

Estado del clima mundial en 2022

TIEMPO CLIMA AGUA



ORGANIZACIÓN
METEOROLÓGICA
MUNDIAL
OMM-N° 1316



Necesitamos su opinión

Este año, el equipo de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) ha puesto en marcha un proceso para recabar opiniones sobre los informes que tratan el estado del clima y las áreas que deben mejorarse. Una vez que haya terminado de leer la presente publicación, le rogamos nos dé su opinión a través de [esta breve encuesta](#). Le agradecemos mucho su aportación.

OMM-N° 1316

© Organización Meteorológica Mundial, 2023

La OMM se reserva el derecho de publicación en forma impresa, electrónica o de otro tipo y en cualquier idioma. Pueden reproducirse pasajes breves de las publicaciones de la OMM sin autorización siempre que se indique claramente la fuente completa. La correspondencia editorial, así como todas las solicitudes para publicar, reproducir o traducir la presente publicación parcial o totalmente deberán dirigirse a:

Presidente de la Junta de Publicaciones
Organización Meteorológica Mundial (OMM)
7 bis, avenue de la Paix
Case postale 2300
CH-1211 Ginebra 2, Suiza

Tél.: +41 (0) 22 730 84 03
Fax: +41 (0) 22 730 81 17
Correo electrónico: publications@wmo.int

ISBN 978-92-63-31316-4

Ilustración de la portada de Adobe Stock: Tormenta eléctrica sobre la ciudad con luz púrpura (autoría de la fotografía: stnazkul, 84059942). Corales sanos e islas hermosas en Wayag (Raja Ampat) (autoría de la fotografía: ead72, 134052652). Incendio forestal (autoría de la fotografía: Kirk Atkinson, 180656803). Paisaje agrietado por la sequía, tierra muerta debido a la escasez de agua (autoría de la fotografía: AA+W, 537083081). Paisaje hermoso de la Antártida, icebergs azules, naturaleza salvaje (autoría de la fotografía: Song_about_summer, 217568993). Tormenta de polvo de tipo *haboob* en el desierto de Arizona (autoría de la fotografía: JSirlin, 256749173). Huracán visto desde el espacio. El ciclón atmosférico. Elementos de la imagen proporcionados por la Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio (NASA) (autoría de la fotografía: Viks_jin, 529897598).

NOTA:

Las denominaciones empleadas en las publicaciones de la OMM y la forma en que aparecen presentados los datos que contienen no entrañan, de parte de la Organización, juicio alguno sobre la condición jurídica de ninguno de los países, territorios, ciudades o zonas citados o de sus autoridades, ni respecto de la delimitación de sus fronteras o límites.

La mención de determinados productos o sociedades mercantiles no implica que la OMM los favorezca o recomiende con preferencia a otros análogos que no se mencionan ni se anuncian.

Las observaciones, interpretaciones y conclusiones expresadas en las publicaciones de la OMM por autores cuyo nombre se menciona son únicamente las del autor y no reflejan necesariamente las de la Organización ni las de sus Miembros.

Índice

Mensajes fundamentales	ii
Prefacio	iii
Indicadores climáticos a escala mundial	1
Período de referencia	1
Gases de efecto invernadero	1
Temperatura	3
Océano	4
Criosfera	12
Ozono estratosférico y gases que agostan la capa de ozono	19
Precipitación	20
Condicionantes climáticos a corto plazo	21
Fenómenos extremos	24
Calor, sequía e incendios forestales	24
Fenómenos de frío extremo	27
Inundaciones y lluvias intensas	28
Ciclones tropicales	29
Tormentas violentas	31
Impactos socioeconómicos	32
Seguridad alimentaria	32
Desplazamiento de población	34
Impactos climáticos en los ecosistemas y el medioambiente	36
<i>1991-2020: nuevo período de la normal climatológica</i>	38
<i>Las observaciones son la base del monitoreo del clima</i>	40
Conjunto de datos y metodología	42
Lista de colaboradores	48

Mensajes fundamentales



La temperatura media mundial en 2022 estuvo 1,15 [de 1,02 a 1,28] °C por encima de la media del período 1850-1900. Los años comprendidos entre 2015 y 2022 fueron los ocho más cálidos de los que se tiene constancia desde que empezaron a registrarse observaciones con instrumentos hace 173 años. El año 2022 fue el quinto o sexto más cálido jamás registrado, a pesar de la influencia ejercida por el episodio de La Niña en curso.

Por tercer año consecutivo, 2022 estuvo marcado por las condiciones de La Niña. En los últimos 50 años solo se han producido episodios tan prolongados de este fenómeno en tres ocasiones.



Las concentraciones de los tres principales gases de efecto invernadero —dióxido de carbono, metano y óxido nitroso— alcanzaron máximos históricos en 2021, el último año para el que se dispone de valores mundiales consolidados (1984-2021). El aumento interanual de la concentración de metano de 2020 a 2021 fue el más alto jamás registrado. Los datos en tiempo real de determinados emplazamientos indican que los niveles de esos tres gases de efecto invernadero siguieron aumentando en 2022.



Alrededor del 90 % de la energía acumulada en el sistema climático a causa de los gases de efecto invernadero se concentra en el océano. En 2022, el contenido calorífico de los océanos, que permite determinar la evolución de este parámetro, alcanzó un máximo nunca antes observado.



A pesar del mantenimiento de las condiciones típicas de La Niña, el 58 % de la superficie oceánica experimentó al menos una ola de calor marina durante 2022. En cambio, solo el 25 % de la superficie oceánica experimentó un período de frío marino.



El nivel medio del mar a escala mundial siguió aumentando en 2022 y alcanzó un nuevo máximo histórico en el registro altimétrico satelital (1993-2022). La velocidad de aumento del nivel medio del mar a escala mundial se ha duplicado entre el primer decenio del registro satelital (2,27 mm al año entre 1993 y 2002) y el último (4,62 mm al año entre 2013 y 2022).



Durante el año hidrológico 2021/2022, el balance de masas medio de un conjunto de glaciares de referencia para los que se dispone de observaciones a largo plazo se redujo en 1,18 m de equivalente en agua. Esta pérdida es mucho mayor que la media del último decenio. Seis de los diez años con balances de masas más negativos registrados (1950-2022) se produjeron a partir de 2015. El balance de masas acumulado desde 1970 ha perdido más de 23 m de equivalente en agua.



En África oriental, las precipitaciones han estado por debajo de la media durante cinco estaciones de las lluvias consecutivas, algo que no había ocurrido en 40 años. En agosto de 2022, se estimaba que unos 37 millones de personas se enfrentaban a una situación de inseguridad alimentaria aguda en toda la región, debido a los efectos de la sequía y otras perturbaciones.



Las lluvias récord de julio y agosto provocaron grandes inundaciones en el Pakistán. Hubo al menos 1 700 víctimas mortales, 33 millones de afectados y casi 8 millones de desplazados. Se estima que el total de daños y pérdidas económicas ascendió a 30 000 millones de dólares de los Estados Unidos.



Se produjeron olas de calor sin precedentes en China y Europa durante el verano. En algunas zonas, el calor extremo se combinó con condiciones excepcionalmente secas. El exceso de mortalidad asociado al calor en Europa superó las 15 000 muertes en total entre España, Alemania, el Reino Unido, Francia y Portugal.

Prefacio



En el presente informe se muestra que, una vez más, las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera siguen alcanzando niveles récord, lo que contribuye al calentamiento de la tierra y los océanos, al deshielo de los mantos de hielo y los glaciares, a la subida del nivel del mar y al calentamiento y la acidificación de los océanos. Existen importantes carencias en las redes de observación meteorológica y climática, sobre todo en los países menos adelantados y los pequeños Estados insulares en desarrollo, que dificultan el monitoreo del clima para fines de establecimiento de referencias climáticas, especialmente a escala regional y nacional, así como también el suministro de alertas tempranas y la prestación de servicios climáticos adecuados. La Organización Meteorológica Mundial (OMM) colabora con sus Miembros y asociados para mejorar las observaciones climáticas a través del Sistema Mundial de Observación del Clima (GCOS) y al procurar que se disponga de

mecanismos financieros adecuados para las observaciones meteorológicas y climáticas a través del Servicio de Financiamiento de Observaciones Sistemáticas (SOFF).

Mientras las emisiones siguen aumentando y el clima sigue cambiando, las poblaciones vulnerables siguen viéndose gravemente damnificadas por fenómenos meteorológicos y climáticos extremos. Por ejemplo, en 2022, la pertinaz sequía en África oriental, las lluvias récord en el Pakistán y las olas de calor sin precedentes en China y Europa afectaron a decenas de millones de personas, provocaron inseguridad alimentaria, impulsaron migraciones masivas y ocasionaron daños y pérdidas por valor de miles de millones de dólares. Sin embargo, la colaboración entre los organismos de las Naciones Unidas ha demostrado ser muy eficaz a la hora de hacer frente a los impactos humanitarios causados por los fenómenos meteorológicos y climáticos extremos, en particular para reducir la mortalidad y las pérdidas económicas que conllevan.

El objetivo de la iniciativa de las Naciones Unidas Alertas Tempranas para Todos, encabezada por la OMM, es subsanar las deficiencias de capacidad para velar por que todos los habitantes de la Tierra estén cubiertos por servicios de alerta temprana. Para llevar a cabo esta ambiciosa tarea se requieren observaciones fiables y actualizaciones periódicas de los principales indicadores climáticos, como las que se facilitan en el presente informe.

La OMM también está preparando un nuevo sistema de monitoreo de los sumideros y las fuentes de los principales gases de efecto invernadero basado en la modelización y en mediciones realizadas en tierra y por satélite. El sistema permitirá comprender mejor las incertidumbres relacionadas con la capacidad de los sumideros y las fuentes de carbono asociados al uso de la tierra, así como las relacionadas con las fuentes de metano.

Aprovecho la ocasión para felicitar y dar las gracias a los expertos y al autor principal, quienes han elaborado conjuntamente el presente informe mediante análisis de datos físicos y evaluaciones de los impactos. Asimismo, agradezco a todos los colaboradores, en particular a los Servicios Meteorológicos e Hidrológicos Nacionales (SMHN) de los Miembros de la OMM, así como a los Centros Regionales sobre el Clima (CRC) y a los organismos de las Naciones Unidas, su cooperación y sus aportaciones al informe.

Prof. Petteri Taalas
Secretario General

Indicadores climáticos a escala mundial

Los indicadores climáticos a escala mundial proporcionan una visión general de los cambios en el sistema climático¹. El conjunto de indicadores físicos interrelacionados que aquí se presenta conecta los cambios en la composición de la atmósfera con los cambios en la energía del sistema climático y la respuesta de la tierra, el océano y el hielo.

Los indicadores a escala mundial se basan en una amplia gama de conjuntos de datos que comprenden datos de múltiples sistemas de observación, incluidos satélites y redes *in situ* (para más información sobre los conjuntos de datos utilizados en el informe, véase «[Conjuntos de datos y metodología](#)»).

El presente informe hace numerosas referencias a la contribución del Grupo de Trabajo I al Sexto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC)² y al informe especial sobre los océanos y la criosfera en un clima cambiante del IPCC³.

PERÍODOS DE REFERENCIA

Los períodos de referencia son intervalos de tiempo, que suelen abarcar tres decenios o lapsos mayores, que se utilizan como punto de referencia fijo con el que comparar las condiciones actuales. Por motivos científicos, prácticos o relativos a políticas, en el presente informe se utilizan diferentes períodos de referencia, que se especifican en el texto y en las figuras. En la medida de lo posible, se ha utilizado la normal climatológica estándar de la OMM más reciente (1991-2020) a fin de presentar la información de forma congruente. Este es el primer año en que se utiliza la nueva normal (1991-2020), y las diferencias se describen en «[1991-2020: nuevo período de la normal climatológica](#)».

No obstante, para algunos indicadores no es posible utilizar la normal estándar debido a la falta de mediciones durante la primera parte del período. Para otros, como la precipitación, es necesario un período más largo para calcular estadísticas representativas. También hay dos excepciones concretas. En primer lugar, para las series temporales de la temperatura media mundial, y solamente para dichas series, se utiliza el período de referencia 1850-1900. Es el período de referencia empleado para las condiciones preindustriales en la contribución del Grupo de Trabajo I al Sexto Informe de Evaluación del IPCC y es importante para comprender los progresos logrados en el contexto del Acuerdo de París. En segundo lugar, las concentraciones de gases de efecto invernadero pueden estimarse mucho más atrás en el tiempo utilizando burbujas de gas atrapadas en testigos de hielo. Por lo tanto, en el presente informe se utiliza el año 1750 para representar las concentraciones de gases de efecto invernadero preindustriales.

GASES DE EFECTO INVERNADERO

Las concentraciones atmosféricas de gases de efecto invernadero reflejan un balance entre las emisiones procedentes de las actividades humanas y de fuentes naturales y los sumideros. El aumento de los niveles de gases de efecto invernadero en la atmósfera debido a las actividades humanas ha sido el principal impulsor del cambio climático al menos desde la Revolución Industrial. Las fracciones molares medias mundiales de los gases de efecto invernadero, a las que nos referiremos aquí para simplificar como «concentración» en la atmósfera, se calculan a partir de las observaciones *in situ* realizadas en múltiples emplazamientos a través del Programa de la Vigilancia de la Atmósfera Global (VAG) de la OMM y de redes asociadas.

¹ Trewin, B.; Cazenave, A.; Howell, S. y otros. *Headline Indicators for Global Climate Monitoring*, *Bulletin of the American Meteorological Society* 2021 102(1), E20-E37. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-19-0196.1>.

² Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), 2021: Resumen para responsables de políticas. En: *AR6 Climate Change 2021: The Physical Science Basis*, https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WG1_SPM_Spanish.pdf.

³ Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), 2019: Resumen para responsables de políticas. En: *IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate*, https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/3/2020/07/SROCC_SPM_es.pdf.



En 2021, último año para el que se dispone de cifras consolidadas a escala mundial, los niveles atmosféricos de los gases de efecto invernadero alcanzaron nuevos máximos (figura 1), con promedios mundiales de las fracciones molares en superficie de $415,7 \pm 0,2$ partes por millón (ppm) para el dióxido de carbono (CO_2), $1\,908 \pm 2$ partes por mil millones (ppmm) para el metano (CH_4), y $334,5 \pm 0,1$ ppmm para el óxido nítrico (N_2O), lo que representa el 149 %, el 262 % y el 124 % de los niveles preindustriales (1750), respectivamente. Los datos en tiempo real de determinados lugares, como Mauna Loa⁴ (Hawái, Estados Unidos de América) y Kennaook/cabo Grim⁵ (Tasmania, Australia), indican que los niveles de CO_2 , CH_4 y N_2O siguieron aumentando en 2022.

El aumento de CO_2 de 2020 a 2021 fue igual al observado de 2019 a 2020, pero superior a la tasa de aumento anual medio del último decenio. Mientras que el aumento a largo plazo del CO_2 se debe a las emisiones de origen humano, las variaciones interanuales de la tasa se asocian en gran medida a la variabilidad natural de los sumideros de carbono terrestres y oceánicos. El aumento anual sin precedentes de 2016 se asoció al episodio intenso de El Niño de 2015/2016⁶.

El aumento anual de CH_4 de 2020 a 2021 fue de 18 ppmm. Se trata del mayor aumento anual desde que hay registros y aún se investigan sus causas. Las mediciones de la carga del CH_4 atmosférico y su relación estable de isótopos del carbono $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ sugieren que la mayor contribución al nuevo aumento del CH_4 desde 2007 procede de fuentes microbianas/biogénicas, pero aún no está claro

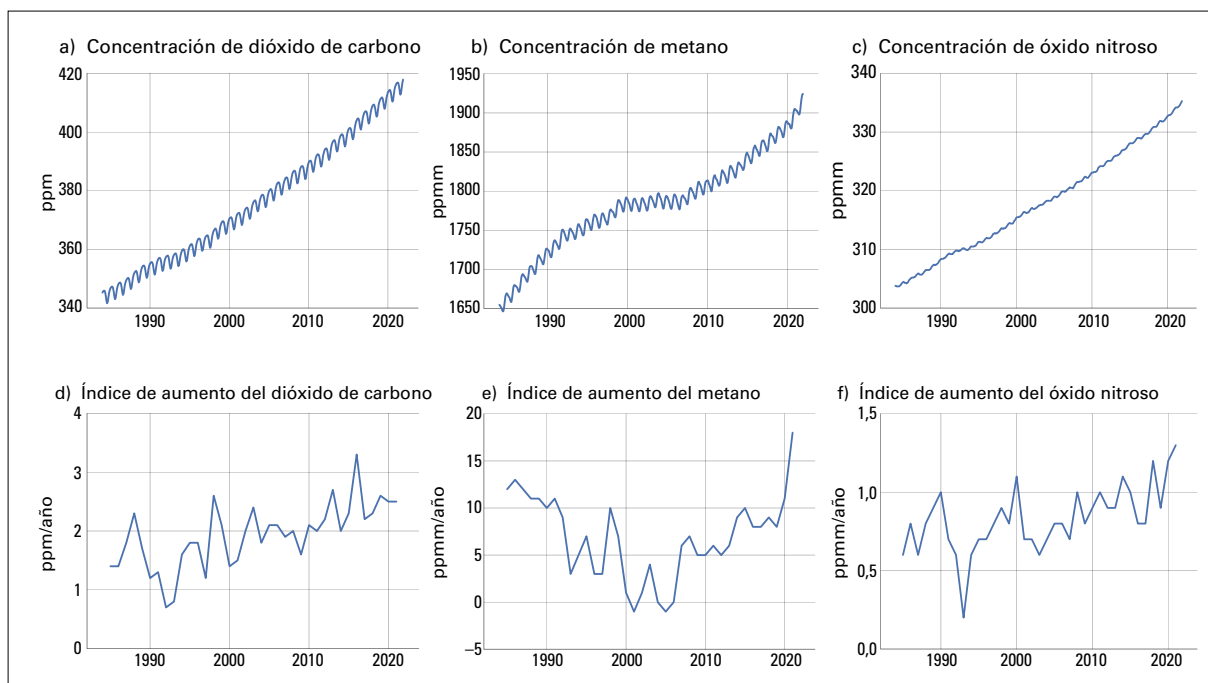


Figura 1. Fila superior: promedios mundiales mensuales de la fracción molar (unidad que mide la concentración atmosférica), de 1984 a 2021, de a) CO_2 en partes por millón, b) de CH_4 en partes por mil millones, y c) de N_2O en partes por mil millones. Fila inferior: índices de aumento que representan el incremento en las medias anuales sucesivas de las fracciones molares de d) CO_2 en partes por millón al año, e) de CH_4 en partes por mil millones al año, y f) de N_2O en partes por mil millones al año.

