

# Cambio climático

## Evidencia y causas



Actualización 2020

*Una visión general de la Royal Society y la  
US National Academy of Sciences*



THE  
ROYAL  
SOCIETY

**EL CAMBIO CLIMÁTICO ES UNO DE LOS TEMAS DEFINITIVOS DE NUESTRO TIEMPO.** Ahora es más seguro que nunca, basado en muchas líneas de evidencia, de que los humanos están cambiando el clima de la Tierra. La atmósfera y los océanos se han calentado, lo que ha ido acompañado de un aumento del nivel del mar, una fuerte disminución del hielo marino del Ártico y otros cambios relacionados con el clima. Los impactos del cambio climático en las personas y la naturaleza son cada vez más evidentes. Inundaciones, olas de calor e incendios forestales sin precedentes han costado miles de millones en daños. Los hábitats están experimentando cambios rápidos en respuesta a los cambios de temperatura y patrones de precipitación.

La Royal Society y la Academia Nacional de Ciencias de Estados Unidos, con sus misiones similares de promover el uso de la ciencia en beneficio de la sociedad y para informar debates políticos críticos, produjo el *cambio climático original: evidencia y causas en 2014*. Fue escrito y revisado por un experto del Reino Unido y EE. UU. equipo de destacados científicos del clima. Esta nueva edición, preparada por el mismo equipo de autores, ha sido

actualizado con los datos climáticos y análisis científicos más recientes, todo lo cual refuerza nuestra comprensión del cambio climático causado por el hombre.

La evidencia es clara. Sin embargo, debido a la naturaleza de la ciencia, no todos los detalles están totalmente establecidos o ciertos. Tampoco se han respondido aún todas las preguntas pertinentes. La evidencia científica continúa reunirse en todo el mundo. Algunas cosas se han vuelto más claras y han surgido nuevas ideas. Por ejemplo, el período de calentamiento más lento durante la década de 2000 y principios de 2010 terminó con un salto dramático hacia temperaturas más cálidas entre 2014 y 2015. La extensión del hielo marino antártico, que había ido aumentando, comenzó a disminuir en 2014, alcanzando un mínimo histórico en 2017 que ha persistido. Estas y otras observaciones recientes se han entrelazado en las discusiones sobre las cuestiones abordadas en este folleto.

Los llamados a la acción son cada vez más fuertes. La Encuesta Global de Percepción de Riesgos 2020 en el Mundo El Foro Económico clasificó el cambio climático y las cuestiones ambientales relacionadas entre los cinco principales riesgos que probablemente se producirán en los próximos diez años. Sin embargo, la comunidad internacional aún tiene mucho por hacer mostrando una mayor ambición en materia de mitigación, adaptación y otras formas de abordar el cambio climático.

La información científica es un componente vital para que la sociedad tome decisiones informadas sobre cómo reducir la magnitud del cambio climático y cómo adaptarse a sus impactos. Este folleto sirve como documento de referencia clave para tomadores de decisiones, formuladores de políticas, educadores y otras personas que buscan respuestas autorizadas sobre el estado actual de la ciencia del cambio climático.

Estamos agradecidos de que hace seis años, bajo el liderazgo del Dr. Ralph J. Cicerone, ex Presidente de la Academia Nacional de Ciencias, y Sir Paul Nurse, ex presidente de la Royal Society, estas dos organizaciones se asociaron para producir una descripción general de alto nivel de la ciencia del cambio climático. Como Presidentes actuales de estas organizaciones, nos complace ofrecer una actualización de esta referencia clave, apoyado por la generosidad de la Familia Cicerone.

**Marcia McNutt**

Presidente, Academia Nacional de Ciencias

**Venki Ramakrishnan**

Presidente de la Royal Society

## Más para leer

Para una discusión más detallada de los temas tratados en este documento (incluidas referencias a la investigación original subyacente), consulte:

- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2019: Informe especial sobre el océano y la criósfera en un clima cambiante [<https://www.ipcc.ch/srocc>]
- National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine (NASEM), 2019: Tecnologías de emisiones negativas y confiable Secuestro: una agenda de investigación [<https://www.nap.edu/catalog/25259>]
- Royal Society, 2018: Greenhouse gas removal [<https://raeng.org.uk/greenhousegasremoval>]
- U.S. Global Change Research Program (USGCRP), 2018: Cuarto Evaluación Nacional del Clima Volumen II: Impactos, Riesgos y Adaptación en Estados Unidos [<https://nca2018.globalchange.gov>]
- IPCC, 2018: Global Warming of 1.5°C [<https://www.ipcc.ch/sr15>]
- USGCRP, 2017: Fourth National Climate Assessment Volume I: Clima Informes especiales científicos [<https://science2017.globalchange.gov>]
- NASEM, 2016: Atribución de eventos climáticos extremos en el Contexto del Cambio Climático [<https://www.nap.edu/catalog/21852>]
- IPCC, 2013: Quinto Informe de Evaluación (AR5) Grupo de Trabajo 1. Cambio climático 2013: la base de la ciencia física [<https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1>]

