hace más de 150 años. La más antigua es la de Berlín-Dahlem (1719).
- c) Limitaciones de los satélites: Aunque desde hace décadas se dispone de mediciones satelitales, estas cubren un período muy corto y no son comparables con los registros terrestres históricos.
- d) Errores e incertidumbres: Se consideran fuentes de error la precisión de los termómetros, la calidad de los datos, los cambios en el entorno urbano (como el efecto «isla de calor»), y la escasa cobertura en ciertas regiones.

El físico noruego-canadiense Ivar Giaever,³⁵ Premio Nobel en 1973, fue especialmente crítico con esta metodología. En una conferencia de 2015 en Lindau, cuestionó la fiabilidad de estimar la temperatura global con una precisión de una décima de grado, dadas las carencias y desigualdades en la re-

35 Ivar Giaever formó parte durante un tiempo del International Panel of Climatic Change IPCC, un grupo de estudio sobre el cambio climático promovido por la ONU, del cual se excluyó voluntariamente por desacuerdo con sus métodos de trabajo.

cogida de datos, especialmente si se comparan mediciones modernas con las realizadas en el siglo XIX.

Como ejemplo, durante el período 1961-1990, la temperatura media se estimó en $14,7\text{ }^{\circ}\text{C}$, con un margen de error de $\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ (equivalente al 3,6 %). En contraste, la anomalía térmica registrada en 2010 ($0,53\text{ }^{\circ}\text{C}$) tenía un margen de error de $\pm 0,09\text{ }^{\circ}\text{C}$ (es decir, un 17 %), lo que muestra una menor fiabilidad en las estimaciones más pequeñas. Además, el aumento promedio de $0,026\text{ }^{\circ}\text{C}$ por año entre 1992 y 2010 no parece especialmente alarmante si se compara con las fluctuaciones que ha experimentado el clima terrestre a lo largo de su historia.

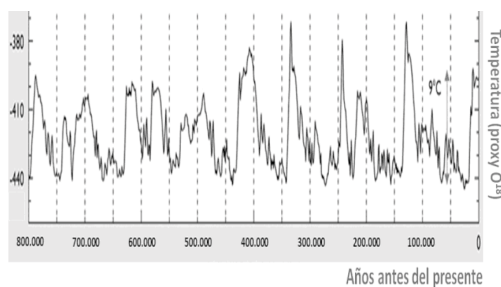


Figura 1.6.: Evolución de la temperatura media global desde hace 800.000 años hasta el presente.

i) Algunas nociones de paleoclimatología

La paleoclimatología es la ciencia que estudia los climas del pasado a lo largo de la historia de la Tierra. Su objetivo principal es reconstruir las condiciones climáticas que existieron en diferentes épocas geológicas y comprender las tendencias naturales de cambio climático a largo plazo.

Para ello, los paleoclimatólogos se basan en registros naturales conocidos como registros paleoclimáticos, que actúan como testigos del clima antiguo. A partir de ellos, se pueden deducir temperaturas, precipitaciones, composiciones atmosféricas y otros aspectos del clima pasado. Entre los principales registros paleoclimáticos se encuentran:

1. Núcleos de hielo

Los núcleos de hielo son cilindros extraídos de capas profundas de hielo en regiones polares o en zonas de alta montaña. Estas capas se han acumulado durante cientos de miles de años y han quedado atrapadas en ellas pequeñas burbujas de aire, polvo, cenizas volcánicas, y polen. Gracias a estos elementos, se pueden estimar la temperatura media de épocas pasadas, tanto en invierno como en verano, así como las precipitaciones de cada estación.

2. Fósiles de animales y plantas

Los fósiles también ofrecen información clave sobre el clima. Por ejemplo, la presencia de mamuts indica un clima frío, mientras que ciertos animales de gran tamaño se asocian a climas cálidos. En cuanto a las plantas, el tamaño y la forma de las hojas nos revelan datos del entorno: hojas grandes y anchas sugieren ambientes húmedos y tropicales, mientras que hojas pequeñas o espinas (como las de los cactus) indican climas secos. Además, el polen fosilizado permite identificar qué tipos de vegetación existían en determinadas zonas, lo que a su vez ayuda a inferir las condiciones climáticas.

3. Anillos de los árboles

La dendrocronología es la ciencia que estudia los anillos de crecimiento de los árboles. Cada año, los árboles añaden un nuevo anillo a su tronco, cuyo grosor depende de las condiciones climáticas: temperaturas, precipitaciones, sequías, incendios o plagas. Así, anillos más finos suelen indicar años secos, mientras que anillos más gruesos reflejan años con mejor crecimiento.

4. Sedimentos y formaciones geológicas

Los sedimentos oceánicos y lacustres, así como ciertos tipos de rocas y depósitos, también aportan valiosa información: a) Morrenas glaciares indican la presencia de antiguos glaciares; b) Evaporitas señalan climas áridos y cálidos; c) Rocas rojizas

(debido a la oxidación del hierro) reflejan climas con estaciones alternas secas y lluviosas; c) Carbones se asocian a vegetación abundante en climas cálidos y húmedos; d) Dunas fosilizadas indican zonas desérticas y revelan la dirección del viento predominante; e) Sedimentos marinos y lacustres contienen compuestos químicos y microfósiles que permiten reconstruir el clima de forma muy detallada.