⁴ www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/mlo.html.

⁵ <https://www.csiro.au/greenhouse-gases/>.

⁶ Betts, R.; Jones, C.; Knight, J. y otros. El Niño and a Record CO_2 Rise. *Nature Climate Change* **2016**, *6*, 806-810. <https://doi.org/10.1038/nclimate3063>.



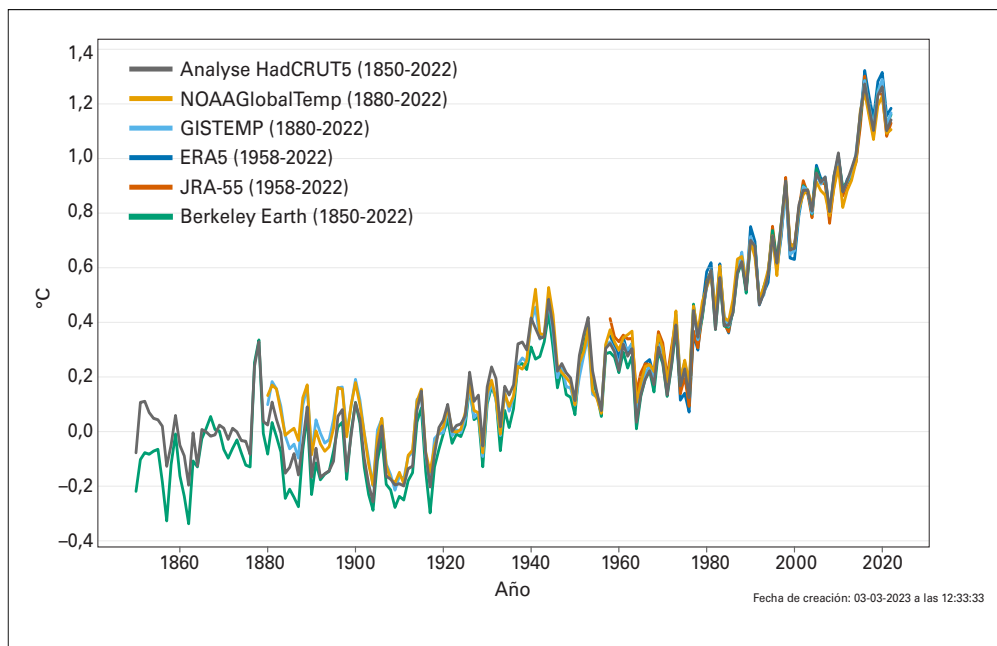
el papel relativo de las fuentes antropógenas y naturales⁷⁸. La mejora de las redes de observación en zonas sensibles al clima, como los humedales tropicales y el Ártico, es una manera de mejorar la comprensión de los procesos que impulsan los cambios en los gases de efecto invernadero. Estos conocimientos podrían utilizarse, a su vez, para apoyar estrategias de mitigación eficientes.

TEMPERATURA

En 2022, la temperatura media mundial, que combina las mediciones de la temperatura cerca de la superficie de la tierra y el océano, se situó 1,15 [1,02-1,28] °C por encima del promedio preindustrial de 1850-1900 (figura 2). Los seis conjuntos de datos utilizados en el análisis sitúan 2022 como el quinto o sexto año más cálido desde que hay registros (1850-2022). Las diferencias entre los conjuntos de datos y, por tanto, en sus clasificaciones se deben a diferencias de metodología y a inexactitudes en los datos de entrada, y a que en algunas zonas de la Tierra las observaciones siguen siendo escasas. Los años 2015 a 2022 son los ocho años más cálidos desde que hay registros en todos los conjuntos de datos (para obtener más información, véase «[Conjuntos de datos y metodología](#)»).

Las condiciones características de La Niña continuaron durante un tercer año, tras haber comenzado a finales de 2020 (véase «[Condicionantes climáticos a corto plazo](#)»). La Niña se asocia normalmente a una reducción temporal de la temperatura media mundial, y tanto 2021 como 2022 fueron menos cálidos que 2019 y 2020 debido a la aparición de condiciones características de La Niña. No obstante, 2021 y 2022 fueron más cálidos que 2011 (cuando la media mundial se situó 0,87 [0,74-0,99] °C por encima del promedio de 1850-1900), último año afectado por un episodio importante de La Niña, y de hecho fueron más cálidos que cualquier año anterior a 2015. En la mayoría de los conjuntos de datos, 2016, que estuvo asociado a un episodio de El Niño excepcionalmente intenso, sigue siendo el año más cálido desde que hay registros a nivel mundial (con una media mundial 1,28 [1,15-1,40] °C superior al promedio de 1850-1900).

Figura 2. Anomalías de la temperatura media anual mundial con respecto a las condiciones preindustriales (1850-1900) en seis conjuntos de datos sobre la temperatura mundial (1850-2022). Para obtener más información sobre los conjuntos de datos y su procesamiento, véase «[Conjuntos de datos y metodología](#)».



⁷ Lunt, M. F.; Palmer, P. I.; Feng, L. y otros. An Increase in Methane Emissions from Tropical Africa Between 2010 and 2016 Inferred from Satellite Data. *Atmospheric Chemistry and Physics* **2019**, *19*, 14721–14740. <https://doi.org/10.5194/acp-19-14721-2019>.

⁸ Feng, L.; Palmer, P. I.; Zhu, S. y otros. Tropical Methane Emissions Explain Large Fraction of Recent Changes in Global Atmospheric Methane Growth Rate. *Nature Communications* **2022**, *13*(1), 1–8. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-28989-z>.

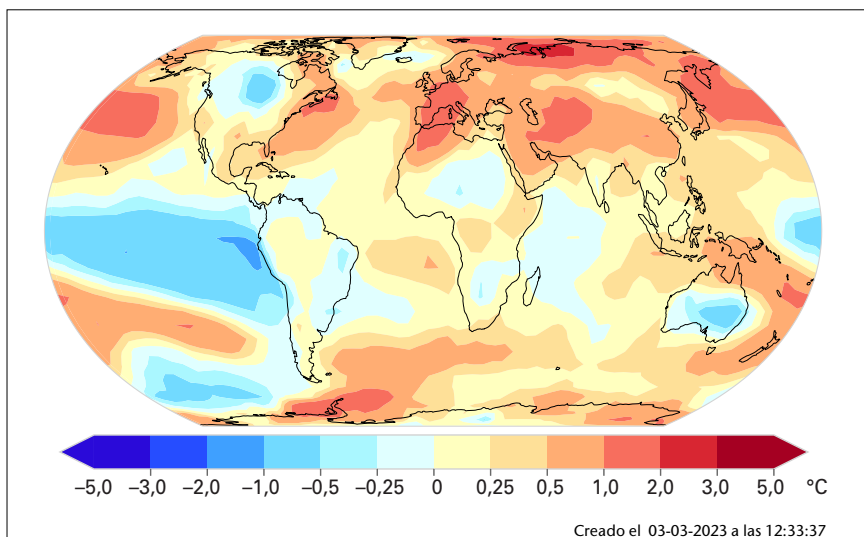


Figura 3. Diferencias de la temperatura cerca de la superficie entre 2022 y el promedio de 1991-2020. El mapa muestra la anomalía con respecto a la mediana calculada a partir de seis conjuntos de datos. Para obtener más información sobre los conjuntos de datos y su procesamiento, véase «[Conjuntos de datos y metodología](#)».

En la contribución del Grupo de Trabajo I al Sexto Informe de Evaluación del IPCC, el calentamiento a largo plazo se evaluó mediante promedios plurianuales⁹. Para la década de 2011-2020, se estimó que la temperatura media fue 1,09 [0,95-1,20] °C superior al promedio de 1850-1900. El promedio decenal para el período 2013-2022 basado en los conjuntos de datos utilizados en el presente informe se estima en 1,14 [1,02-1,27] °C, lo que indica un calentamiento continuo.

En la superficie terrestre (figura 3), se registraron temperaturas anuales máximas sin precedentes en Europa occidental (donde varios países experimentaron su año más cálido jamás registrado, entre ellos el Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte, Francia, Irlanda, Portugal, España, Bélgica, Luxemburgo, Italia, Alemania y Suiza), el Mediterráneo occidental, partes de Asia central y oriental, y Nueva Zelanda. En el océano, un calor sin precedentes se extendió por amplias zonas del Pacífico norte y sur, así como por zonas del océano Austral.

Ninguna zona registró temperaturas anuales mínimas históricas en 2022 (figura 3). Las condiciones fueron más frías que el promedio de 1991-2020 en el Canadá, partes de África meridional y septentrional, partes de Australia (Nueva Gales del Sur registró su año más frío desde 1996) y partes de América del Sur. La Niña se asocia a una «lengua fría» de aguas superficiales más frías que la media en la parte central y oriental del Pacífico ecuatorial, que suele estar rodeada de zonas de aguas más cálidas que la media que se extienden desde el Pacífico norte, a lo largo de la ribera occidental, hasta el suroeste del Pacífico. En 2022, se registraron temperaturas cálidas sin precedentes en amplias zonas del Pacífico norte y suroccidental.

OCÉANO

El océano, que cubre alrededor del 70 % de la superficie terrestre, constituye una parte importante del sistema climático. Absorbe tanto CO₂ como calor, frenando así el ritmo del calentamiento global de la atmósfera. Al mismo tiempo, los cambios resultantes en la composición química y la temperatura tienen efectos profundos, ya que reducen el pH del océano, elevan el nivel del mar, cambian las corrientes oceánicas y afectan a la vida marina y la biodiversidad, así como a las personas que dependen del océano para su subsistencia¹⁰.

⁹ En la contribución del Grupo de Trabajo I al Sexto Informe de Evaluación del IPCC se utilizaron cuatro conjuntos de datos: HadCRUT5, NOAA Interim, Berkeley Earth y Kadow *et al.*

¹⁰ Cheng, L.; von Schuckmann, K.; Abraham, J. P. y otros. Past and Future Ocean Warming. *Nature Reviews Earth and Environment* 2022, 3, 776–794. <https://doi.org/10.1038/s43017-022-00345-1>.



CONTENIDO CALORÍFICO DEL OCEÁNO

El aumento de las emisiones de origen humano de CO₂ y otros gases de efecto invernadero provoca un desequilibrio radiativo positivo en la parte superior de la atmósfera dando lugar a una acumulación de energía en forma de calor en el sistema Tierra que contribuye al calentamiento global^{11,12}. Alrededor del 90 % del calor acumulado se almacena en el océano, lo que da lugar al calentamiento de los océanos. El contenido calorífico del océano es un indicador que mide el calor acumulado. Un desequilibrio energético positivo indica que el clima sigue respondiendo al forzamiento actual y que se producirá más calentamiento aunque el forzamiento no siga aumentando¹³. En un informe reciente, el IPCC concluía que «es *prácticamente seguro* que las capas superiores del océano (0 a 700 m) en todo el mundo se han calentado desde la década de 1970, y es *sumamente probable* que la influencia humana sea la principal fuerza impulsora¹⁴».

La capa superior del océano hasta los 2 000 m de profundidad siguió calentándose en 2022¹⁵ y se prevé que continúe haciéndolo en el futuro, provocando cambios irreversibles en escalas temporales de cientos a miles de años^{16,17}. El contenido calorífico del océano en 2022 fue el más

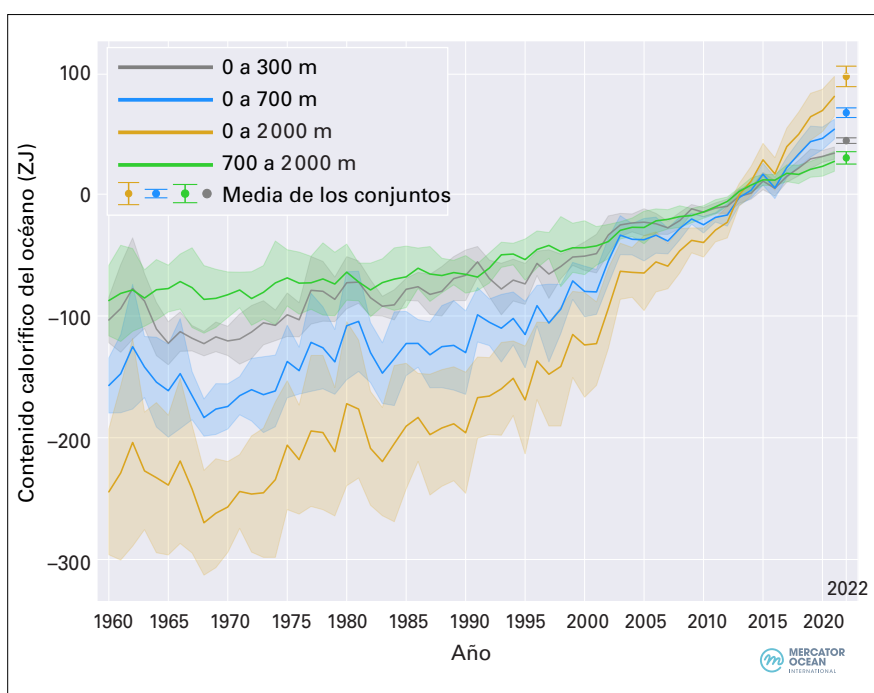


Figura 4. Serie temporal de la media de los conjuntos de 1960-2021 y desviación típica de los conjuntos (dos desviaciones típicas, sombreadas) de las anomalías del contenido calorífico del océano a nivel mundial con respecto al promedio de 2005-2021 para las capas de profundidad de 0 a 300 m (gris), de 0 a 700 m (azul), de 0 a 2 000 m (amarillo) y de 700 a 2 000 m (verde). La media de los conjuntos es una actualización del resultado de un esfuerzo internacional concertado (véase von Schuckmann, K.; Minère, A.; Gues, F. y otros. Heat Stored in the Earth System 1960-2020: Where Does the Energy Go? *Earth System Science Data* 2022 [prepublicación]. <https://doi.org/10.5194/essd-2022-239>) y todos los productos utilizados se referencian en la sección «Conjuntos de datos y metodología». Obsérvese que se proporcionan valores para la superficie oceánica entre 60°S y 60°N y que estos se limitan a las zonas de más de 300 m de profundidad en cada producto. Las anomalías del contenido calorífico del océano respecto a la media de los conjuntos para el año 2022 se han añadido como puntos separados, junto con la correspondiente dispersión de los conjuntos, y se basan en los ocho productos enumerados en «Conjuntos de datos y metodología».

Fuente: Mercator Ocean International.

¹¹ Hansen, J.; Sato, M.; Kharecha, P. y otros. Earth's Energy Imbalance and Implications. *Atmospheric Chemistry and Physics* **2011**, *11* (24), 13421–13449. <https://doi.org/10.5194/acp-11-13421-2011>.

¹² von Schuckmann, K.; Palmer, M. D.; Trenberth, K. E. y otros. An Imperative to Monitor Earth's Energy Imbalance. *Nature Climate Change* **2016**, *6*, 138–144. <https://doi.org/10.1038/nclimate2876>.

¹³ Hansen, J.; Nazarenko, L.; Ruedy, R. y otros. Earth's Energy Imbalance: Confirmation and Implications. *Science* **2005**, *308* (5727), 1431–1435. <https://doi.org/10.1126/science.1110252>.

¹⁴ Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), 2021: Resumen para responsables de políticas. En: AR6 Climate Change 2021: *The Physical Science Basis*, https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WG1_SPM_Spanish.pdf.

¹⁵ von Schuckmann, K.; Cheng, L.; Palmer, M. D. y otros. Heat Stored in the Earth System: Where Does the Energy Go? *Earth System Science Data* **2020**, *12* (3), 2013–2041. <https://doi.org/10.5194/essd-12-2013-2020>.

¹⁶ Cheng, L.; Trenberth, K. E.; Fasullo, J. y otros. Improved Estimates of Ocean Heat Content from 1960 to 2015. *Science Advances* **2017**, *3* (3), e1601545. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1601545>.

¹⁷ Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate, https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/3/2020/07/SROCC_SPM_es.pdf.

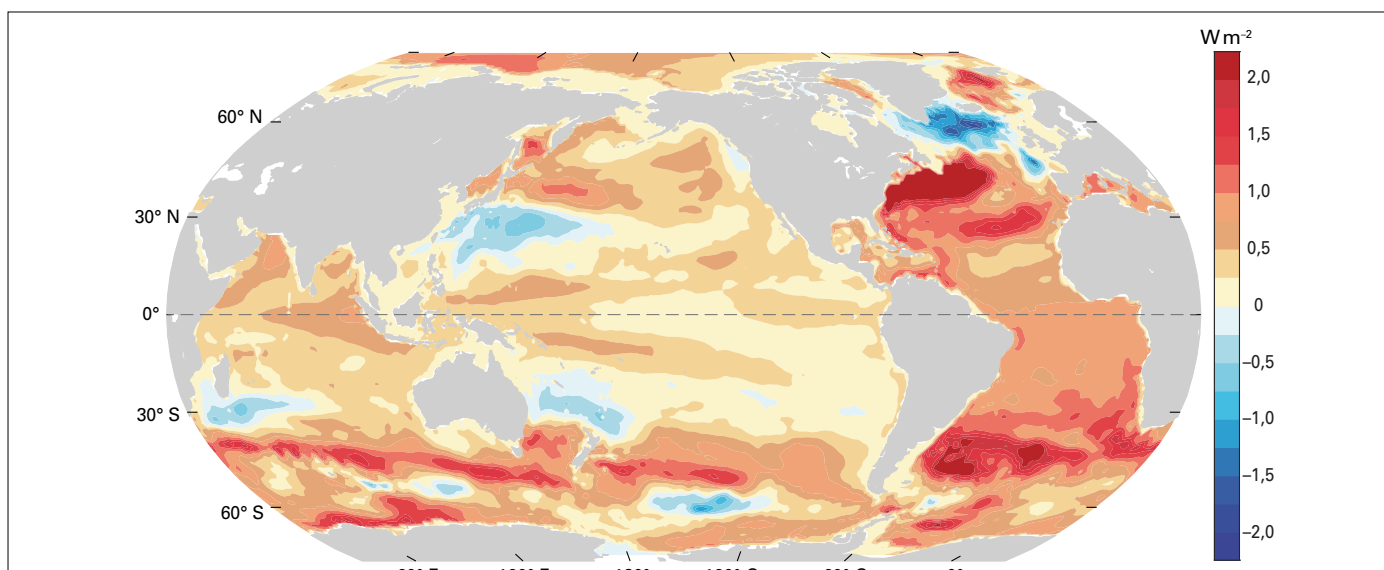


Figura 5. Tendencia estimada ($W m^{-2}$) del contenido calorífico del océano anual observado en la capa superior del océano, hasta los 2 000 m de profundidad, de 1958 a 2022.