- NRC, 2013: Impactos abruptos del cambio climático: anticipando Sorpresas [<https://www.nap.edu/catalog/18373>]
- NRC, 2011: Objetivos de estabilización climática: emisiones, concentraciones, e impactos a lo largo de décadas a milenios [<https://www.nap.edu/catalog/12877>]
- Royal Society 2010: Cambio climático: un resumen de la ciencia [<https://royalsociety.org/topics-policy/publications/2010/climate-change-summary-science>]
- NRC, 2010: Las opciones climáticas de Estados Unidos: avanzando la ciencia del Cambio Climático [<https://www.nap.edu/catalog/12782>]

Gran parte de los datos originales que sustentan los hallazgos científicos discutidos aquí están disponibles en:

- <https://data.ucar.edu/>
- <https://climatedataguide.ucar.edu>
- <https://iridl.ldeo.columbia.edu>
- <https://ess-dive.lbl.gov/>
- <https://www.ncdc.noaa.gov/>
- <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/>
- <http://scrippsco2.ucsd.edu>
- <http://hahana.soest.hawaii.edu/hot/>



**THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES (NAS)** se estableció para asesorar a los Estados Unidos sobre cuestiones científicas y técnicas cuando el presidente Lincoln firmó un acuerdo del Congreso carta en 1863. El Consejo Nacional de Investigación, el brazo operativo de la Academia Nacional de Ciencias y la Academia Nacional de Ingeniería, ha emitido numerosos informes sobre las causas y posibles respuestas al cambio climático. Recursos para el cambio climático del Consejo Nacional de Investigación están disponibles en [nationalacademies.org/climate](http://nationalacademies.org/climate).



**THE ROYAL SOCIETY** es una comunidad autónoma de muchos de los más distinguidos científicos del mundo. Sus miembros provienen de todas las áreas de la ciencia, la ingeniería, y medicina. Es la academia nacional de ciencias en el Reino Unido. El propósito fundamental de la Sociedad, reflejado en sus Cartas fundacionales de la década de 1660, es reconocer, promover y apoyar la excelencia en la ciencia y fomentar el desarrollo y uso de la ciencia en beneficio de la humanidad. Más información sobre el trabajo de la Sociedad sobre el cambio climático está disponible en [royalsociety.org/policy/climate-change](http://royalsociety.org/policy/climate-change)



NATIONAL ACADEMY  
OF SCIENCES

THE  
ROYAL  
SOCIETY

# Contenido

<i>Sumario</i> .....	2
----------------------	---

## *Preguntas y respuestas sobre el cambio climático*

1. ....	¿S
e está calentando el clima? .....	3
2. ....	¿C
ómo saben los científicos que el cambio climático reciente es causado en gran medida por las actividades humanas? .....	5
3. ....	El
CO2 ya se encuentra naturalmente en la atmósfera, entonces ¿por qué son significativas las emisiones de la actividad humana? .....	6
4. ....	¿Q
ué papel ha jugado el Sol en el cambio climático en las últimas décadas? .....	7
5. ....	¿Q
ué efectos tienen los cambios en la estructura vertical de la temperatura atmosférica? -desde la superficie hasta la estratosfera- ¿cuéntenos sobre las causas del reciente cambio climático? .....	8
6. ....	El
clima siempre está cambiando. ¿Por qué el cambio climático es motivo de preocupación ahora? .....	9
7. ....	¿El
nivel actual de concentración de CO2 atmosférico no tiene precedentes en la historia de la Tierra? ...	9
8. ....	¿E
xiste un punto en el que añadir más CO2 no provocará un mayor calentamiento? .....	10
9. ....	¿V
aría el ritmo de calentamiento de una década a otra? .....	11
10. ....	¿La
desaceleración del calentamiento durante la década de 2000 y principios de 2010 significa que el cambio climático ya no ocurre? .....	12

<i>Los fundamentos del cambio climático</i> .....	<b>B1-B8</b>
---	--------------

## *Preguntas y respuestas sobre el cambio climático* (continuación)

11. ....	Si
el mundo se está calentando, ¿por qué algunos inviernos y veranos siguen siendo muy fríos? .....	13
12. ....	¿P
or qué está disminuyendo el hielo marino del Ártico mientras que el hielo marino de la Antártida ha cambiado poco? .....	14
13. ....	¿C
ómo afecta el cambio climático a la fuerza y la frecuencia de inundaciones, sequías, huracanes y tornados? .....	15
14. ....	¿A
qué velocidad está aumentando el nivel del mar? .....	16
15. ....	¿Q
ué es la acidificación de los océanos y por qué es importante? .....	17
16. ....	¿Q
ué confianza tienen los científicos en que la Tierra se calentará aún más durante el próximo siglo? .	18