5. Corales

Los corales crecen en mares cálidos, con temperaturas superiores a los 22 °C y aguas limpias y transparentes. Por tanto, su presencia señala condiciones cálidas y estables. Además, como los árboles, los corales desarrollan anillos de crecimiento que pueden analizarse para conocer la temperatura, salinidad y composición química del agua en el pasado.

Gracias a estos registros, los científicos han podido reconstruir la evolución de la temperatura de nuestro planeta a diferentes escalas temporales.

1) A escala geológica (millones de años), la Tierra ha pasado por ciclos naturales de calentamiento y enfriamiento durante miles de millones de años, con temperaturas que han oscilado entre los 5 °C en las glaciaciones y los 25-30 °C en períodos cálidos. Los momentos más cálidos se dieron en:

- a) El Arcaico (hace 2500 millones de años)
- b) El Proterozoico (hace 1200 millones)
- c) El Cámbrico (hace 500 millones)
- d) El Devónico (hace 400 millones)
- e) El Carbonífero (hace 330 millones)
- f) El Jurásico (hace 190 millones)
- g) El Cretácico (hace 100 millones)

La temperatura media actual (14 °C) es relativamente baja en comparación.

2) En los últimos 65 millones de años, se observa una tendencia general al enfriamiento. Por ejemplo:

- a) Hace 50 millones de años: temperatura media de unos 20 °C
 - b) Hace 15 millones de años: unos 18 °C
 - c) Durante las glaciaciones cuaternarias, la temperatura descendió por debajo de los 10 °C.
- 3) En los últimos 400.000 años, los registros de núcleos de hielo de la Antártida y Groenlandia revelan ciclos de unos 100.000 años de duración, con alternancia entre períodos glaciales e interglaciares.
- 4) En los últimos 3.000 años, se detectan oscilaciones menores:
- a) A mediados del siglo XIX: 13,5 °C
 - b) En torno a 1900: 13,8 °C

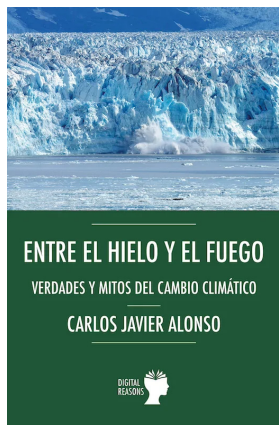
Esto sugiere que la temperatura preindustrial de referencia debería situarse en torno a los 13,6 °C.

Desde una perspectiva histórica, la Tierra ha atravesado centenares de ciclos climáticos, muchos de ellos más extremos que el actual. Los períodos glaciares son una excepción en la historia del planeta, representando solo el 10 % del tiempo geológico. En cambio, los climas más cálidos han sido la norma.

«Los archivos geológicos revelan que el clima de la Tierra ha variado desde que existe el planeta, con fases naturales frías y cálidas. La Pequeña Edad de Hielo terminó recientemente, en 1850. Por lo tanto, no es de extrañar que ahora estemos experimentando un período de calentamiento».³⁶

36 Clintel: «World Climate Declaration. There is no climate emergency», 2 de mayo de 2025 (actualizado), 1992 científicos firmantes, <https://clintel.org/world-climate-declaration/>

¿Quieres seguir leyendo?



Acabas de leer el comienzo de *Entre el hielo y el fuego*. *Verdades y mitos del cambio climático*, de Carlos Javier Alonso. El libro completo recorre en seis capítulos el debate climático: examina las evidencias que esgrime cada bando, sus posibles sesgos y la solidez de sus razonamientos, y rastrea la evolución histórica de la controversia.

Comprar el libro completo ›

bibliotecaonline.es/entre-el-hielo-y-el-fuego

QUÉ ENCONTRARÁS EN EL LIBRO

- **La ciencia del clima frente a los mitos.** Fundamentos de climatología —atmósfera, gases de efecto invernadero, Sol, océanos, ciclos de Milankovitch, paleoclima— y los principales mitos climáticos.
- **Ecoalarmismo y climoescepticismo.** La teoría oficial del cambio climático, los argumentos de quienes la defienden y de quienes la cuestionan, y sus principales exponentes.
- **El realismo climático.** La tercera postura: reconoce el cambio climático, pero pone el acento en la adaptación antes que en la mitigación. Argumentos y autores.
- **La politización del clima.** Cómo hemos llegado hasta aquí, el IPCC en cuestión, la Agenda 2030 y el Pacto Verde, y las conclusiones del autor.

Con una bibliografía esencial para seguir profundizando.

Digital Reasons

bibliotecaonline.es

pedidos@bibliotecaonline.es

ISBN (papel): 978-84-10093-31-7



Escanea para comprar