Fuente: datos actualizados a partir de Cheng, L.; Trenberth, K. E.; Fasullo, J. y otros. Improved Estimates of Ocean Heat Content from 1960 to 2015. *Science Advances* **2017**, 3 (3), e1601545. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1601545>.

alto jamás registrado (figura 4), superando el valor de 2021 en $17 \pm 9 ZJ^{18}$. Todos los conjuntos de datos coinciden en que las tasas de calentamiento de los océanos fueron especialmente elevadas en las dos últimas décadas: la tasa de calentamiento de los océanos en la capa de 0 a 2 000 metros fue de $0,7 \pm 0,1 W m^{-2}$ de 1971 a 2022, pero de $1,2 \pm 0,2 W m^{-2}$ de 2006 a 2022. Se estima que el calentamiento de las aguas profundas del océano por debajo de los 2 000 m ha sido de $0,0725 \pm 0,1 W m^{-2}$ de 1992 a 2022.

Aunque la media mundial del contenido calorífico del océano ha aumentado considerablemente, el ritmo de calentamiento de los océanos no ha sido el mismo en todas partes¹⁹. El mayor calentamiento en la capa superior hasta los 2 000 m de profundidad se produjo en el océano Austral, el Atlántico norte y el Atlántico sur, donde el calentamiento superó localmente los $2 W m^{-2}$ (figura 5). El océano Austral es el mayor reservorio de calor, al representar alrededor del 36 % del aumento global del contenido calorífico del océano en los primeros 2 000 m desde 1958. Este fuerte calentamiento está asociado a la absorción de calor antropógeno por las aguas frías de afloramiento, que luego es exportado al extremo septentrional de la corriente circumpolar antártica por la circulación de retorno de fondo.

Algunas regiones concretas están perdiendo calor y se están enfriando, incluida la región subpolar del océano Atlántico que se extiende desde cerca de la superficie hasta más de 800 m de profundidad (siendo también la única zona que muestra un enfriamiento centenario en la superficie). El patrón diferenciado de enfriamiento ($50^{\circ} N$ - $70^{\circ} N$) y calentamiento ($20^{\circ} N$ - $50^{\circ} N$) en el Atlántico norte está asociado a una ralentización de la circulación meridional de retorno del Atlántico y a interacciones locales entre el aire y el mar.

NIVEL DEL MAR

El nivel medio del mar a escala mundial siguió aumentando en 2022 (figura 6). Se estima que su aumento a escala mundial es de $3,4 \pm 0,3 mm a\tilde{a}no^{-1}$ a lo largo del período de 30 años durante el cual se han recopilado datos altimétricos satelitales (1993-2022), pero se ha duplicado entre la primera década del registro (1993-2002) y la última (2013-2022), durante la cual ha

¹⁸ El contenido calorífico del océano se mide en zetajulios. Un zetajulio equivale a 1 021 julios, es decir, 1 000 000 000 000 000 000 000 de julios.

¹⁹ Cheng, L.; von Schuckmann, K.; Abraham, J. P. y otros. Past and Future Ocean Warming. *Nature Reviews Earth and Environment* **2022**, 3, 776–794. <https://doi.org/10.1038/s43017-022-00345-1>.



superado los 4 mm año⁻¹. Se estima que la aceleración de la subida del nivel medio del mar a escala mundial es de $0,12 \pm 0,05$ mm año⁻² a lo largo del período de 30 años. El aumento de nivel del mar no es igual en todas partes, y las diferencias se deben en parte a cambios locales en el contenido calorífico del océano (figura 7).

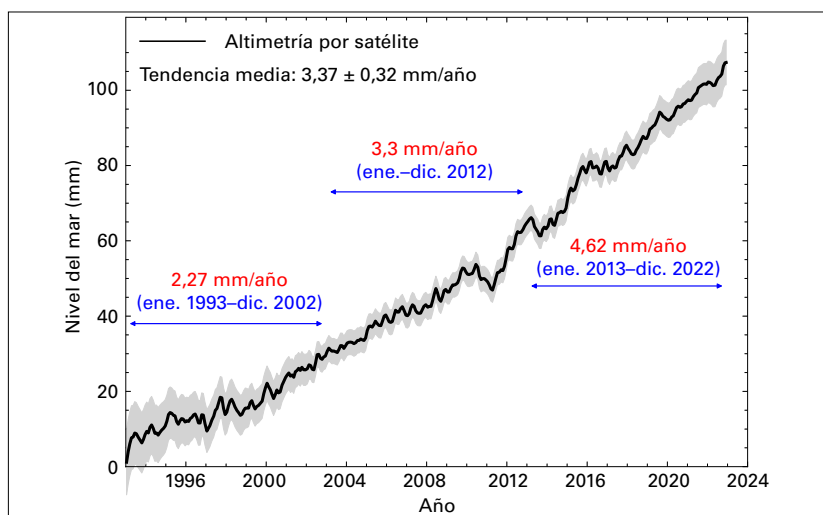


Figura 6. Evolución del nivel medio del mar a escala mundial desde enero de 1993 hasta diciembre de 2022 (curva negra) con la incertidumbre asociada (área sombreada) sobre la base de la altimetría por satélite. Las líneas de color horizontal representan las tendencias lineales medias a lo largo de tres períodos sucesivos.

Fuente: Laboratorio de Estudios de Geofísica y Oceanografía Espaciales (LEGOS); datos de altimetría procedentes de Archivo, Validación e Interpretación de Datos Oceanográficos Satelitales (AVISO) (<https://www.aviso.altimetry.fr>).

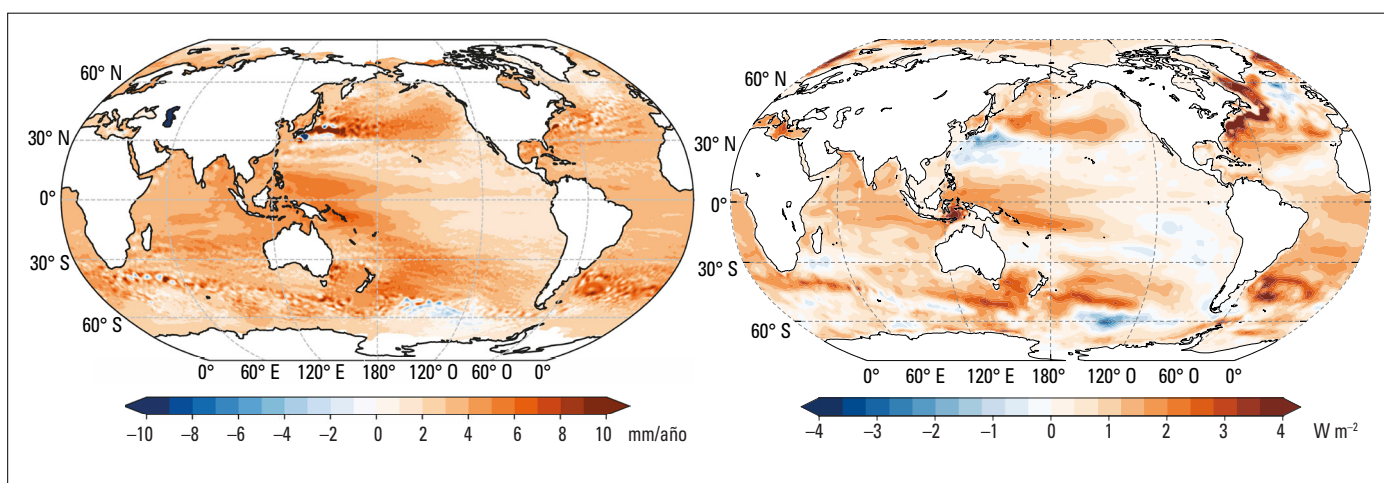


Figura 7. Izquierda: tendencias del nivel del mar (mm año⁻¹) para el período 1993-2022.

Fuente: LEGOS; datos del Servicio de Cambio Climático de Copernicus (C3S) (<https://climate.copernicus.eu>).

Derecha: tendencias del contenido calorífico del océano ($W m^{-2}$) de 0 a 2000 m de profundidad para el período 1993-2022.

Fuente: datos actualizados a partir de Cheng, L.; Trenberth, K. E.; Fasullo, J. y otros. Improved Estimates of Ocean Heat Content from 1960 to 2015. *Science Advances* **2017**, 3(3), e1601545. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1601545>.

El calentamiento de los océanos, la pérdida de hielo de los glaciares y mantos de hielo, y los cambios en el almacenamiento terrestre de agua contribuyen a los cambios en el nivel del mar. El balance del nivel medio del mar a escala mundial compara la suma de las estimaciones de los distintos componentes con el valor total del nivel medio del mar a escala mundial medido por satélites. Si la suma de las estimaciones coincide con el valor total del nivel medio del mar a escala



mundial, se dice que el balance está «cerrado». El balance se ha actualizado recientemente²⁰, y el balance del nivel medio del mar a escala mundial puede cerrarse actualmente hasta finales de 2020, teniendo en cuenta las incertidumbres asociadas a los datos (figura 8). Con respecto al período 2005-2019, para el que pueden estimarse las distintas contribuciones de masas, la pérdida total de hielo terrestre de los glaciares, Groenlandia y la Antártida contribuyó en un 36 % al aumento del nivel medio del mar a escala mundial, y el calentamiento de los océanos (a través de la expansión térmica) contribuyó en un 55 %. La contribución de las variaciones en el almacenamiento terrestre de agua fue inferior al 10 %.

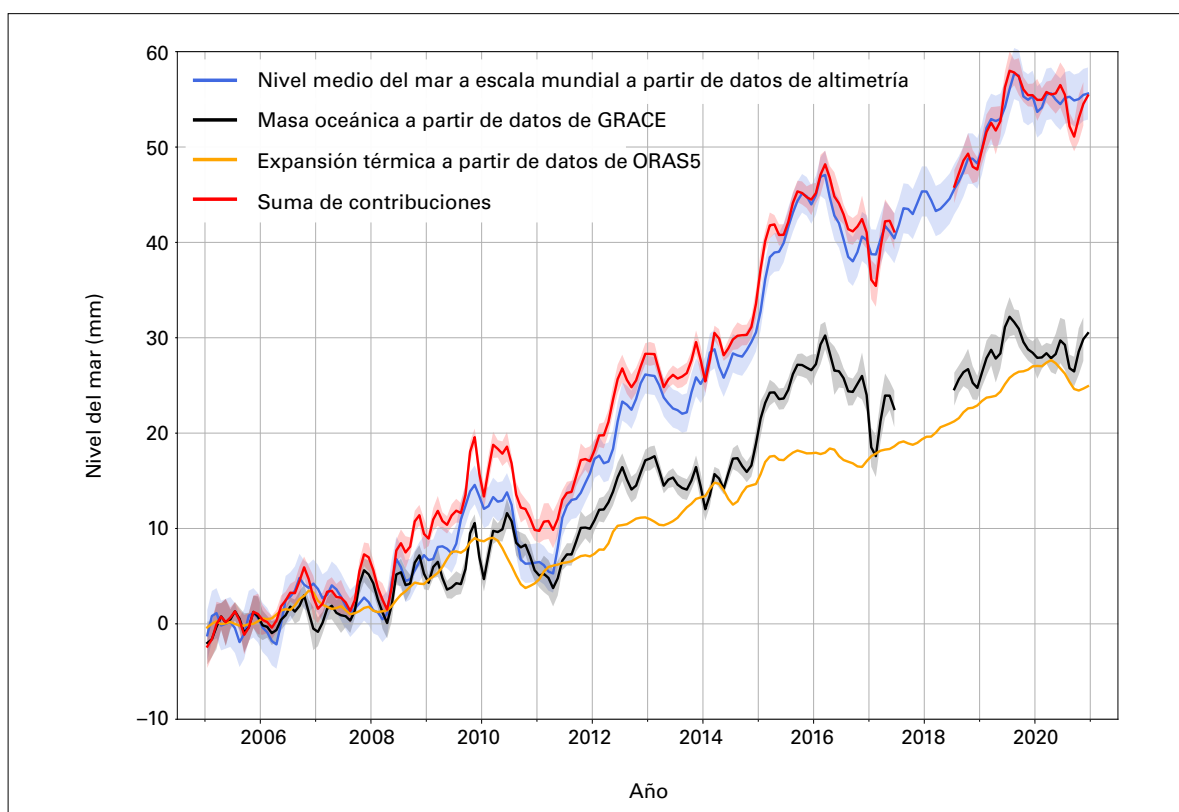


Figura 8. Balance del nivel medio del mar a escala mundial entre enero de 2005 y diciembre de 2020. Los datos de Jason-3 utilizados para el nivel medio del mar a escala mundial a partir de 2008 tienen en cuenta la deriva del radiómetro de a bordo. Obsérvese que la máscara aplicada a los datos sobre el nivel del mar es diferente de la utilizada en la figura 6, por lo que puede haber algunas diferencias. La masa oceánica basada en los datos de GRACE es una media de conjuntos de seis soluciones diferentes. La expansión térmica se basa en el reanálisis de ORAS5.

Fuente: Barnoud A., Pfeffer J., Cazenave A. y otros. Revisiting the global ocean mass budget over 2005-2020. *Ocean Sciences*, **2023**, 19(2), 321–334. <https://doi.org/10.5194/os-19-321-2023>.

²⁰ Barnoud, A.; Pfeffer, J.; Cazenave, A. y otros. Revisiting the Global Mean Ocean Mass Budget over 2005-2020. *Ocean Sciences* **2023**, 19(2), 321–334. <https://doi.org/10.5194/os-19-321-2023>.



OLAS DE CALOR Y PERÍODOS DE FRÍO MARINOS

Al igual que sucede con las olas de calor y los períodos de frío en zonas terrestres, las olas de calor marinas y los períodos de frío marinos son períodos prolongados de calor o frío extremos en los mares y océanos que pueden tener diversas consecuencias para la vida marina y las comunidades que dependen de dichos ecosistemas²¹. Las olas de calor marinas son más frecuentes desde finales del siglo XX y principios del siglo XXI (figura 9 d)), mientras que los períodos de frío marinos son menos frecuentes (figura 10 d)). Se utilizan datos satelitales de la temperatura superficial del mar para monitorear las olas de calor marinas y los períodos de frío marinos a escala mundial; dichos fenómenos se clasifican en el presente informe como moderados, intensos, severos o extremos (para conocer las definiciones, véase «[Conjuntos de datos y metodología](#)»).

En general, el 58 % de la superficie oceánica experimentó al menos un ola de calor marina durante 2022 (figura 9 d)), porcentaje inferior al máximo histórico de 2016 (65 %) y similar al de 2021 (57 %). En total, el 25 % de la superficie oceánica experimentó al menos un período frío marino durante 2022, porcentaje similar al de 2021 (25 %) y muy inferior al máximo histórico de 1985 (63 %).

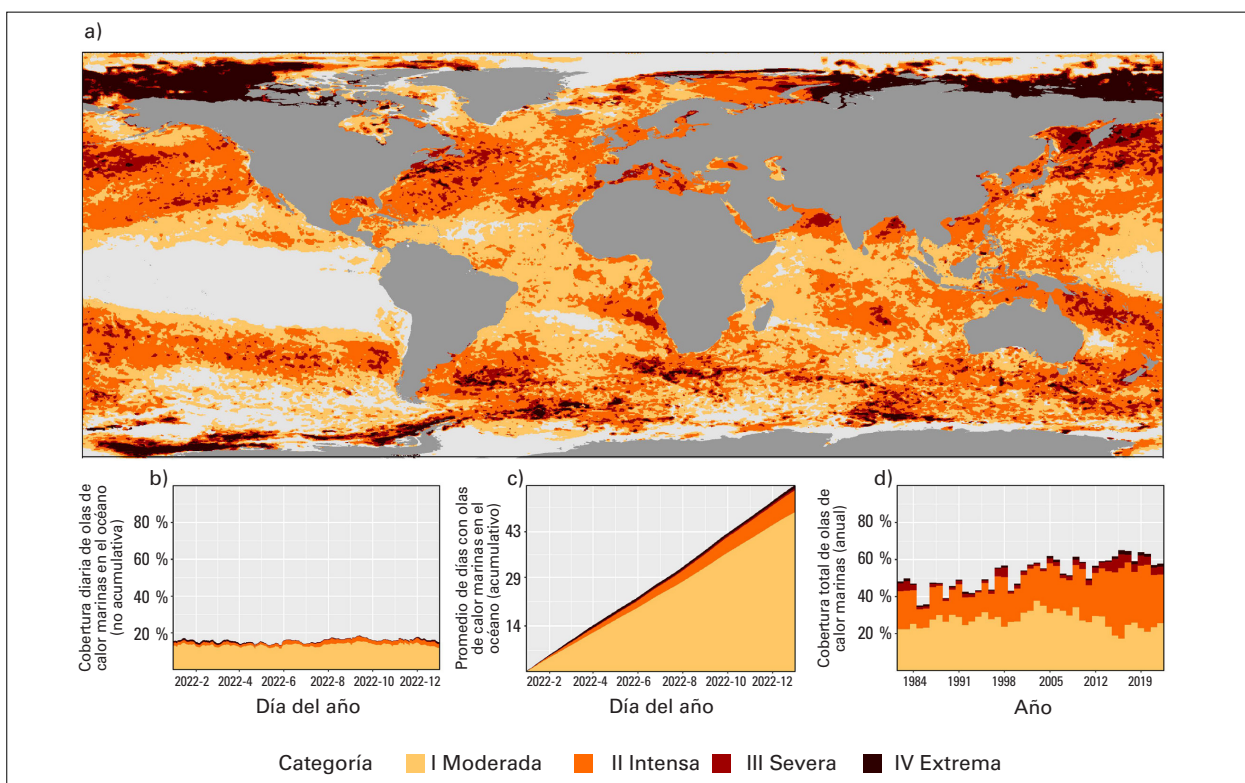


Figura 9. a) Mapa mundial que muestra la categoría más alta de las olas de calor marinas (para conocer las definiciones, véase «[Conjuntos de datos y metodología](#)») registrada en cada píxel (la resolución es de $0,25^\circ \times 0,25^\circ$) a lo largo de 2022 (período de referencia: 1982–2011). El color gris claro indica que no hubo ninguna ola de calor marina en un píxel determinado en todo el año, b) diagrama que muestra el porcentaje de la superficie del océano que registró una ola de calor marina cualquier día del año, c) diagrama que muestra el número acumulado de días con olas de calor marinas promediado para la superficie del océano. Nota: el promedio se calcula dividiendo la suma acumulada de días con olas de calor marinas por píxel ponderado por la superficie de dichos píxeles, d) superficie total anual del océano que experimentó una ola de calor marina de 1982 a 2022. Datos procedentes del registro Interpolación Óptima de la Temperatura de la Superficie del Mar (OISST) de la Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica (NOAA).