17. ....	¿S	on motivo de preocupación los cambios climáticos de unos pocos grados? .....	19
18. ....	¿Q	ué están haciendo los científicos para abordar las incertidumbres clave en nuestra comprensión del sistema climático? .....	19
19. ....	¿S	on los escenarios de desastre se refieren a puntos de inflexión como “apagar la Corriente del Golfo” y la liberación de metano del Ártico motivo de preocupación? .....	21
20. ....	Si	se detuvieran las emisiones de gases de efecto invernadero, ¿volvería el clima a las condiciones de hace 200 años? .....	22
<i>Conclusión</i> .....			23
<i>Agradecimientos</i> .....			24

## Sumario

**LOS GASES DE EFECTO INVERNADERO** como el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) absorben calor (radiación infrarroja) emitido desde la superficie de la Tierra. Los aumentos en las concentraciones atmosféricas de estos gases hacen que la Tierra se caliente al atrapar más de este calor. Las actividades humanas, especialmente la quema de combustibles fósiles desde el inicio de la Revolución Industrial—han aumentado concentraciones atmosféricas de CO<sub>2</sub> en más del 40%, y más de la mitad del aumento se produjo desde 1970. Desde 1900, la temperatura superficial promedio global ha aumentado aproximadamente 1°C (1,8°F). Esto ha ido acompañado del calentamiento del océano, un aumento del nivel del mar, una fuerte disminución del hielo marino del Ártico, aumentos generalizados en la frecuencia e intensidad de olas de calor y muchos otros efectos climáticos asociados. Gran parte de este calentamiento ha ocurrido en las últimas cinco décadas. Análisis detallados han demostrado que el calentamiento durante este período se debe principalmente al aumento de las concentraciones de CO<sub>2</sub> y otros gases de invernadero. Las continuas emisiones de estos gases provocarán un mayor cambio climático, incluidos aumentos sustanciales en la temperatura superficial promedio global e importantes cambios en el clima regional. La magnitud y el momento de estos cambios dependerán de muchos factores, y las desaceleraciones y aceleraciones del calentamiento que duren una década o más siguen ocurriendo. Sin embargo, el cambio climático a largo plazo durante muchas décadas dependerá principalmente de la cantidad total de CO<sub>2</sub> y otros gases de efecto invernadero emitidos como resultado de actividades humanas.



## 2 Cambio Climático

### Preguntas y Respuestas

1

#### *¿Se está calentando el clima?*

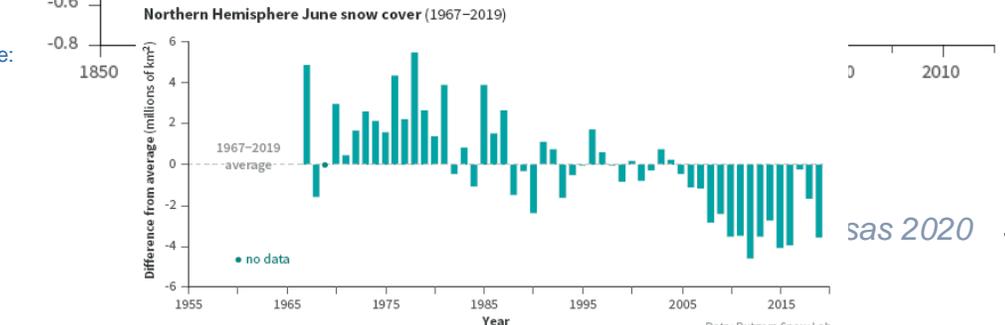
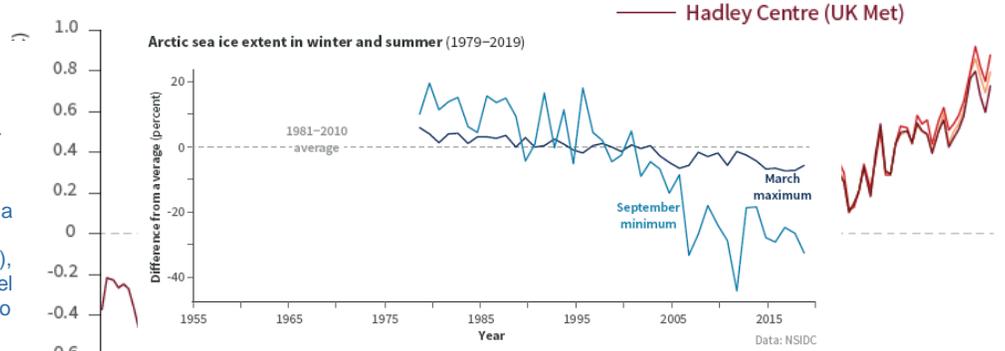
*Sí. La temperatura promedio del aire en la superficie de la Tierra ha aumentado aproximadamente 1 °C (1,8 °F) desde 1900, y más de la mitad del aumento se produjo desde mediados de la década de 1970 [Figura 1a]. un amplio rango de otras observaciones (como la reducción de la extensión del hielo marino en el Ártico y el aumento de contenido de calor del océano) e indicaciones del mundo natural (como cambios hacia los polos de especies de peces, mamíferos, insectos, etc. sensibles a la temperatura) juntos proporcionan evidencia incontrovertible de calentamiento a escala planetaria.*