Fuente: Robert Schlegel.

²¹ Smith, K. E.; Burrows, M. T.; Hobday, A. J. y otros. Biological Impacts of Marine Heatwaves. *Annual Review of Marine Science* 2023, 15(1), 119–145. <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-032122-121437>.

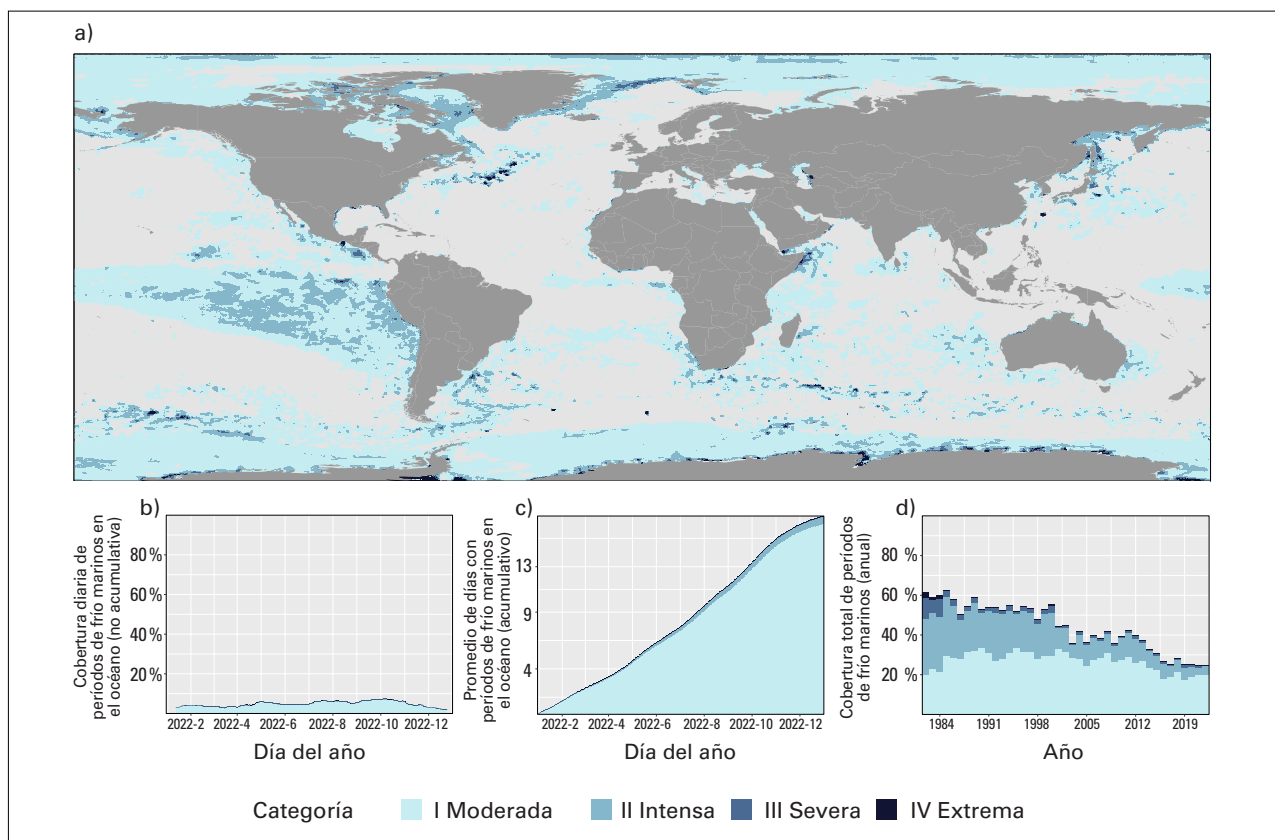


Figura 10. Al igual que en la figura 9, pero mostrando los períodos de frío marinos en lugar de las olas de calor marinas. Datos procedentes del registro OISST de la NOAA.

Fuente: Robert Schlegel.

La Niña y las temperaturas superficiales del mar inferiores a la media asociadas hicieron que el Pacífico ecuatorial fuera una de las pocas regiones oceánicas en las que se observaron períodos de frío marinos intensos generalizados en 2022 (figura 10). No obstante, el océano Austral es la única región en la que ha habido aumentos a largo plazo en la duración de los períodos de frío marinos, aunque en zonas concretas²². En el Ártico, los mares de Laptev y Beaufort experimentaron olas de calor marinas severas y extremas desde la primavera hasta el otoño de 2022. Los bordes de hielo al norte de Svalbard y al este del mar de Ross experimentaron olas de calor marinas extremas notables por segundo año consecutivo.

ACIDIFICACIÓN DEL OCÉANO

Entre 1960 y 2021, el océano absorbió alrededor del 25 % de las emisiones anuales de CO₂ antropógeno a la atmósfera, contribuyendo así a atenuar parcialmente los impactos del cambio climático²³. Sin embargo, los impactos negativos en el océano son elevados; el CO₂ reacciona con el agua de mar, lo que provoca una disminución del pH denominada acidificación del océano. La acidificación del

²² Wang, Y.; Kajtar, J. B.; Alexander, L. V. y otros. Understanding the Changing Nature of Marine Cold-spells. *Geophysical Research Letters* **2022**, *49*, e2021GL097002. <https://doi.org/10.1029/2021GL097002>.

²³ Friedlingstein, P.; O'Sullivan, M.; Jones, M. W. y otros. Global Carbon Budget 2022, *Earth System Science Data* **2022**, *14*, 4811-4900. <https://doi.org/10.5194/essd-14-4811-2022>.



océano amenaza a los organismos y servicios ecosistémicos²⁴. A medida que aumentan la acidez y la temperatura de los océanos, disminuye su capacidad de absorber CO₂ de la atmósfera, lo que puede dificultar la función del océano para moderar el cambio climático²⁵. La importancia de la acidificación del océano se refleja en el indicador 14.3.1 de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)²⁶, y se están realizando esfuerzos a escala mundial para monitorear dicho fenómeno.

El número limitado de observaciones a largo plazo en mar abierto muestra un descenso del pH (figura 11, izquierda), con un cambio en el pH medio mundial en la superficie del océano de 0,017-0,027 unidades de pH por década desde finales de los años ochenta²⁷. En el Sexto Informe de Evaluación del IPCC se concluyó que existía un nivel de confianza muy alto en que los valores de pH en la superficie del mar abierto se encontraban en su nivel más bajo desde hacía como mínimo 26 000 años y las tasas de cambio del pH no tenían precedentes desde, al menos, esa época²⁸. Las observaciones de la acidificación del océano correspondientes a las zonas costeras presentan un panorama más variado (figura 11, derecha), debido a la compleja interacción de factores como la afluencia de agua dulce, la actividad biológica y las influencias antropógenas en las aguas costeras.

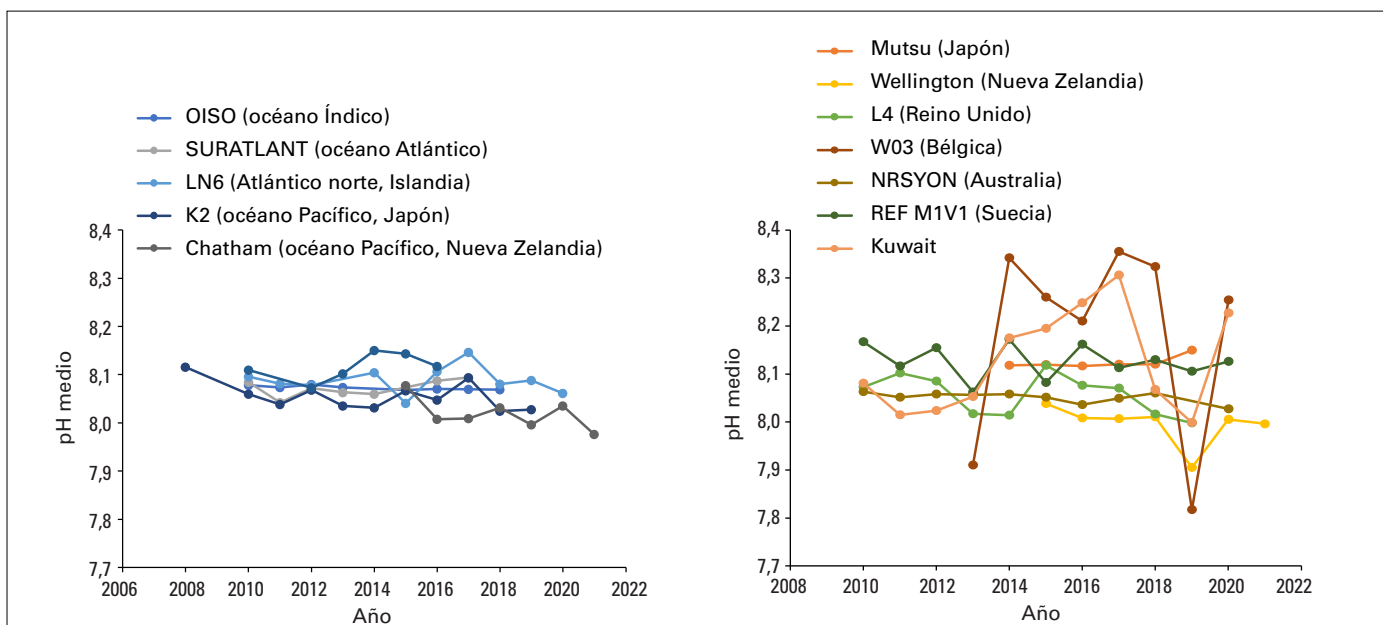


Figura 11. Variaciones en los valores medios anuales de pH de un conjunto de estaciones de muestreo representativas en mar abierto (2008-2021, izquierda) y en aguas costeras (2010 -2021, derecha). Para obtener más información sobre las estaciones, véase «Conjuntos de datos y metodología».

Fuente: Comisión Oceanográfica Intergubernamental (COI) de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO).

²⁴ Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), 2019, IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate, https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/3/2020/07/SROCC_SPM_es.pdf.

²⁵ Gruber, N.; Bakker, D. C. E.; DeVries, T. y otros. Trends and Variability in the Ocean Carbon Sink. *Nature Reviews Earth and Environment* **2023**, *4*, 119-134. <https://doi.org/10.1038/s43017-022-00381-x>.

²⁶ El indicador 14.3.1 de los ODS está bajo la custodia de la Comisión Oceanográfica Intergubernamental (COI) de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO).

²⁷ Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), 2019, IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/3/2022/03/SROCC_SPM_es.pdf.

²⁸ Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), 2021: Climate Change 2021: The Physical Science Basis, capítulo 2, sección 2.3.3.5, sobre el pH de los océanos. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>.



CRIOSFERA

La criosfera comprende las partes heladas de la Tierra: glaciares y mantos de hielo, hielo marino, nieve y permafrost. Los entornos inhóspitos y a menudo remotos en los que se forman han dificultado en ocasiones la realización de mediciones a largo plazo de estos fenómenos.

HIELO MARINO

La extensión del hielo marino ártico en 2022 fue inferior al promedio de 1991-2020 durante la mayor parte del año, con un máximo mensual de hielo marino en primavera de 14,59 millones de km² en marzo de 2022, 0,44 millones de km² por debajo de la media a largo plazo (figura 12). La extensión mínima mensual en septiembre fue de 4,87 millones de km², 0,71 millones de km² menos que la media a largo plazo. La extensión mínima del hielo fue superior a los valores mínimos medios del último decenio (2012-2021), en consonancia con un verano moderado con respecto al derretimiento del hielo marino ártico; aun así, es el 11° nivel más bajo de extensión mínima mensual de hielo registrado por satélite. La menor extensión diaria del año, 4,67 millones de km², se produjo el 18 de septiembre de 2022, siendo el 10° nivel más bajo de extensión diaria mínima anual jamás registrado²⁹.

La extensión del hielo marino en la Antártida ha registrado máximos históricos (2014) y mínimos históricos (2017/2022) en los últimos 10 años. La extensión del hielo marino antártico descendió a 1,92 millones de km² el 25 de febrero de 2022, el nivel más bajo jamás registrado y casi 1 millón de km² por debajo de la media a largo plazo (1991-2020)³⁰. Los orígenes de la pérdida de hielo se

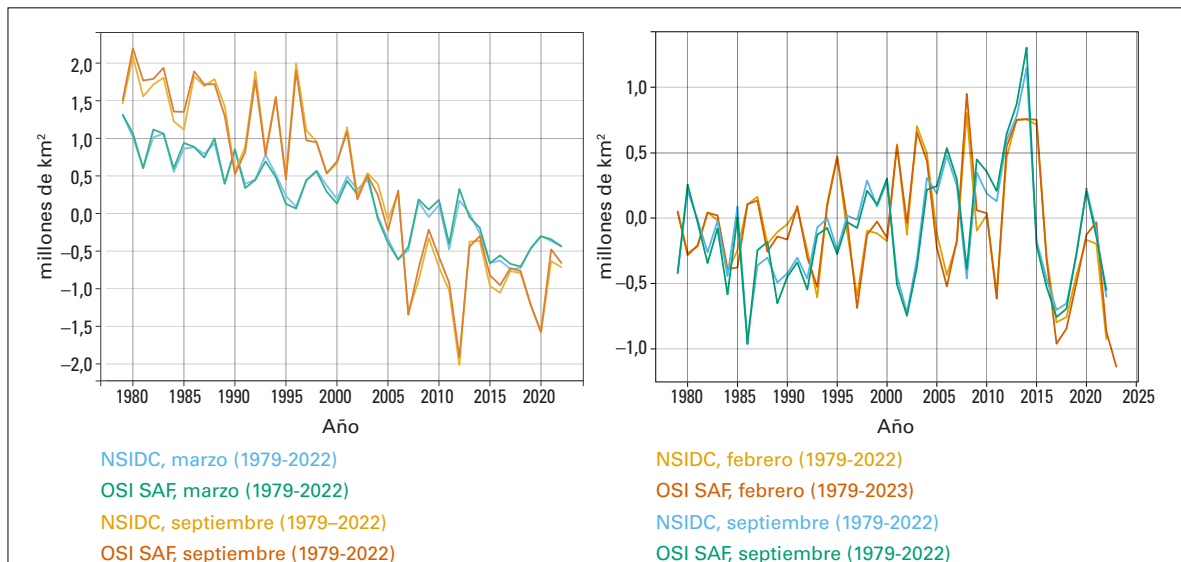


Figura 12. Anomalías en la extensión del hielo marino de 1979 a 2022 (con respecto al promedio de 1991-2020) para el Ártico (izquierda) y la Antártida (derecha). Las líneas azules/verdes indican las anomalías en la extensión máxima anual del hielo (marzo o septiembre), y las líneas naranjas/rojas corresponden a la extensión mínima anual del hielo (septiembre o febrero).

Fuente: Datos de OSI SAF v2p1 de la Organización Europea para la Explotación de Satélites Meteorológicos (EUMETSAT) y del Centro Nacional de Datos sobre Nieve y Hielos (NSIDC) v3 (Fetterer y otros, 2017) (para obtener más información, véase «Conjuntos de datos y metodología»).

²⁹ <https://nsidc.org/arcticseaicenews/2022/09/arctic-sea-ice-minimum-ties-tenth-lowest/>.

³⁰ Turner, J.; Holmes, C.; Caton Harrison, T. y otros. Record Low Antarctic Sea Ice Cover in February 2022. *Geophysical Research Letters* **2022**, *49*, e2022GL098904. <https://doi.org/10.1029/2022GL098904>.



remontan a octubre/noviembre de 2021, cuando tuvo lugar una serie de tormentas al oeste de la península antártica. Esta zona está muy influenciada por El Niño-Oscilación del Sur (ENOS), y las tormentas concuerdan con las condiciones de La Niña imperantes en ese momento. Vientos del sur de hasta 30 m s^{-1} alejaron el hielo marino de la costa de la Antártida occidental, creando una zona de 1 millón de km^2 de aguas abiertas denominada «polinia». Las aguas oceánicas expuestas se calentaron rápidamente bajo el sol estival, lo que provocó una mayor pérdida de hielo marino.

Tras el valor mínimo de la extensión de hielo marino anual en febrero, la extensión total del hielo marino antártico se mantuvo continuamente por debajo de la media de 30 años (1991-2020) hasta finales de 2022, e incluyó períodos con mínimos históricos en junio y julio. La extensión anual máxima de hielo marino antártico en octubre de 2022 fue 0,8 millones de km^2 inferior a la extensión máxima media.

GLACIARES

Los glaciares se forman a partir de nieve que se ha compactado hasta convertirse en hielo, el cual posteriormente se deforma y fluye hacia altitudes más bajas y cálidas, donde se derrite. En los casos en que los glaciares desembocan en un lago o en el océano, también se produce una pérdida de hielo por fusión, cuando el hielo y el agua entran en contacto, y por fragmentación parcial, en que se desprenden trozos del glaciar.

En el año hidrológico 2021/2022, los aproximadamente 40 glaciares con observaciones a largo plazo que monitorea el Servicio Mundial de Vigilancia de los Glaciares (WGMS) experimentaron un balance de masas medio de $-1,18 \text{ m}$ de equivalente en agua³¹. Esta pérdida es mucho mayor que el promedio del último decenio (figura 13). El balance de masas acumulado desde 1970 asciende a más de 26 m de equivalente en agua. Se observaron diferencias regionales marcadas; se produjo

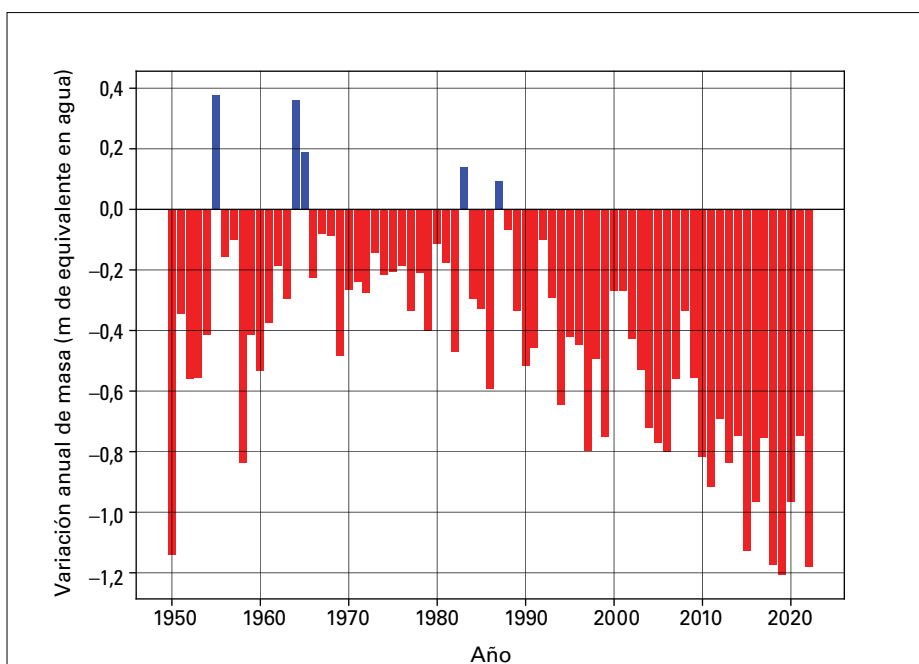


Figura 13. Variación anual mundial de masa de una combinación de unos 40 glaciares de referencia en todo el mundo correspondiente al período 1950-2022.

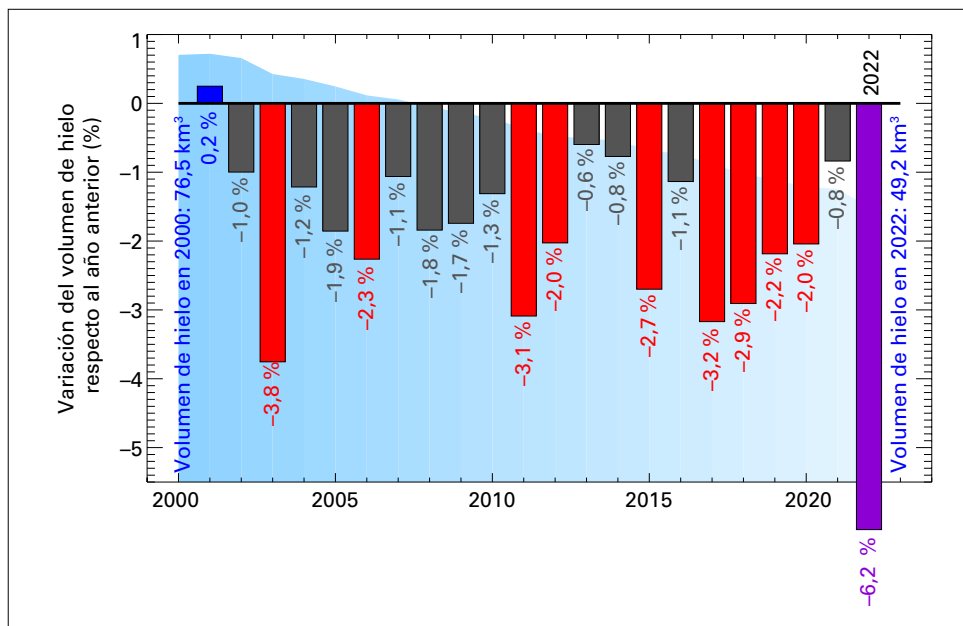
Fuente: datos presentados por el Servicio Mundial de Vigilancia de los Glaciares (www.wgms.ch).

³¹ La unidad “m de equivalente en agua” representa la profundidad de agua que se obtendría de la fusión de la nieve o hielo y su vertido en la zona geográfica cubierta por los glaciares.



Figura 14. Pérdida anual total de los glaciares suizos en relación con el volumen de hielo actual (2002-2022). Las barras verticales indican la variación porcentual del volumen de hielo con respecto al año anterior. Las barras rojas y violeta corresponden a las 10 mayores pérdidas de masa relativas que se han registrado. La barra violeta es la pérdida de masa relativa correspondiente a 2022. La zona sombreada en azul del fondo representa el volumen total de hielo.

Fuente: Matthias Huss, sobre la base de Glacier Monitoring Switzerland, 2022: *Swiss Glacier Mass Balance (release 2022)*, <https://doi.org/10.18750/massbalance.2022.r2022>.



un deshielo sin precedentes de los glaciares en los Alpes europeos (véase más adelante), pero hubo algunos aumentos de masa en Islandia y el norte de Noruega asociados a unas precipitaciones superiores a la media y a un verano relativamente fresco. Las mediciones realizadas en glaciares de las zonas de alta montaña de Asia³², el oeste de América del Norte, América del Sur y partes del Ártico también revelan pérdidas importantes de masa glaciar. El considerable deshielo de los glaciares en la mayoría de las regiones en 2022 está en consonancia con la aceleración a largo plazo de la pérdida de masa de los glaciares, ya que seis de los diez años con los mayores balances de masas negativos jamás registrados, incluido 2022, han tenido lugar desde 2015.

En los Alpes europeos, se batieron récords de pérdida de masa glaciar por un amplio margen en 2022. Las pérdidas de masa fueron muy superiores al rango de variabilidad histórica³³. Se midieron cambios del espesor medio de entre 3 y más de 4 metros en el conjunto de los Alpes, valores notablemente superiores a los de 2003, año en que se batió el anterior récord. En Suiza, el volumen de hielo glaciar se redujo un 6 % entre 2021 y 2022 (figura 14). Hay tres razones detrás de este deshielo extremo de los glaciares. En primer lugar, hubo muy poca nieve en invierno, por lo que el hielo estaba desprotegido a principios de verano. En segundo lugar, en marzo de 2022 llegó polvo procedente del Sáhara a los Alpes. El polvo oscureció la superficie nevada (es decir, redujo su albedo), por lo que esta absorbió más calor procedente del sol, acelerando aún más el deshielo de la nieve. En tercer lugar, las olas de calor entre mayo y principios de septiembre de 2022 provocaron una pérdida masiva de hielo. La nieve de los glaciares empezó a derretirse aproximadamente un mes antes de lo habitual y, por primera vez en la historia, toda la nieve se fundió durante la temporada de verano, incluso en los emplazamientos de medición situados a mayor altitud, de modo que la acumulación de hielo nuevo fue nula. Entre 2001 y 2022, el volumen de hielo de los glaciares de Suiza disminuyó, pasando de 77 km³ a 49 km³, lo que supone un descenso de más de un tercio.

Durante el verano, la línea de cero grados en los Alpes europeos subió, situándose a más de 5 000 metros sobre el nivel del mar. El 25 de julio, un globo meteorológico en Payerne (Suiza) registró 0 °C a 5 184 m de altitud, el valor más alto registrado en 69 años, siendo la segunda vez

³² Por zonas de alta montaña de Asia se entiende la zona de gran altitud de ese continente, incluida la meseta tibetana, que se extiende desde las cordilleras del Hindu Kush y Tien Shan en el oeste hasta el extremo oriental del Himalaya.

³³ Aunque los registros más antiguos superan los 100 años, las observaciones sistemáticas a largo plazo en otros glaciares comenzaron en la década de 1950.



solamente que la altitud de la línea de cero grados superaba los 5 000 m³⁴. Se registraron nuevas temperaturas sin precedentes en la cumbre del Mont Blanc. En relación con el calor, se observaron importantes desprendimientos de rocas, y una avalancha de hielo y un desprendimiento de glaciar provocados por el agua de deshielo en Marmolada (Italia) se cobraron la vida de 11 escaladores.

Los glaciares del oeste de América del Norte experimentaron una pérdida de masa en 2022 acorde con los balances de masas medios de los dos últimos decenios. Sin embargo, a principios de otoño de 2022 se produjeron balances de masas excepcionalmente negativos en esta región (y en Groenlandia, véase más adelante), asociados a las altas temperaturas de septiembre y octubre. En el suroeste del Canadá, los glaciares permanecieron sin nieve durante estos meses y perdieron aproximadamente 0,6 m de equivalente en agua adicionales, duplicando aproximadamente la pérdida anual neta de masa de estos glaciares correspondiente al año hidrológico comprendido entre septiembre de 2021 y agosto de 2022 una vez finalizada la temporada. Esta pérdida de masa no queda reflejada en las campañas habituales sobre el terreno, que examinan los cambios al final de la estación de deshielo estival, por ejemplo a principios de septiembre.

MANTOS DE HIELO

Un manto de hielo³⁵ es una superficie de hielo sobre la tierra que supera los 50 000 km². En el clima actual hay dos mantos de hielo: el manto de hielo de Groenlandia y el manto de hielo antártico. El balance de masa total de un manto de hielo es la suma de tres componentes: el balance de masa superficial, el balance de masa marina y el balance de masa basal. El balance de masa superficial es la diferencia entre la acumulación de nieve y las escorrentías de deshielo del manto de hielo. El balance de masa marina es la pérdida de masa en el borde del manto de hielo debida a la fragmentación parcial de icebergs y a la fusión del hielo que está en contacto con el océano. El balance de masa basal corresponde a la fusión en el lecho del manto de hielo debida al calor geotérmico y a la fricción que se produce cuando el hielo se desliza sobre el suelo que hay debajo. Un balance de masas negativo indica una pérdida de masa de hielo; un balance de masas positivo indica un aumento.

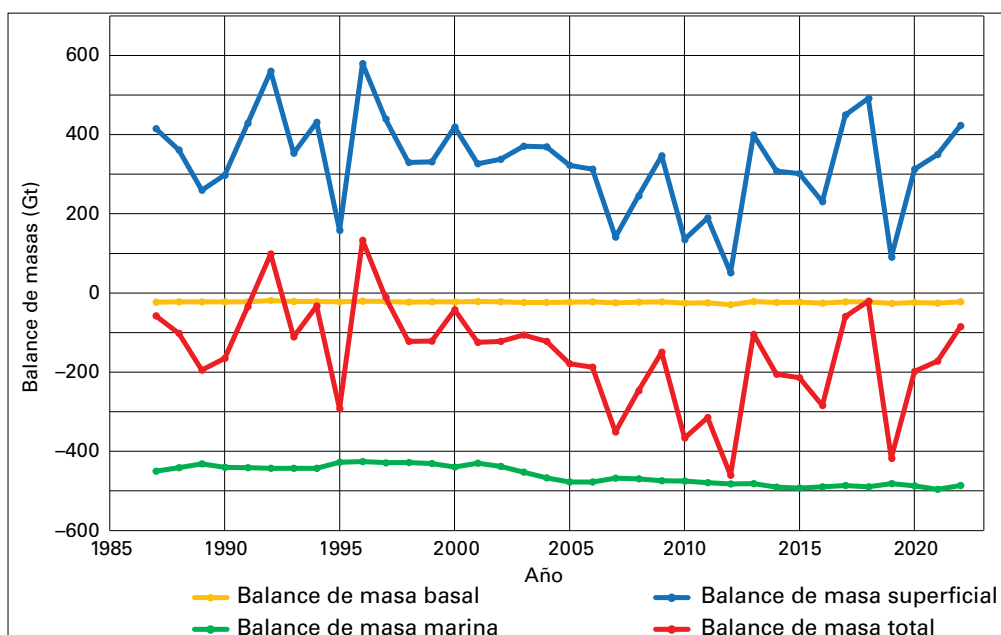


Figura 15. Componentes del balance de masa total del manto de hielo de Groenlandia (1987-2022). Azul: balance de masa superficial; verde: balance de masa marina; naranja: balance de masa basal; rojo: balance de masa total, suma del balance de masa superficial, balance de masa marina y balance de masa basal.

Fuente: Mankoff y otros (2021), actualizado por M. Stendel, Instituto Meteorológico Danés.

³⁴ https://www.meteoschweiz.admin.ch/dam/jcr:f8acdbc9-ba7e-4ddb-ae70-8404f5374632/alpenklima_DE_20221205.pdf.

³⁵ <https://www.ipcc.ch/srocc/chapter/glossary/>.



Con respecto al manto de hielo de Groenlandia³⁶, el balance de masa total estimado en el año de balance de masas de 2022 (1 de septiembre de 2021 a 31 de agosto de 2022) fue de -85 Gt ³⁷, lo que representa una pérdida neta de hielo. El balance de masa superficial correspondiente a 2021-2022 fue de unas 420 Gt, constituyendo el décimo valor más alto del conjunto de datos (1980-2022) (figura 15). No obstante, el manto de hielo de Groenlandia registró un balance de masa total negativo por 26° año consecutivo, debido principalmente a un balance de masa marina marcadamente negativo de -480 Gt . Desde 2002 se dispone de una medición independiente del balance de masa total basada en las misiones de los satélites GRACE y GRACE Follow-on (FO). Los datos de GRACE-FO indican un balance de masa total de -305 Gt (figura 17 a)), lo que supone una pérdida de masa mucho mayor que la estimada en -85 Gt por los modelos regionales de balance de masas. Esto refleja los diferentes métodos utilizados y también puede reflejar pérdidas de masa adicionales en septiembre captadas por GRACE-FO.

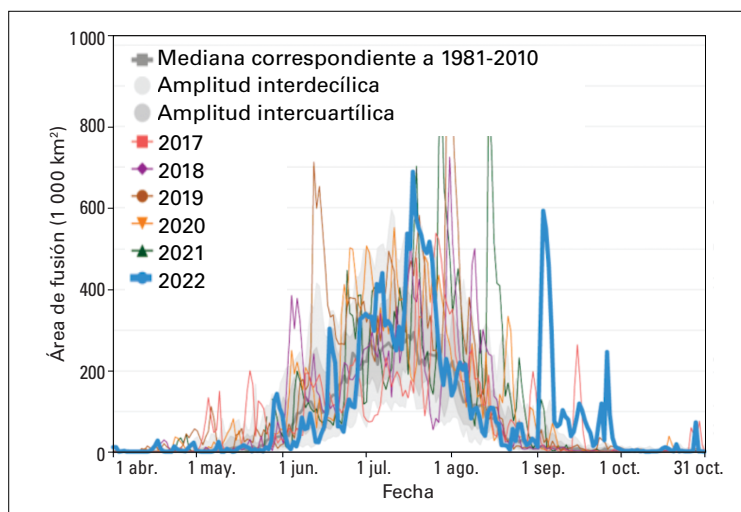


Figura 16. Área de fusión del manto de hielo de Groenlandia hasta la estación de deshielo de 2022.

Fuente: por cortesía del NSIDC. Imagen y análisis por cortesía de Thomas Mote, Universidad de Georgia.

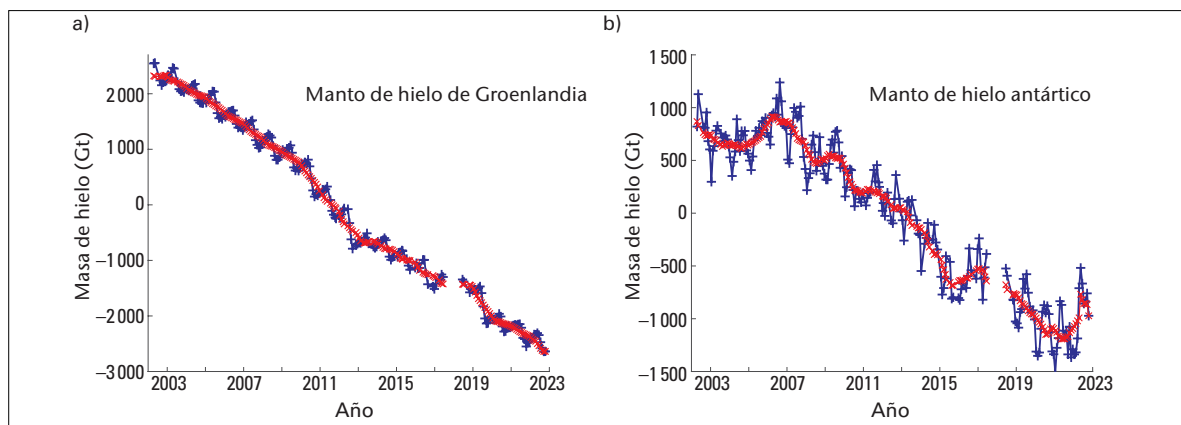


Figura 17. Registros del balance de masas de los mantos de hielo de a) Groenlandia y b) antártico procedentes de las misiones GRACE y GRACE-FO de la NASA (2002-2022). Los datos nativos de GRACE (más o menos mensuales) se muestran en azul, y los símbolos en rojo representan la media móvil de 13 meses, que suaviza el ciclo estacional y parte del ruido de la señal, representando mejor el balance de masas anual.

Fuente: datos y análisis por cortesía de Isabella Velicogna, Universidad de California, Irvine.

³⁶ Sobre la base del promedio de tres modelos climáticos regionales y de balance de masas. Véase Mankoff, K. D.; Fettweis, X.; Langen, P. L. y otros. Greenland Ice Sheet Mass Balance from 1840 through Next Week. *Earth System Science Data* **2021**, *13*, 5001-5025. <https://doi.org/10.5194/essd-13-5001-2021>.

³⁷ Una gigatonelada (Gt) equivale a 1 000 millones de toneladas, y 1 Gt de hielo corresponde a un volumen de aproximadamente $1,09 \text{ km}^3$.