La evidencia más clara del calentamiento de la superficie proviene de registros de termómetros generalizados que, en algunos lugares, se remontan a finales del siglo XIX. Hoy en día, las temperaturas se controlan a muchos miles de ubicaciones, tanto en la superficie terrestre como en el océano. Estimaciones indirectas del cambio de temperatura a partir de tales fuentes como los anillos de los árboles y los núcleos de hielo ayudan a situar los cambios de temperatura recientes en el contexto del pasado. En términos de la temperatura promedio de la superficie de la Tierra, estas estimaciones indirectas muestran que de 1989 a 2019 fue muy probablemente el período de 30 años más cálido en más de 800 años; la década más reciente, 2010-2019, es la década más cálida en el registro instrumental hasta el momento (desde 1850).

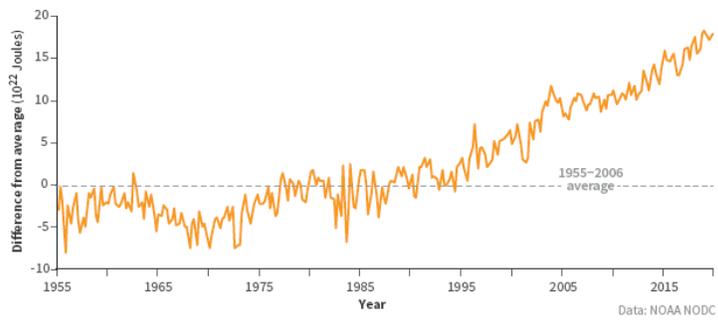
Un amplio rango de otras observaciones proporciona una imagen más completa del calentamiento a lo largo del sistema climático. Por ejemplo, la atmósfera inferior y las capas superiores del océano también se han calentado, la capa de nieve y hielo está disminuyendo en el hemisferio norte, la capa de hielo de Groenlandia se está reduciendo y el nivel del mar está aumentando [Figura 1b]. Estas mediciones se realizan con una variedad de sistemas de monitoreo terrestres, oceánicos y espaciales., lo que brinda mayor confianza en la realidad del calentamiento a escala global del clima de la Tierra.

Figura 1b. Una gran cantidad de evidencia observacional además Los registros de temperatura de la superficie muestran que el clima de la Tierra está cambiando. Por ejemplo, evidencia adicional de una tendencia al calentamiento se puede encontrar en la espectacular disminución de la extensión del hielo marino del Ártico en su mínimo de verano (que ocurre en septiembre), la disminución de Capa de nieve de junio en el hemisferio norte, los aumentos en la promedio global del océano superior (superior 700 m o 2300 pies) contenido de calor (se muestra en relación al promedio del período 1955-2006) , y el aumento del nivel global del mar. Fuente: NOAA Climate.gov

### Annual global surface temperature (1850–2019)



### Upper ocean heat content (1955–2019)



## Preguntas y Respuestas

Figura 1a. El promedio global de la temperatura de la superficie de la Tierra ha aumentado como se muestra en este gráfico de combinación mediciones terrestres y oceánicas de 1850 a 2019, derivado de tres análisis independientes de conjuntos de datos disponibles. Los cambios de temperatura son relativos al promedio global de la temperatura superficial de 1961-1990. Fuente: NOAA Climate.gov; datos de UK Met Office Hadley Centre (maroon), US National Aeronautics and Space Administration Goddard Institute for Space Studies (red), and US National Oceanic and Atmospheric Administration National Centers for Environmental Information (orange)..

### Global sea level (1955–2019)



2

### ¿Cómo saben los científicos que el reciente cambio climático es causado en gran parte por actividades humanas?

Los científicos saben que el cambio climático reciente es causado en gran medida por las actividades humanas desde un punto de vista comprensión de la física básica, comparación de observaciones con modelos y toma de huellas dactilares de los patrones detallados del cambio climático causados por diferentes influencias humanas y naturales.

Desde mediados del siglo XIX, los científicos saben que el CO<sub>2</sub> es uno de los principales gases de efecto invernadero de importancia al equilibrio energético de la Tierra. Muestran mediciones directas de CO<sub>2</sub> en la atmósfera y en el aire atrapado en el hielo que el CO<sub>2</sub> atmosférico aumentó más de un 40% desde 1800 hasta 2019. Mediciones de diferentes formas de carbono (isótopos, ver pregunta 3) revelan que este aumento se debe a las actividades humanas. Otros gases invernadero (en particular, metano y óxido nitroso) también están aumentando como consecuencia de las actividades humanas. El aumento de la temperatura de la superficie global observado desde 1900 es consistente con cálculos detallados de los impactos del aumento observado en los gases de efecto invernadero atmosféricos (y otros cambios inducidos por el hombre) en el balance de energía de la tierra.

Diferentes influencias sobre el clima tienen diferentes firmas en los registros climáticos. Estas huellas dactilares únicas son más fácil de ver sondeando más allá de un solo número (como la temperatura promedio de la superficie de la Tierra), y mirando en cambio los patrones geográficos y estacionales del cambio climático. Los patrones observados de calentamiento de la superficie, cambios de temperatura a través de la atmósfera, aumentos en el contenido de calor del océano, aumentos la humedad atmosférica, el aumento del nivel del mar y el mayor derretimiento del hielo de la tierra y del mar también coinciden con los patrones que los científicos esperan ver debido a las actividades humanas (ver Pregunta 5).

Los cambios esperados en el clima se basan en nuestra comprensión de cómo los gases de efecto invernadero atrapan el calor. Ambos esta comprensión fundamental de la física de los gases de efecto invernadero y los

estudios de huellas dactilares basados en patrones muestran que las causas naturales por sí solas son inadecuadas para explicar los cambios climáticos observados recientemente. Las causas naturales incluyen variaciones en la producción del Sol y en la órbita de la Tierra alrededor del Sol, erupciones volcánicas y fluctuaciones internas en el sistema climático (como El Niño y La Niña). Cálculos utilizando modelos climáticos. (ver cuadro de información, p. 20) se han usado para simular lo que habría sucedido con las temperaturas globales si tan solo los factores naturales estaban influyendo en el sistema climático. Estas simulaciones arrojan poco calentamiento de la superficie, o incluso un ligero enfriamiento a lo largo del siglo XX y principios del XXI. Sólo cuando los modelos incluyen influencias humanas en la composición de la atmósfera son los cambios de temperatura resultantes consistentes con los cambios observados.

## ■ Preguntas y Respuestas

### 3

## El CO<sub>2</sub> ya está en la atmósfera naturalmente, entonces ¿por qué son significativas las emisiones de la actividad humana?

Las actividades humanas han perturbado significativamente el ciclo natural del carbono al extraer carbono enterrado hace mucho tiempo combustibles fósiles y quemarlos para obtener energía, liberando así CO<sub>2</sub> a la atmósfera.

En la naturaleza, CO<sub>2</sub> se intercambia continuamente entre la atmósfera, las plantas y los animales mediante la fotosíntesis, la respiración y la descomposición, y entre la atmósfera y el océano mediante el intercambio de gases. Una cantidad muy pequeña de CO<sub>2</sub> (aproximadamente el 1% de la tasa de emisión procedente de la quema de combustibles fósiles) es también emitida en erupciones volcánicas. Esto se compensa con una cantidad equivalente que se elimina mediante la erosión química de las rocas.

El nivel de CO<sub>2</sub> en 2019 fue más de un 40% más alto que en el siglo XIX. La mayor parte de este aumento de CO<sub>2</sub> ha tenido lugar desde 1970, aproximadamente en el momento en que se aceleró el consumo mundial de energía. La Medida disminuyó en la fracción de otras formas de carbono (los isótopos <sup>14</sup>C y <sup>13</sup>C) y una pequeña disminución en la concentración de oxígeno atmosférico (cuyas observaciones están disponibles desde 1990) muestran que el aumento de CO<sub>2</sub> se debe en gran medida a la combustión de combustibles fósiles (que tienen bajas fracciones de <sup>13</sup>C y ninguna fracción de <sup>14</sup>C).

La deforestación y otros cambios en el uso de la tierra también han liberado carbono de la biosfera (mundo vivo) donde normalmente reside durante décadas o siglos. El CO<sub>2</sub> adicional procedente de la quema de combustibles fósiles y la deforestación ha perturbado el equilibrio del ciclo del carbono, porque los procesos naturales que podrían restablecer el equilibrio son demasiado lentos en comparación con las tasas a las que las actividades humanas están añadiendo CO<sub>2</sub> a la atmósfera. Como resultado, una fracción sustancial del CO<sub>2</sub> emitido por las actividades humanas se acumula en la atmósfera, donde parte permanecerá no sólo durante décadas o siglos, sino durante miles de años.

años. La comparación con los niveles de CO2 medidos en el aire extraído de núcleos de hielo indica que las actuales concentraciones son sustancialmente más altas de lo que han sido en al menos 800.000 años (ver Pregunta 6).