Las estaciones de deshielo y ablación en Groenlandia se retrasaron en 2022 y el verano fue relativamente fresco con respecto a los últimos años. No obstante, a finales de julio de 2022 hubo un período de altas temperaturas que dio lugar a un intenso deshielo en amplias zonas del manto de hielo. El mes de septiembre de 2022 también fue extraordinariamente cálido, con un deshielo anómalo durante todo el mes (figura 16). Summit Station, el punto más alto de Groenlandia (a 3 200 m de altitud), experimentó su septiembre más cálido desde que hay registros (desde 1991) y experimentó condiciones de deshielo el 3 de septiembre de 2022, siendo la primera vez que se registra deshielo en este emplazamiento en septiembre³⁸. A lo largo del mes, cayeron lluvias intensas asociadas al ciclón postropical Fiona sobre el manto de hielo, siendo también la primera vez que se producía un fenómeno de este tipo en septiembre. La pérdida de masa de septiembre no se incluye en las -85 Gt citadas anteriormente, ya que convencionalmente se considera que el final de la estación de deshielo de Groenlandia es el 31 de agosto.

El manto de hielo antártico también presenta una tendencia de pérdida de masa a largo plazo, con una tasa media de cambio de masa de -117 ± 57 Gt al año para el período de registro de la misión GRACE, de abril de 2002 a octubre de 2022 (figura 17 b)). En 2022, el manto de hielo antártico invirtió esta tendencia a largo plazo y ganó masa, con un cambio de masa estimado de $+110$ Gt de enero a octubre de 2022. No es raro que haya años con un balance de masa total positivo en el registro de GRACE (véanse, por ejemplo, 2004, 2005 y 2016), pero los resultados preliminares hasta octubre de 2022 indican que el manto de hielo experimentó su mayor aumento de masa desde 2005.

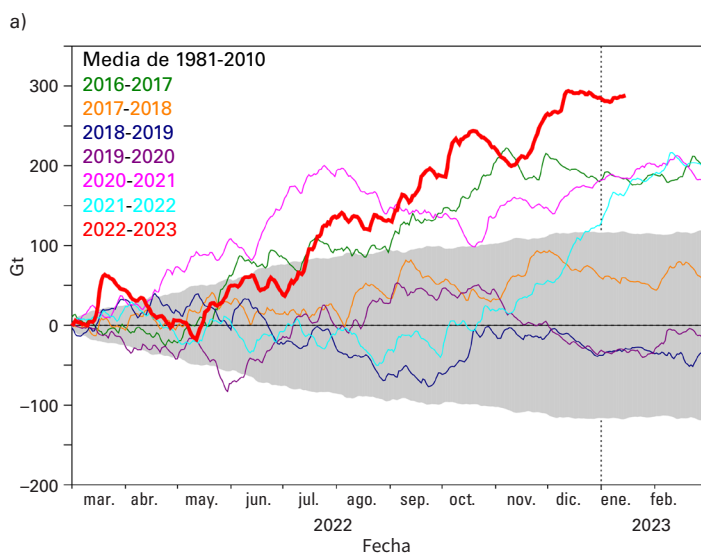
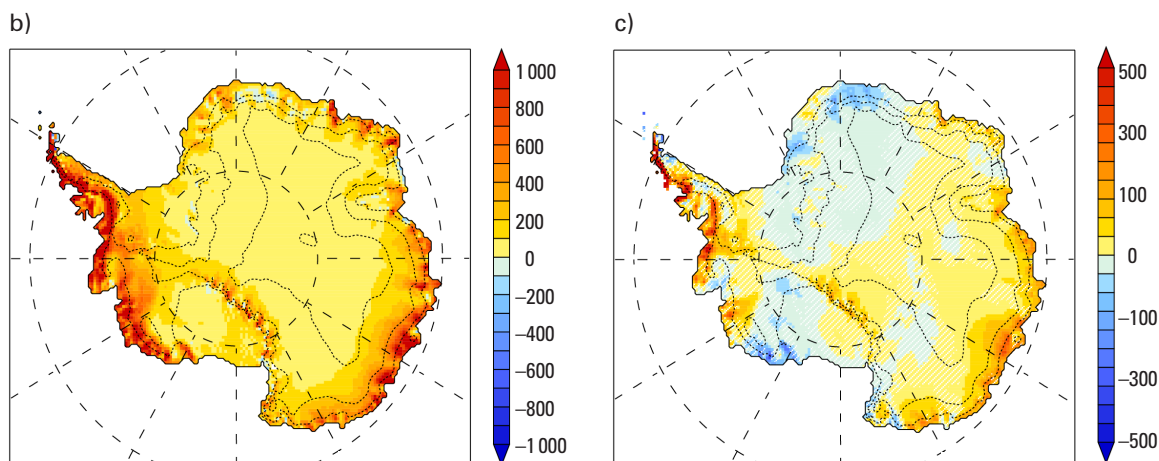


Figura 18. Balance de masa superficial del manto de hielo antártico en 2022, basado en el modelo climático regional MAR forzado mediante reanálisis climáticos de ERA5.

a) Anomalia del balance de masa superficial acumulada respecto al promedio de 1981-2010 (Gt). La franja gris indica la desviación estándar del registro a largo plazo. Los gráficos b) y c) muestran la distribución espacial del balance de masa superficial y las anomalías (mm de equivalente en agua) para el período comprendido entre el 1 de marzo de 2022 y el 10 de enero de 2023.

Fuente: imagen y análisis por cortesía de Xavier Fettweis, Universidad de Lieja, y el NSIDC.



³⁸ <https://nsidc.org/greenland-today/>.



El aumento de masa se debió a los valores excepcionalmente elevados de las nevadas y del balance de masa superficial (figura 18). De marzo a diciembre de 2022, la acumulación de nieve fue de casi 300 Gt por encima de lo normal, lo cual estuvo asociado a temperaturas por encima de lo normal y a nevadas copiosas en la península antártica occidental, la Tierra de Wilkes y gran parte de la meseta antártica oriental (figura 18 c). El manto de hielo antártico presenta siempre un balance de masa superficial positivo (mayor acumulación de nieve que fusión), lo cual se ve contrarrestado por el deshielo marino y la descarga de icebergs. Las recientes pérdidas de masa en la Antártida (figura 17 b)), de aproximadamente -100 Gt al año, se debieron a las elevadas tasas de deshielo marino y descarga de icebergs en la costa del mar de Amundsen. El balance de masa superficial excedente de unas 300 Gt fue suficiente para compensarlo, dando lugar a un balance de masa total positivo en 2022.

CUBIERTA DE NIEVE

La cubierta de nieve estacional en el hemisferio norte ha estado experimentando un descenso a largo plazo a finales de primavera y en verano. La extensión de la cubierta de nieve en 2022 se aproximó al promedio de 2001-2020 y fue congruente con estas tendencias a largo plazo. Sobre la base de los análisis del producto de Rutgers relativo a la extensión de la cubierta de nieve del hemisferio norte³⁹, el promedio diario de la extensión de la cubierta de nieve durante la temporada de nieve de agosto de 2021 a julio de 2022 fue un 2,5 % inferior al promedio de 2001-2020, habiéndose registrado las mayores anomalías en junio de 2022, cuando la extensión de la nieve fue de -1,68 millones de km², un 21 % inferior al promedio. Las reducciones de la extensión de la nieve en primavera en el hemisferio norte concuerdan entre los distintos conjuntos de datos, y en 2022 la extensión de junio por debajo de la media se debió a una cubierta de nieve inferior a lo normal tanto en América del Norte como en Eurasia, donde las extensiones de la cubierta de nieve de junio fueron la segunda y tercera más bajas jamás registradas, respectivamente, para el período 1967-2022⁴⁰.

PERMAFROST

El permafrost es terreno (tierra y roca) a una temperatura que se mantiene por debajo de 0 °C durante al menos dos años consecutivos. El permafrost puede contener una cantidad considerable de hielo, y su calentamiento y fusión pueden tener repercusiones importantes para la estabilidad del paisaje, la hidrología, los ecosistemas y la integridad de las infraestructuras. El suelo congelado también puede contener carbono que puede liberarse al descongelarse, lo cual repercute en las concentraciones de

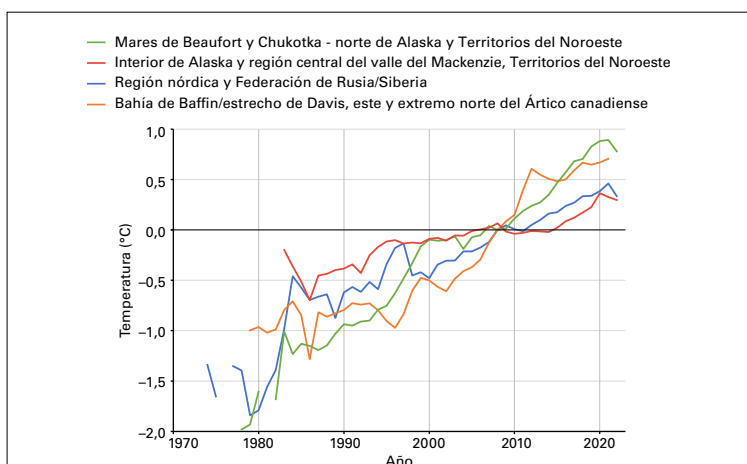


Figura 19. Desviaciones medias de la temperatura del permafrost (medida en la capa superior de 20-30 m), entre 1974 y 2022, con respecto a una referencia establecida durante el Año Polar Internacional (2007-2009) para las regiones árticas. Véase Smith y otros, 2022 (consúltese la nota a pie de página 42) para la ubicación de los emplazamientos en cada región y las tasas de cambio de la temperatura de los distintos emplazamientos. Algunos emplazamientos se establecieron después de 2000.

³⁹ <https://snowcover.org>.

⁴⁰ Mudryk, L.; Chereque, A. E.; Derksen, C. y otros. Terrestrial Snow Cover. En *Arctic Report Card 2022*; Druckenmiller, M. L.; Thoman, R. L.; Moon, T. A. (Eds.); Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica, 2022. <https://doi.org/10.25923/yxs5-6c72>.



gases de efecto invernadero y las retroalimentaciones climáticas. En la contribución del Grupo de Trabajo I al Sexto Informe de Evaluación del IPCC se concluyó que se habían observado aumentos de las temperaturas del permafrost en la capa superior de 30 m desde el inicio de los programas de observación en las últimas tres o cuatro décadas en todas las regiones de permafrost (*nivel de confianza alto*)⁴¹.

Las temperaturas del permafrost se miden en numerosos sondeos en todo el Ártico, cuyos registros ya superan las cuatro décadas en algunos emplazamientos. Las temperaturas a profundidades iguales o cercanas al nivel de cambio estacional mínimo indican que el permafrost se está calentando desde la década de 1970 (figura 19), habiéndose observado valores máximos sin precedentes en los últimos datos disponibles en muchos emplazamientos⁴². Por lo general, las mayores tasas de calentamiento del permafrost (de 0,4 °C a 0,6 °C por década) se observan en la capa más fría del permafrost (<-2 °C) del Ártico norteamericano occidental, el extremo norte del Ártico canadiense, las regiones nórdicas y la Federación de Rusia/Siberia. En el permafrost más cálido, cuyas temperaturas se aproximan a los 0 °C, en regiones como el interior de Alaska y la región central del valle del Mackenzie en el Canadá, se han observado tasas de calentamiento más bajas (<0,2 °C por década). Las tasas más bajas de aumento de la temperatura se deben al cambio de fase al fundirse el hielo térrico. Aunque las temperaturas puedan variar poco a lo largo del tiempo a medida que las temperaturas del permafrost se acercan a los 0 °C, la fusión del hielo térrico tiene importantes repercusiones para la resistencia y estabilidad del suelo.

El espesor de la capa activa es el espesor máximo de la capa superficial que se funde estacionalmente. La profundidad de la capa activa está aumentando en todo el mundo. De todas las regiones árticas, la región marina de Beaufort-Chukotka presenta la tendencia más baja, con un aumento de <0,3 cm al año de 2000 a 2021. La situación en el interior de Alaska y el Canadá es muy diferente, ya que el espesor de la capa activa aumenta 0,9 cm al año. Las profundidades de deshielo fueron sustancialmente mayores que la media de 2018 a 2021, y el espesor de la capa activa en 2021 fue el segundo más alto desde 2000 (por detrás de 2020). El espesor de la capa activa en entornos de montaña es muy variable. Los emplazamientos de los Alpes europeos muestran un aumento del espesor de la capa activa (>1 cm al año), mientras que los emplazamientos de los Alpes noruegos presentan tendencias no significativas. La Antártida cuenta con pocos emplazamientos activos y los datos disponibles parecen indicar cambios relativamente pequeños, pero el espesor de la capa activa en la península antártica ha aumentado desde 2013.

OZONO ESTRATOSFÉRICO Y GASES QUE AGOTAN LA CAPA DE OZONO

A raíz de la aplicación satisfactoria del Protocolo de Montreal, se han dejado de producir y consumir halones y clorofluorocarburos (CFC), pero se siguen monitoreando sus niveles en la atmósfera. Puesto que los CFC tienen períodos de vida largos, permanecerán en la atmósfera durante muchas

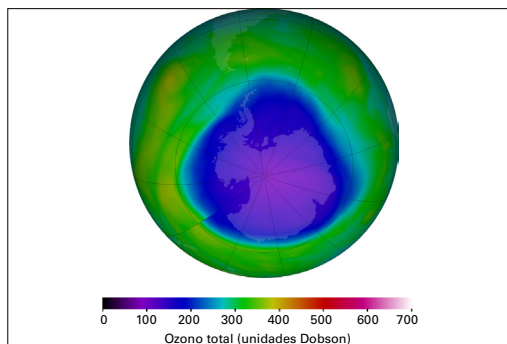


Imagen en colores falsos del ozono total sobre el polo antártico el 1 de octubre de 2022. Los colores violeta y azul indican las regiones donde hay menos ozono, y los amarillos y rojos muestran dónde hay más ozono. Puede verse un vídeo con la evolución del ozono durante todo el año 2022 en https://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/ozone_maps/movies/OZONE_D2022-07-01%25P1D_G%5e360X240_IOMPS_PNPP_V21_MMERRA2_LSH.mp4.

⁴¹ Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), 2021: Climate Change 2021: The Physical Science Basis, capítulo 2, sección 2.3.2.5, sobre el permafrost terrestre. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>.

⁴² Smith, S. L.; O'Neill, H. B.; Isaksen, K. y otros. The Changing Thermal State of Permafrost. *Nature Reviews Earth and Environment* 2022, 3, 10–23. <https://doi.org/10.1038/s43017-021-00240-1>.

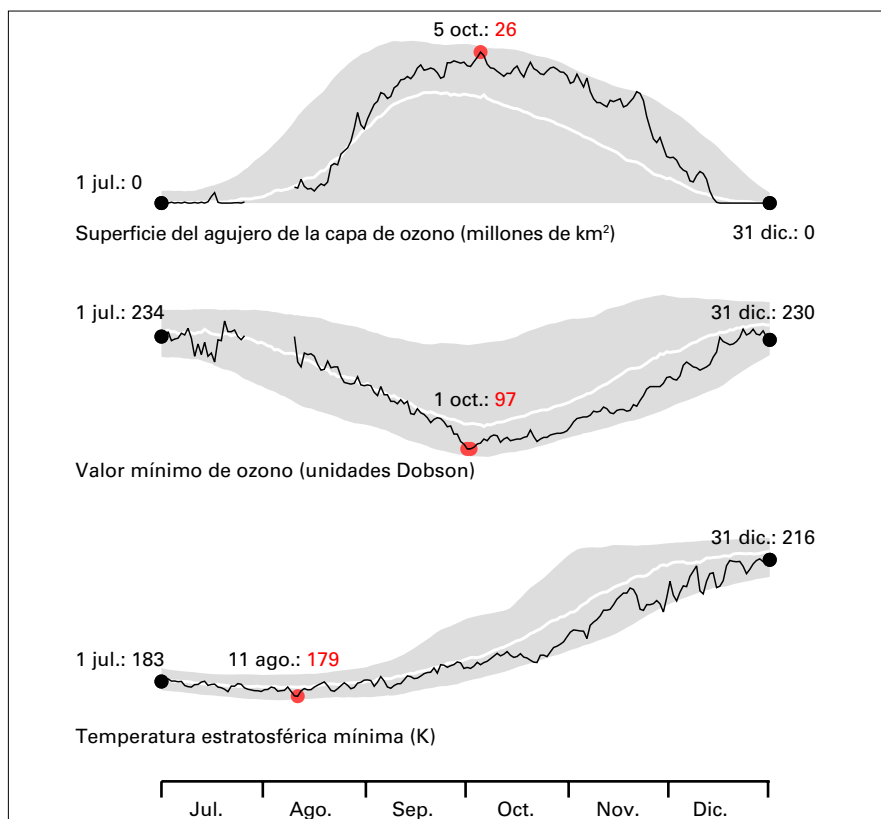


Figura 20. Arriba: superficie del agujero de la capa de ozono (millones de kilómetros cuadrados). Centro: valor mínimo de ozono (unidades Dobson). Abajo: temperatura estratosférica mínima (K) al nivel de 50 hPa (~20 km de altitud) del 1 de julio al 31 de diciembre de 2022. Los números en rojo indican el valor más alto (superficie del agujero de la capa de ozono) o más bajo (valor mínimo de ozono y temperatura estratosférica mínima) de la temporada para cada indicador.

Fuente: Ozone Watch, NASA.

décadas y, aunque no se produjeran nuevas emisiones, seguiría habiendo cloro y bromo más que suficientes para que se produzca un agotamiento casi completo del ozono en la estratosfera inferior sobre la Antártida de agosto a diciembre. Por consiguiente, el «agujero» en la capa de ozono de la Antártida sigue formándose cada primavera, y su superficie y profundidad dependen en gran medida de las condiciones meteorológicas. El «agujero» no es estrictamente un agujero; es una zona en la que el ozono total en una columna de la estratosfera desciende por debajo de 220 unidades Dobson.

La evolución del agujero de la capa de ozono en 2022 fue similar a su evolución en 2021. El agujero apareció relativamente pronto y siguió creciendo, dando lugar a un agujero grande y profundo en la capa de ozono. El 5 de octubre alcanzó los 26 millones de km², cifra comparable a la de 2020 y 2021, y cercana a la superficie máxima observada en años anteriores como 2015 (28,2 millones de km²) y 2006 (29,6 millones de km²)⁴³ (figura 20). La Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio (NASA) informó de una columna de ozono mínima de 97 unidades Dobson los días 1 y 2 de octubre de 2022. Las concentraciones de ozono estratosférico se redujeron de forma continua hasta casi cero entre los 15 y 20 km de altitud sobre la Antártida a finales de septiembre de 2022, lo cual, junto con los valores medidos en la temporada de 2021, figura entre los valores de ozono más bajos jamás medidos mediante sondas en las estaciones antárticas⁴⁴. El agujero excepcionalmente profundo y grande de la capa de ozono se produjo como consecuencia de un vórtice polar fuerte y estable y temperaturas inferiores a la media en la estratosfera.