## 6 Cambio Climático

### Preguntas y Respuestas

# 4

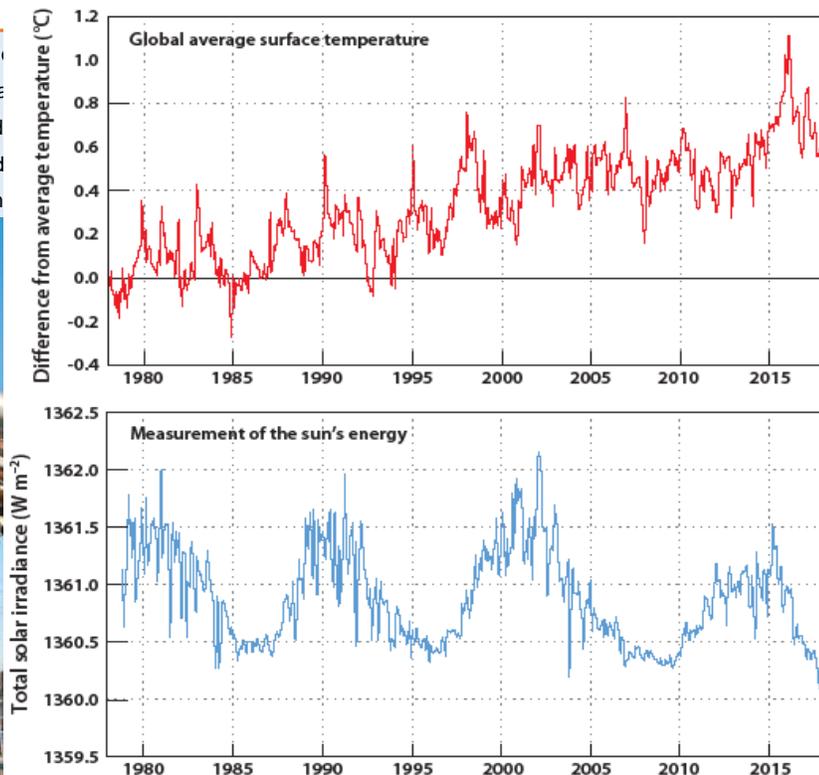
## ¿Qué papel ha jugado el Sol en el cambio climático en las últimas décadas?

Figura 2. Las mediciones de la energía del Sol incidente en la Tierra no muestran ningún aumento neto en el forzamiento solar durante los últimos 40 años y, por lo tanto, esto no puede ser responsable del calentamiento durante ese período. Los datos muestran sólo pequeñas variaciones periódicas de amplitud asociadas con el ciclo de 11 años del Sol.

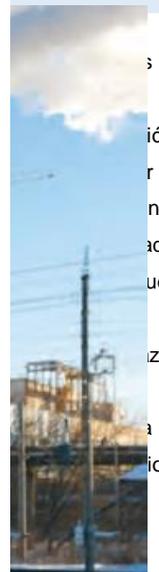
Fuente: TSI data from Physikalisch-Meteorologisches Observatorium Davos, Switzerland, on the new VIRGO scale from 1978 to mid-2018; temperature data for same time period from the HadCRUT4 dataset, UK Met Office, Hadley Centre.



El Sol  
varia  
med  
prod  
aum



pero sus  
décadas. Las  
neto en la  
an



s  
ión  
r  
n  
ada  
ud  
zo  
a  
ios

## ■ Preguntas y Respuestas

5

¿Qué hacen los cambios en la estructura vertical de la temperatura atmosférica? - desde la superficie hasta la estratosfera - ¿cuéntenos sobre las causas del reciente cambio climático?

El calentamiento observado en la atmósfera inferior y el enfriamiento en la atmósfera superior nos brindan información clave sobre las causas subyacentes del cambio climático y revelan que los factores naturales por sí solos no pueden explicar los cambios observados.

A principios de la década de 1960, los resultados de modelos matemático/físicos del sistema climático mostraron por primera vez que los aumentos de CO<sub>2</sub> inducidos por el hombre se esperaba que condujera a un calentamiento gradual de la atmósfera inferior (la troposfera) y al enfriamiento de los niveles superiores de la atmósfera (la estratosfera). Por el contrario, los aumentos en la producción del Sol calentarían tanto la troposfera como toda la extensión vertical de la estratosfera. En ese momento, no había datos de observación suficientes para probar esta predicción, pero desde entonces las mediciones de temperatura de globos meteorológicos y satélites han confirmado estos primeros pronósticos. Ahora se sabe que el patrón observado de calentamiento troposférico y enfriamiento estratosférico durante los últimos 40 años es ampliamente consistente con simulaciones de modelos computarizados que incluyen aumentos de CO<sub>2</sub> y disminuciones del ozono estratosférico, cada una causada por actividades humanas. El patrón observado no es consistente con cambios puramente naturales en la producción de energía del Sol, actividad volcánica o variaciones climáticas naturales como El Niño y La Niña.

A pesar de este acuerdo entre los patrones a escala global de modelado y observado cambio de temperatura atmosférica, todavía hay algunas diferencias. Las diferencias más notables se dan en los trópicos, donde los modelos muestran actualmente un calentamiento mayor en la troposfera del que se ha observado, y en el Ártico, donde el calentamiento observado de la troposfera es mayor que en la mayoría de los modelos.



## 8 Cambio Climático

### Preguntas y Respuestas ■

# 6

## El clima siempre está cambiando. ¿Por qué el cambio climático es motivo de preocupación ahora?

Todos los cambios climáticos importantes, incluidos los naturales, son perturbadores. Los cambios climáticos pasados provocaron la extinción de muchas especies, migraciones de población y cambios pronunciados en la superficie terrestre y la circulación oceánica. La velocidad del cambio climático actual es más rápida que la de la mayoría de los eventos pasados, lo que dificulta la adaptación de las sociedades humanas y del mundo natural.

Las mayores variaciones climáticas a escala global en el pasado geológico reciente de la Tierra son los ciclos de la edad de hielo (ver cuadro informativo, p.B4), que son períodos glaciales fríos seguidos de períodos cálidos más cortos.[Figura 3]. Los últimos de estos ciclos naturales se han repetido aproximadamente cada 100.000 años. Están impulsados principalmente por cambios lentos en la órbita de la Tierra, que alteran la forma en que se distribuye la energía del Sol con la latitud y las estaciones en la Tierra. Estos cambios orbitales son muy pequeños en los últimos cientos de años y por sí solos no son suficientes para causar la magnitud observada del cambio de temperatura desde la Revolución Industrial, ni para actuar en toda la Tierra. En las escalas temporales de la edad de hielo, estas variaciones orbitales graduales han provocado cambios en la extensión de las capas de hielo y en la abundancia de CO<sub>2</sub> y otros gases de efecto invernadero, que a su vez han amplificado el cambio de temperatura inicial.

Estimaciones recientes del aumento de la temperatura media global desde el final de la última edad de hielo son de 4 a 5 °C (7 a 9 °F). Ese cambio se produjo durante un período de unos 7.000 años, comenzando hace 18.000 años. CO<sub>2</sub> ha aumentado más del 40% tan sólo en los últimos 200 años, gran parte de esto desde la década de 1970, contribuyendo a la alteración humana del presupuesto energético del planeta que hasta ahora ha calentado la Tierra en aproximadamente 1 °C (1,8 °F). Si el aumento de CO<sub>2</sub> continúa sin control, se puede esperar un calentamiento de la misma magnitud que el aumento de la edad de hielo para finales de este siglo o poco después. Esta velocidad de calentamiento es más de diez veces mayor que la del final de una edad de hielo, el cambio natural sostenido más rápido conocido a escala global.

## ¿Es el nivel actual de concentración atmosférica de CO<sub>2</sub> sin precedentes en la historia de la Tierra?

Figura 3. Los datos de los núcleos de hielo han utilizado para reconstruir las temperaturas Antárticas y Concentraciones atmosféricas de CO<sub>2</sub> sobre los pasados 800.000 años. La temperatura es basada en mediciones de la contenido isotópico del agua en el Núcleo de hielo Domo C. El CO<sub>2</sub> se mide en aire atrapado en el hielo y está compuesto del núcleo de hielo Dome C y Vostok.

La concentración actual de CO<sub>2</sub> (punto azul) es de mediciones atmosféricas.

El patrón cíclico de las variaciones de temperatura constituye la edad de hielo/ciclos interglaciales.

Durante estos ciclos, los cambios de concentración de CO<sub>2</sub> (en azul) siguen de cerca a los cambios de temperatura (en naranja). Como muestra el expediente, el reciente incremento de la concentración de CO<sub>2</sub> atmosférico no tiene precedentes en los últimos 800.000 años.

La concentración de CO<sub>2</sub> atmosférico superó las 400 ppm en 2016, y la concentración promedio en 2019 fue más de 411 ppm.

Fuente: Basado

en la figura de Jeremy Shakun, datos de Lüthi et al., 2008 y Jouzel et al., 2007.

El nivel actual de la concentración de CO<sub>2</sub> atmosférico es casi seguro que no tiene precedentes en el último millón de años, tiempo durante el cual los humanos modernos evolucionaron y las sociedades se desarrollaron. La concentración CO<sub>2</sub> atmosférico sin embargo, fue mayor en el pasado más lejano de la Tierra (hace muchos millones de años), momento en el que los datos paleoclimáticos y geológicos indican que las temperaturas y los niveles del mar también eran más altos de lo que son hoy.