PRECIPITACIÓN

Los valores totales de precipitación fueron superiores al promedio a largo plazo (1951-2000) en el noreste de Asia, la región del monzón de verano de la India occidental, Asia suroriental, el

⁴³ <https://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/>.

⁴⁴ Con arreglo a la información presentada por la Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica (NOAA).

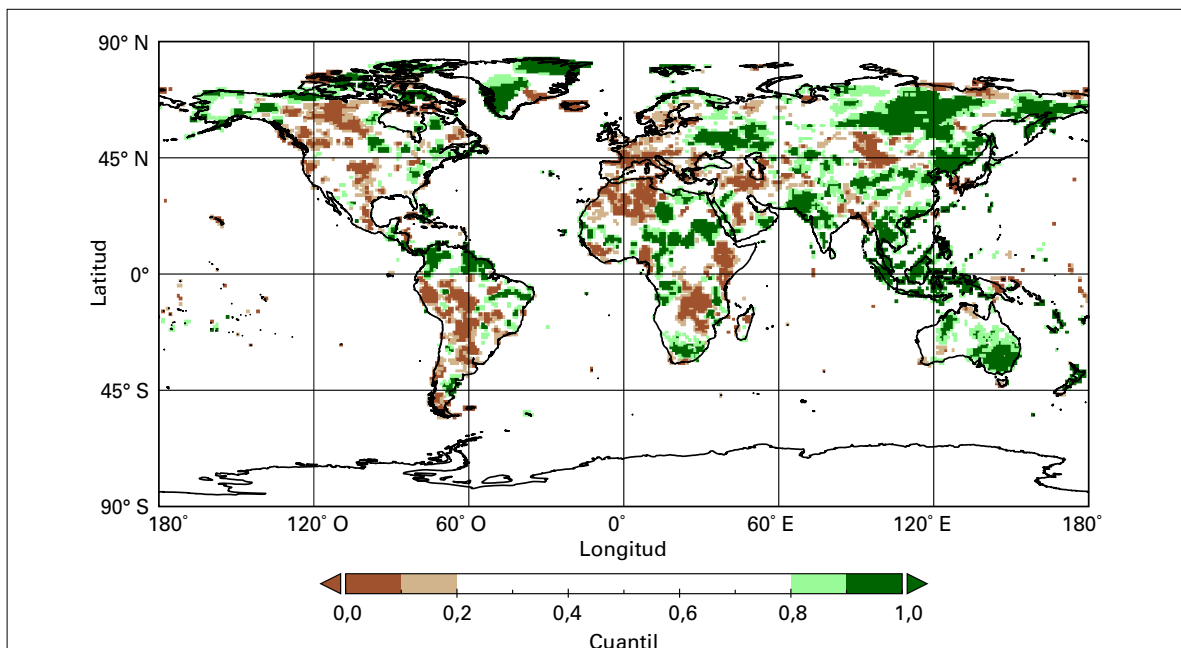


Figura 21. Precipitación total en 2022, expresada como percentil del período de referencia 1951-2000, para las zonas que hubieran estado en el 20 % más seco (en color marrón) y el 20 % más lluvioso (en color verde) de los años durante el período de referencia; los tonos marrón y verde más oscuros indican el 10 % más seco y más lluvioso, respectivamente.

Fuente: Centro Mundial de Climatología de las Precipitaciones (GPCC), Deutscher Wetterdienst, Alemania.

Continente Marítimo, zonas del norte de América del Sur, partes de América del Norte y el Caribe, la región oriental del Sahel, partes de África meridional, el Sudán, Europa oriental, Nueva Zelanda y Australia (figura 21). Entre las regiones con un marcado déficit de precipitaciones se incluyen las siguientes: amplias zonas de Europa, la región mediterránea y el noroeste de África, así como partes de Oriente Medio; Asia central y el Himalaya; África oriental y Madagascar; la región central y meridional de América del Sur, y la región central y occidental de América del Norte (figura 21).

En 2022, el monzón indico comenzó antes y se retiró más tarde de lo normal. En la mayor parte del subcontinente indio la pluviosidad fue superior a la media y el monzón se extendió más al oeste de lo habitual hacia el Pakistán, donde se produjeron importantes inundaciones. El comienzo del monzón de África occidental se retrasó al igual que en 2021. Posteriormente, durante la estación de dicho monzón, los valores totales de precipitación fueron superiores a lo normal. En total, las precipitaciones estacionales se aproximaron a los valores normales, salvo en las regiones costeras orientales y occidentales.

CONDICIONANTES CLIMÁTICOS A CORTO PLAZO

Los modos climáticos son patrones recurrentes, normalmente de presión o temperatura superficial del mar, que suelen constar de fases negativas y positivas, cada una de las cuales tiene efectos distintivos en la distribución de las precipitaciones, la temperatura y otros elementos meteorológicos en escalas temporales que varían de días a estaciones y a más largo plazo.

En 2022, dos de estos modos climáticos, El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) y el dipolo del océano Índico, propiciaron importantes fenómenos meteorológicos y climáticos en amplias zonas del planeta. En las siguientes secciones se presentan varios ejemplos.



EL NIÑO-OSCILACIÓN DEL SUR

El fenómeno ENOS es uno de los condicionantes más importantes de la variabilidad interanual de las pautas meteorológicas en de todo el mundo. Está vinculado a peligros hidrometeorológicos como lluvias fuertes, crecidas y sequías. El Niño, caracterizado por una temperatura superficial del mar superior a la media en el Pacífico tropical oriental y un debilitamiento de los vientos alisios en la región, suele contribuir al calentamiento de las temperaturas mundiales. La Niña, que se caracteriza por una temperatura superficial del mar inferior a la media en el Pacífico tropical central y oriental y un fortalecimiento de los vientos alisios, tiene el efecto contrario.

Las condiciones de La Niña aparecieron a mediados de 2020 y continuaron en 2021; las temperaturas superficiales del mar presentaron brevemente unas condiciones neutras en cuanto al ENOS (menos de 0,5 °C con respecto al valor normal), aunque siguieron siendo más frías que la media durante la mayor parte del verano del hemisferio norte. Las temperaturas superficiales del mar volvieron a disminuir y La Niña reapareció durante el período comprendido entre julio y septiembre de 2021, adquiriendo rápidamente una fuerza moderada, que mantuvo hasta finales de 2022 (figura 22). Este es el tercer año consecutivo de La Niña⁴⁵ siendo la tercera vez que un fenómeno de este tipo, conocido como «episodio triple» de La Niña, se produce en los últimos 50 años, tras 1973-1976 y 1998-2001.

Además de contribuir al enfriamiento temporal de la temperatura media mundial, La Niña se asocia a menudo, aunque no siempre, con una distribución característica de las precipitaciones. En algunas regiones, la distribución de las anomalías de la precipitación en 2022 fue típica de La Niña: condiciones más secas de lo habitual en la Patagonia y el suroeste de América del Norte, y mayor pluviosidad de lo habitual en África meridional, el norte de América del Sur, el Continente Marítimo y el este de Australia. A principios de diciembre, la Argentina, que atraviesa su tercer año consecutivo de sequía, se vio afectada por una ola de calor de una semana de duración con condiciones secas y temperaturas máximas sin precedentes. Mientras tanto, algunas partes del sur y el centro de Chile siguen sufriendo condiciones de sequía que perduran desde hace más de una década⁴⁶. La Niña también se asocia a lluvias monzónicas más intensas y prolongadas en Asia suroriental. El Pakistán experimentó lluvias sin precedentes en julio y agosto. La Niña y la

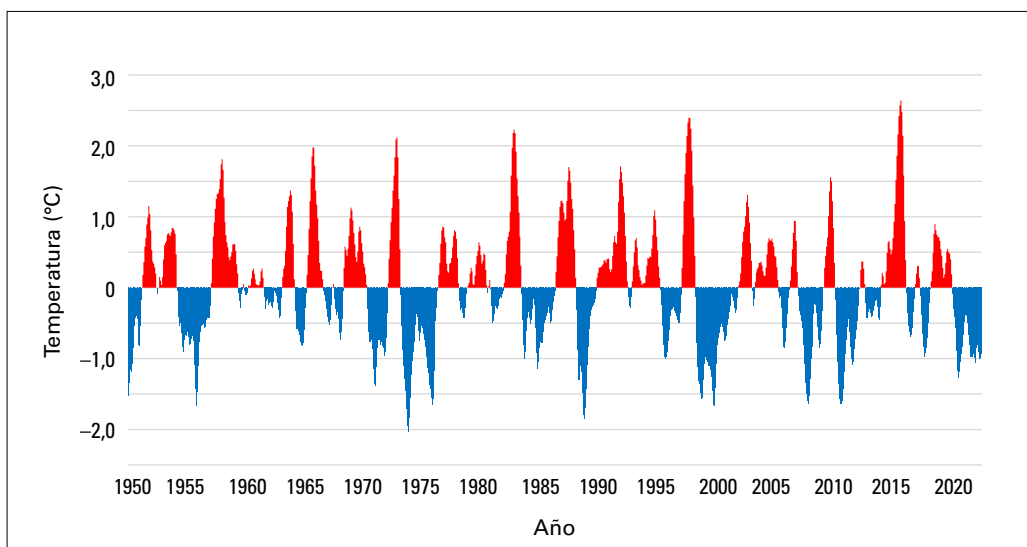


Figura 22. Serie temporal del índice oceánico de El Niño, elaborado por la NOAA, de 1950 a diciembre de 2022, que muestra la presencia de condiciones por debajo de la media (en azul) y por encima de la media (en rojo) durante los períodos correspondientes a la media trimestral.

Fuente: Centros Nacionales de Información Ambiental (NCEI) de la NOAA.

⁴⁵ <https://public.wmo.int/en/our-mandate/climate/el-ni%C3%B1o-la-ni%C3%B1a-update>.

⁴⁶ Garreaud, R. D.; Alvarez-Garreton, C.; Barichivich, J. y otros. The 2010-2015 Megadrought in Central Chile: Impacts on Regional Hydroclimate and Vegetation. *Hydrology and Earth System Sciences* **2017**, *21*, 6307–6327. <https://doi.org/10.5194/hess-21-6307-2017>.



fase negativa del dipolo del océano Índico se asocian a condiciones más secas de lo normal en África oriental⁴⁷. La mayor parte de Kenya, Etiopía y Somalia han experimentado cinco estaciones consecutivas de lluvias por debajo de la media, lo cual ha provocado graves consecuencias humanitarias.

Aunque normalmente reduce la temperatura mundial, La Niña no se asocia a temperaturas más bajas en todas partes. En Nueva Zelandia normalmente se asocia a masas de aire cálido y húmedo. El país registró su invierno más cálido y lluvioso desde que hay registros, siendo el tercer invierno consecutivo en el que se batió el récord de temperatura estacional, mientras que 2022 fue el año más cálido del que se tiene constancia en el país, superando en 0,20 °C el récord establecido en 2021.

DIPOLO DEL OCÉANO ÍNDICO

La fase positiva del dipolo del océano Índico se caracteriza por unas temperaturas superficiales del mar inferiores a la media en el océano Índico oriental y superiores a la media en la parte occidental. La fase negativa presenta la pauta opuesta. El cambio resultante en el gradiente de la temperatura superficial del mar en toda la cuenca oceánica influye en las condiciones meteorológicas de los continentes circundantes, principalmente en el hemisferio sur. Los episodios positivos del dipolo del océano Índico se asocian a menudo, aunque no siempre, con El Niño, y los negativos, con La Niña.

Por segundo año consecutivo, se instauró una fase negativa del dipolo del océano Índico durante el invierno austral. En combinación con La Niña, esta fase propició condiciones lluviosas en gran parte de Australia a finales del invierno y la primavera australes. Han sido la primavera y el mes de octubre más lluviosos jamás registrados en Nueva Gales del Sur y Victoria, y la segunda primavera más lluviosa a nivel nacional después de 2010. Se produjeron graves inundaciones que afectaron a múltiples regiones en primavera, especialmente en amplias zonas del este de Australia. La fase negativa del dipolo del océano Índico volvió a condiciones neutras al comenzar el verano austral.

Como ya se ha mencionado, la fase negativa del dipolo del océano Índico, en combinación con La Niña, contribuyó a las actuales condiciones de sequía en África oriental. Para obtener más información, véanse las secciones «[Fenómenos extremos](#)» e «[Impactos socioeconómicos](#)».

⁴⁷ Véase, por ejemplo, Anderson, W.; Cook, B. I.; Slinski, K. y otros. Multiyear La Niña Events and Multiseason Drought in the Horn of Africa, *Journal of Hydrometeorology* **2023**, 24 (1), 119-131. <https://doi.org/10.1175/JHM-D-22-0043.1>.

Fenómenos extremos

Aunque los cambios a gran escala en el clima son importantes, los impactos del tiempo y el clima se perciben con mayor claridad durante los fenómenos extremos, como las lluvias y nevadas intensas, las sequías, las olas de calor, los períodos de frío y las tormentas, incluidos los ciclones y las tormentas tropicales. Estos extremos meteorológicos y climatológicos, por sí solos, de manera combinada y junto con otros factores, pueden dar lugar a otros fenómenos como inundaciones, deslizamientos de tierra, incendios forestales y fenómenos extremos combinados. En conjunto, tienen una gran diversidad de impactos en los sistemas humanos y naturales. La presente sección, que describe diversos fenómenos extremos ocurridos en 2022, se basa en gran medida en las aportaciones de los Miembros de la OMM. Los riesgos e impactos socioeconómicos más amplios se describen en la sección «Impactos socioeconómicos». La información adicional procede de la Base de Datos Internacional Sobre Desastres EM-DAT⁴⁸.

CALOR, SEQUÍAS E INCENDIOS FORESTALES

China sufrió la ola de calor más extensa y duradera desde que existen registros nacionales, que se prolongó desde mediados de junio hasta finales de agosto y dio lugar al verano más caluroso jamás registrado, con un margen de más de 0,5 °C. También fue el segundo verano más seco jamás registrado, durante el que la mayor parte de la mitad sur de China (salvo la provincia de Cantón) registró precipitaciones estacionales que se situaron entre un 20 % y un 50 % por debajo de la media. En todo el país, 366 lugares experimentaron su temperatura más alta desde que hay registros. El calor fue especialmente intenso en el valle del río Yangtsé, que también sufrió una importante sequía durante su verano más seco desde que hay registros; en Wuhan, el río Yangtsé alcanzó el nivel más bajo jamás registrado en un mes de agosto. También hubo numerosos incendios forestales en la región. En el resto de Asia oriental se produjeron importantes olas de calor, incluido un récord de nueve días consecutivos por encima de los 35 °C en Tokio entre el 25 de junio y el 3 de julio de 2022.

Europa también experimentó numerosas olas de calor, que alcanzaron niveles considerables en cada uno de los tres meses de verano. Durante el verano, unas 4 600 muertes en España, 4 500 en Alemania⁴⁹, 2 800 en el Reino Unido⁵⁰ (entre la población de 65 años o más), 2 800 en Francia⁵¹ y 1 000 en Portugal estuvieron asociadas al calor inusual. La ola de calor de mayor envergadura se produjo a mediados de julio. Las temperaturas alcanzaron los 40 °C en el Reino Unido por primera vez (figura 23), con una lectura de 40,3 °C en Coningsby el 19 de julio⁵², mientras que los 33,0 °C registrados el 18 de julio en el parque Fénix (Dublín) fue el valor más alto en Irlanda desde 1887. En numerosos lugares se batieron récords previos en más de 3 °C, sobre todo en el norte de Inglaterra y el oeste

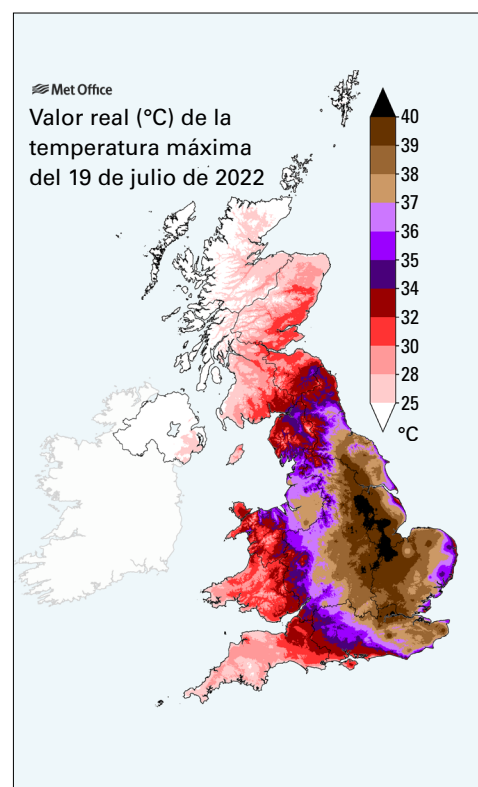


Figura 23. Temperaturas máximas en el Reino Unido correspondientes al 19 de julio.

Fuente: Oficina Meteorológica del Reino Unido (Met Office).

⁴⁸ <https://www.emdat.be/>.

⁴⁹ https://www.rki.de/DE/Content/Infekt/EpidBull/Archiv/2022/42/Art_01.html.

⁵⁰ <https://www.ons.gov.uk/peoplepopulationandcommunity/birthsdeathsandmarriages/deaths/articles/excessmortalityduringheatperiods/englandandwales1juneto31august2022>.

⁵¹ <https://www.santepubliquefrance.fr/presse/2022/bilan-canicule-et-sante-un-ete-marque-par-des-phenomenes-climatiques-multiples-et-un-impact-sanitaire-important>.

⁵² <https://www.metoffice.gov.uk/about-us/press-office/news/weather-and-climate/2022/july-heat-review>.



de Francia. La temperatura de 40,1 °C en Hamburgo-Neuwiedenthal el 20 de julio fue la lectura de 40 °C más septentrional jamás registrada en Alemania. El calor se extendió hacia el norte hasta Suecia, donde la lectura de 37,2 °C en Målilla el 21 de julio fue la temperatura más alta registrada en el país desde 1947.