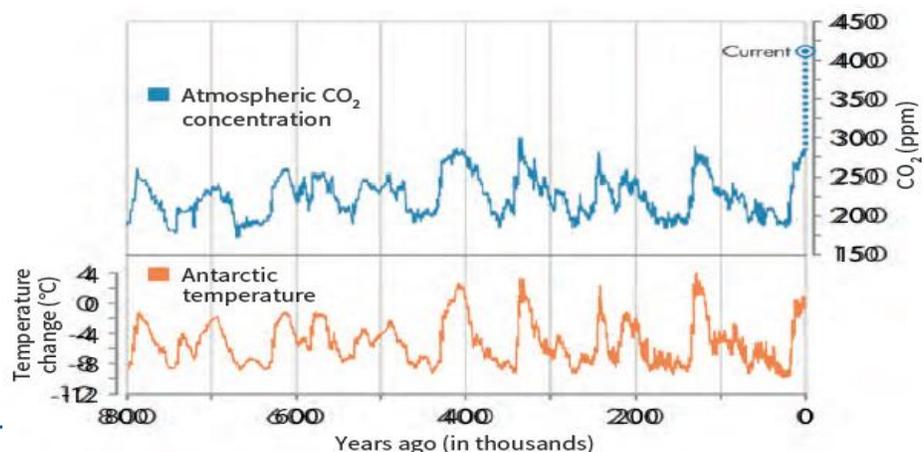
Las mediciones del aire en los núcleos de hielo muestran que durante los últimos 800.000 años hasta el siglo XX, que la concentración de CO<sub>2</sub> atmosférico se mantuvo dentro del rango de 170 a 300 partes por millón (ppm), lo que hace que el reciente y rápido aumento a más de 400 ppm en 200 años sea particularmente notable.[figura 3]. Durante los ciclos glaciales de los últimos 800.000 años, tanto el CO<sub>2</sub> y el metano han actuado como importantes amplificadores de los cambios climáticos provocados por las variaciones en la órbita de la Tierra alrededor del Sol. A medida que la Tierra se calentó desde la última edad de hielo, la temperatura

*continuado*

*Evidencia y causas 2020* 9

y el CO<sub>2</sub> comenzó a aumentar aproximadamente al mismo tiempo y continuó aumentando en tándem desde hace aproximadamente 18.000 a 11.000 años. Los cambios en la temperatura, la circulación, la química y la biología del océano causaron que CO<sub>2</sub> sea liberado a la atmósfera, lo que se combinó con otras retroalimentaciones para empujar a la Tierra a un estado aún más cálido.

Para épocas geológicas anteriores, las concentraciones de CO<sub>2</sub> y las temperaturas se han inferido de métodos menos directos. Estos sugieren que la concentración de CO<sub>2</sub> se acercó por última vez a 400 ppm, entre 3 y 5 millones de años, un período en el que se estima que la temperatura superficial promedio global fue de aproximadamente 2 a 3,5 °C. mayor que en el período preindustrial. Hace 50 millones de años, el CO<sub>2</sub> pudo haber alcanzado las 1000 ppm, y la temperatura media global era probablemente unos 10°C más cálida que la actual. Bajo esas condiciones, la Tierra tenía poco hielo y el nivel del mar era al menos 60 metros más alto que los niveles actuales.



# 7

## ¿Hay algún punto en el cual agregar más CO<sub>2</sub> no provocará más calentamiento?

No. Agregar más CO<sub>2</sub> a la atmósfera hará que las temperaturas de la superficie sigan aumentando. Como las concentraciones atmosféricas de CO<sub>2</sub> aumentaron, la adición de CO<sub>2</sub> adicional se vuelve cada vez menos eficaz para atrapar la energía de la Tierra, pero la temperatura de la superficie seguirá aumentando.

Nuestra comprensión de la física mediante la cual el CO<sub>2</sub> afecta el equilibrio energético de la Tierra se confirma mediante mediciones de laboratorio, así como mediante observaciones detalladas por satélite y de superficie de la emisión y absorción de energía infrarroja por la atmósfera. Los gases de efecto invernadero absorben parte de la energía infrarroja que emite la Tierra en las llamadas bandas de absorción más fuerte que se producen en determinadas longitudes de onda. Diferentes gases absorben energía en diferentes longitudes de onda. El CO<sub>2</sub> tiene su banda de captura de calor más potente centrada en una longitud de onda de 15 micrómetros (millonésimas de metro), con una absorción que se extiende unos pocos micrómetros a cada lado. También hay muchas bandas de absorción más débiles. Como CO<sub>2</sub> a medida que aumentan las concentraciones, la absorción en el centro de la banda fuerte ya es tan intensa que desempeña poco papel en provocar un calentamiento adicional. Sin embargo, se absorbe más energía en las bandas más débiles y lejos del centro de la banda fuerte, lo que hace que la superficie y la atmósfera inferior se calienten aún más.