La región mediterránea sufrió importantes olas de calor en junio y agosto. Se alcanzaron varias temperaturas máximas sin precedentes para el mes de junio en Italia, como los 40,0 °C registrados en Urbe (Roma) el 27 de junio. Túnez experimentó su mes de junio más caluroso desde que hay registros, y en algunos lugares se alcanzaron máximos históricos en agosto, mientras que en Esmara (Marruecos) se alcanzó una temperatura máxima sin precedentes de 49,1 °C el 10 de julio. El noreste de Europa sufrió importantes olas de calor a mediados de agosto, estableciéndose nuevos récords en Finlandia y Estonia. Casi todo el mar Mediterráneo se vio afectado por olas de calor marinas, que duraron de marzo a diciembre, a raíz de lo cual se establecieron nuevos récords de intensidad acumulada en la región.

La sequía también afectó a muchas zonas de Europa y el Mediterráneo (figura 24). En Europa, las condiciones fueron más graves en agosto, cuando el caudal de ríos como el Rin, el Loira y el Danubio descendió a niveles críticos, lo cual perturbó de manera considerable el transporte fluvial. En Francia, debido al bajo caudal de los ríos y a las altas temperaturas de sus aguas, algunas centrales nucleares vieron reducida su producción⁵³. Tres estados del centro-oeste de Alemania experimentaron su verano más seco desde que hay registros, en una región que había sufrido inundaciones extremas el verano anterior. Francia registró su período de enero a septiembre más

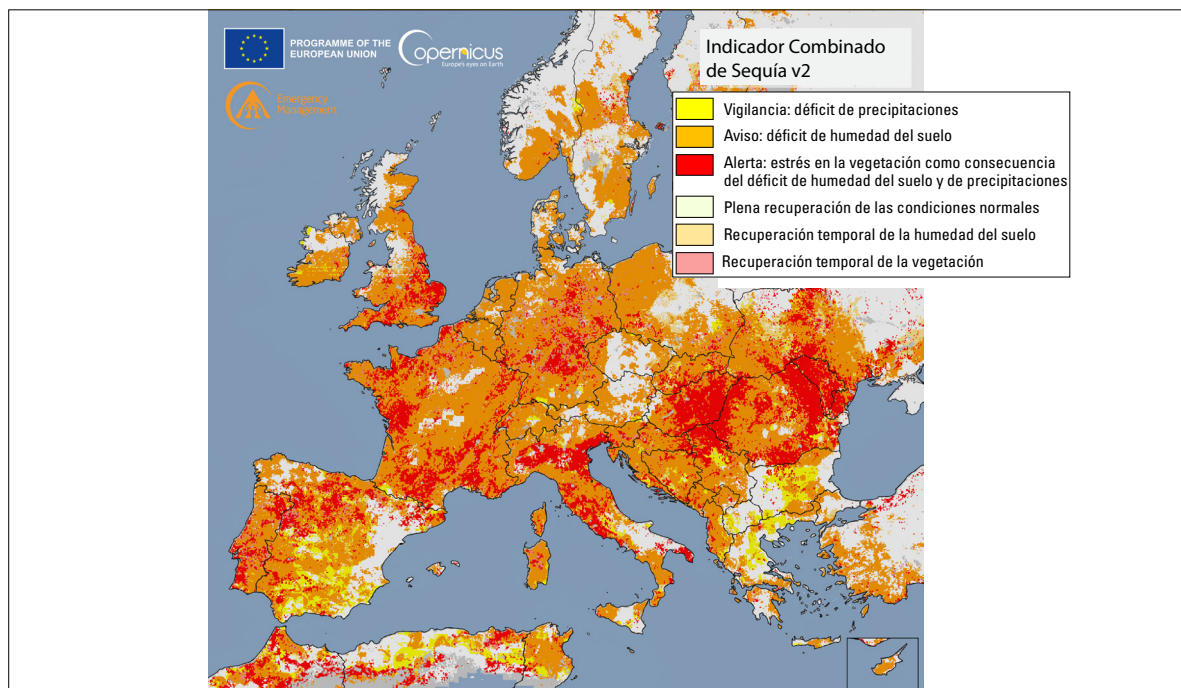


Figura 24. Sequía europea – Indicador Combinado de Sequía del Servicio de Gestión de Emergencias de Copernicus correspondiente al período comprendido entre el 1 y el 10 de agosto de 2022. Las zonas amarillas se encuentran en estado de “vigilancia”, lo que indica un déficit de precipitaciones; las zonas naranjas se encuentran en estado de “aviso”, lo que indica un déficit de humedad del suelo, y las zonas rojas se encuentran en estado de “alerta”, lo que indica estrés en la vegetación como consecuencia de los déficits de humedad del suelo y de precipitaciones.

Fuente: https://edo.jrc.ec.europa.eu/documents/news/GDO-ED0DroughtNews202208_Europe.pdf, licencia CC-BY 4.0.

⁵³ 2022 State of Climate Services: Energy (WMO-No. 1301) (Estado de los servicios climáticos en 2022: energía).



seco desde 1976, y el Reino Unido y Uccle (Bélgica) registraron su período de enero a agosto más seco desde 1976, mientras que el período de 12 meses que finalizó en agosto de 2022 fue el más seco desde hace al menos 40 años en Marruecos. El invierno de 2021/2022 fue excepcionalmente seco en el norte de Italia y la península ibérica, y la primavera fue más seca que la media en amplias zonas de Europa. Una importante sequía sigue afectando también a algunas zonas del suroeste asiático, en particular la República Islámica del Irán y el Iraq. Bagdad registró 24,3 mm de lluvia entre septiembre de 2021 y mayo de 2022, situándose un 78 % por debajo de la media a largo plazo.

El suroeste de Francia se vio gravemente afectado por los incendios forestales, que quemaron más de 62 000 hectáreas. Por segundo año consecutivo, los incendios forestales estuvieron asociados a importantes pérdidas de vidas humanas en Argelia, habiéndose registrado 44 muertes entre el 16 y el 18 de agosto.

El período premonzónico fue excepcionalmente caluroso en la India y el Pakistán. El Pakistán experimentó sus meses de marzo y abril más calurosos desde que hay registros, con temperaturas medias nacionales en ambos meses que superaron en más de 4 °C la media a largo plazo. En la India, la producción de cereales se vio reducida por el calor extremo y se produjeron varios incendios forestales, sobre todo en Uttarakhand.

La sequía se intensificó en la región del Cuerno de África, especialmente en Kenya, Somalia y el sur de Etiopía. Las precipitaciones fueron muy inferiores a la media en toda la región durante las estaciones de las lluvias de marzo a mayo y de octubre a diciembre, siendo la cuarta y quinta estación de las lluvias deficitaria consecutiva desde la segunda mitad de 2020, lo cual representa la secuencia más larga de este tipo en 40 años y repercute gravemente en la agricultura y la seguridad alimentaria. Al igual que en la anterior sequía prolongada de 2010-2012, La Niña y la fase negativa del dipolo del océano Índico contribuyeron de manera sustancial a las condiciones de sequía. En 2021/2022 llovió abundantemente en muchas zonas de África meridional, lo que alivió en cierta medida la sequía prolongada que afecta al sur de Madagascar.

La primera quincena de enero fue extremadamente calurosa en muchas partes de la región subtropical de América del Sur. La temperatura de 44,0 °C registrada en Paysandú el 14 de enero igualó el récord nacional del Uruguay. También se produjeron incendios forestales extensos y prolongados en el norte de la Argentina y el Paraguay, a raíz de los cuales se quemaron más de 900 000 hectáreas en la provincia de Corrientes entre principios de enero y finales de febrero⁵⁴. Una importante sequía siguió afectando a muchas partes de la región. Aunque las precipitaciones de 2022 en Chile no se situaron tan por debajo de la media como en los últimos años, en algunos lugares siguieron estando muy por debajo de esta⁵⁵. Buenos Aires experimentó su primer mes de junio sin lluvias desde que hay registros, y gran parte del noreste de la Argentina, desde la región de Buenos Aires hacia el norte, estaba sumida en una grave sequía a finales de año. Para esta región, así como para el Uruguay, fue el tercer año consecutivo de precipitaciones considerablemente inferiores a la media. Tras un otoño e invierno frescos, el calor extremo volvió a la región a finales de año con olas de calor en noviembre y diciembre, incluida una temperatura máxima sin precedentes para el mes de diciembre de 46,0 °C el 7 de diciembre en Rivadavia (Argentina). El nivel de actividad de los incendios en la Amazonia brasileña se aproximó al promedio de 1998-2021, pero también se situó entre los más elevados de la última década⁵⁶. Las emisiones de carbono estimadas procedentes de los incendios forestales en el estado de Amazonas fueron las más altas en al menos 20 años⁵⁷.

⁵⁴ <https://twitter.com/INTARNaturales/status/1497310851052630016>.

⁵⁵ Garreaud, R. D.; Boisier, J. P.; Rondanelli, R. y otros. The Central Chile Mega Drought (2010-2018): A Climate Dynamics Perspective. *International Journal of Climatology* **2020**, *40*, 421–439. <https://doi.org/10.1002/joc.6219>.

⁵⁶ <https://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/aq1km/>.

⁵⁷ <https://atmosphere.copernicus.eu/wildfires-amazonas-records-highest-emissions-20-years>.



Una importante sequía siguió afectando a gran parte de la mitad occidental de América del Norte. En los Estados Unidos, las condiciones de sequía afectaron a muchos estados del oeste y del sur, aunque las lluvias del monzón de verano aliviaron un poco la situación en el interior de la región suroeste, y las lluvias de finales de año contribuyeron a mitigar un poco la sequía en California y en la parte inferior del valle del Misisipi. Las pérdidas económicas totales durante el año a raíz de la sequía se valoraron en 22 000 millones de dólares de los Estados Unidos. Las condiciones meteorológicas en Texas, que experimentó su segundo período de enero a julio más seco desde que hay registros, y en las zonas adyacentes del norte de México fueron especialmente secas, mientras que California experimentó su período de enero a octubre más seco desde que hay registros (un 65 % por debajo del promedio de 1901-2000), continuando con una situación de sequía prolongada en que las precipitaciones correspondientes al período de 36 meses que finalizó en octubre de 2022 fueron las más bajas desde que hay registros. A finales de julio, el lago Mead, en la cuenca del río Colorado, registró su nivel más bajo desde que se llenó el embalse en 1938. La sequía se extendió a muchas otras zonas del sur de los Estados Unidos durante el año. Los niveles fluviales registraron mínimos históricos en octubre en algunas zonas del curso medio y bajo del Misisipi, y más del 82 % del territorio continental de los Estados Unidos experimentaba condiciones anormalmente secas a mediados de octubre, lo que representa la mayor superficie de este tipo en los 23 años de historia del Monitor de Sequía de los Estados Unidos. Las intensas precipitaciones primaverales aliviaron la sequía en el centro-norte de los Estados Unidos y las provincias de las praderas del Canadá.

La superficie total quemada durante la temporada de incendios forestales en los Estados Unidos fue ligeramente superior a la media, con una de las temporadas más activas jamás registradas en Alaska y el mayor incendio registrado en Nuevo México, pero las pérdidas de vidas y bienes fueron inferiores a las de los últimos años. El período de julio a septiembre fue el más caluroso jamás registrado en muchas zonas del oeste de los Estados Unidos.

A mediados de marzo se registraron temperaturas regionales excepcionalmente altas sobre la meseta de la Antártida oriental, ya que un río atmosférico originado cerca de Australia llevó aire cálido y húmedo al continente antártico. El 18 de marzo, las temperaturas alcanzaron los $-10,1$ °C en el domo C y los $-17,7$ °C en Vostok. Ambos valores superaron en más de 15 °C los registros anteriores de marzo en estos emplazamientos y en 35 °C los promedios de marzo, siendo la lectura del domo C la más alta desde que hay registros en cualquier época del año.

EPISODIOS DE FRÍO EXTREMO

En 2022 se batieron pocos récords importantes de frío a nivel mundial. A finales de diciembre, una intensa irrupción de aire frío afectó a muchas zonas de los Estados Unidos y el Canadá. Búfalo y las zonas aledañas se vieron afectadas por ventiscas intensas, que ocasionaron una pérdida considerable de vidas humanas. Las condiciones de ventisca duraron 36 horas, durante las que cayeron un total de 132 cm de nieve. Más al oeste, Casper (Wyoming) experimentó su temperatura más baja desde que hay registros ($-41,1$ °C). Diciembre también fue frío en algunas zonas de Europa, sobre todo en el norte y noroeste. La máxima de $-9,3$ °C en Braemar el 12 de diciembre fue la temperatura máxima más baja registrada en el Reino Unido desde diciembre de 2010, mientras que Islandia registró su diciembre más frío desde 1973.

Grecia sufrió dos nevadas importantes a finales de enero y mediados de marzo. Ambas irrupciones de aire frío afectaron también a otras zonas del Mediterráneo oriental, registrándose nevadas por encima de los 600 m en Libia. Por segundo año consecutivo, las heladas generalizadas de principios de abril provocaron pérdidas en los cultivos de Europa occidental, sobre todo en Francia. Una zona de baja presión en la costa descargó 60 cm de nieve en Boston (Estados Unidos) el 29 de enero, igualando el valor máximo histórico diario. Fue un invierno de nieve en la Patagonia argentina; la Patagonia septentrional registró su segunda cubierta de nieve más extensa del



siglo XXI y la Patagonia meridional su tercera. En julio, un período de frío hizo que Puerto Natales (Chile) experimentara su segunda temperatura más baja desde que hay registros, $-16,2\text{ }^{\circ}\text{C}$, mientras que El Calafate (Argentina) alcanzó los $-16,5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

INUNDACIONES Y LLUVIAS INTENSAS

El Pakistán sufrió inundaciones excepcionales (figura 25) durante la estación del monzón, que alcanzó su mayor intensidad a finales de agosto. En julio (181 % por encima de lo normal) y agosto (243 % por encima de lo normal) se alcanzaron los máximos niveles de pluviosidad para dichos meses desde que hay registros a escala nacional. La provincia de Sind se vio especialmente afectada y Baluchistán también acusó sus efectos. Los datos preliminares obtenidos por satélite indican que $75\,000\text{ km}^2$, aproximadamente el 9 % de la superficie del Pakistán, quedaron inundados en algún momento durante el mes de agosto⁵⁸. Las zonas adyacentes del Afganistán también se vieron afectadas. Se notificaron más de 1 700 muertes en el Pakistán y más de 2 millones de viviendas quedaron dañadas o destruidas, mientras que más de 33 millones de personas se vieron afectadas de alguna manera⁵⁹. Las pérdidas de cosechas y ganado también fueron

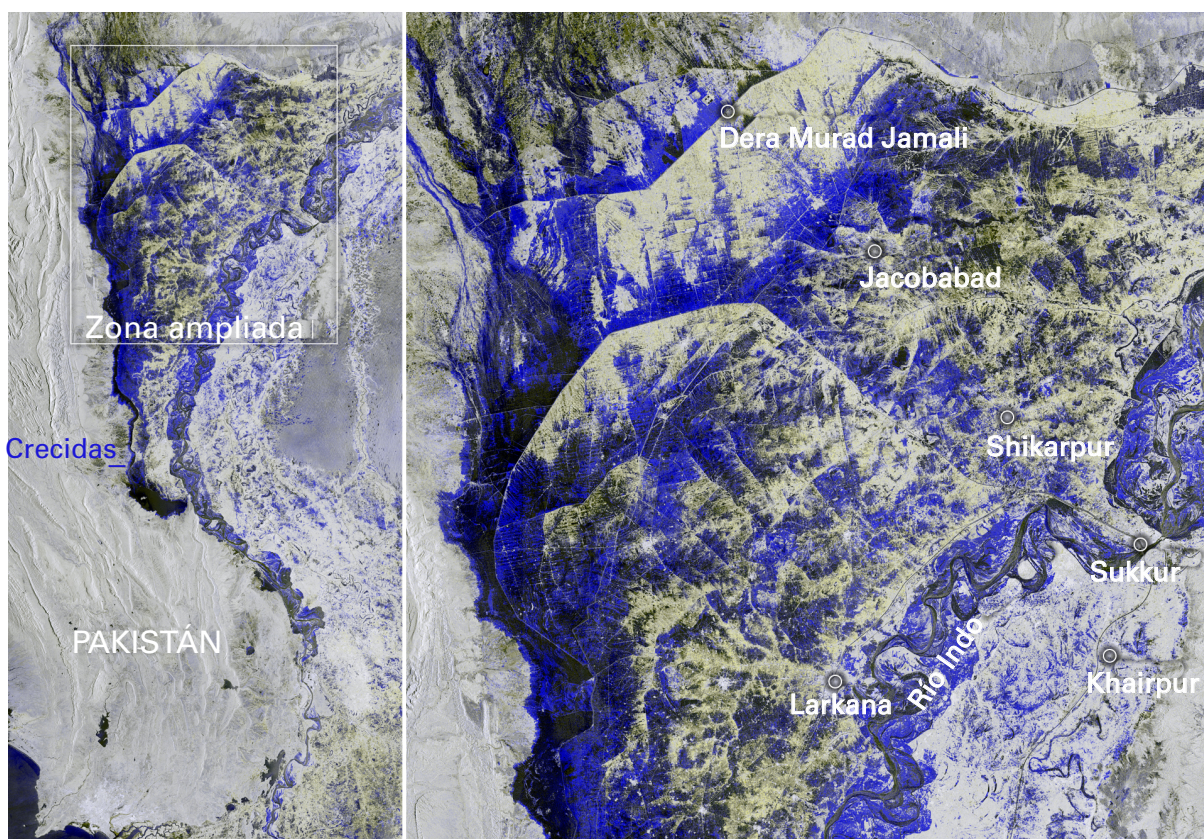


Figura 25. Imagen satelital de las inundaciones en el Pakistán el 30 de agosto. La parte izquierda de la imagen muestra una vista general de la zona afectada y la derecha una vista ampliada de la zona entre Dera Murad Jamali y Larkana. Los colores del azul al negro muestran las superficies inundadas.

Fuente: imagen de la misión Sentinel-1 de Copernicus. Incluye datos modificados de la misión Sentinel de Copernicus (2022), procesados por la Agencia Espacial Europea (ESA), CC BY-SA 3.0 IGO (https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2022/09/Pakistan_inundated).

⁵⁸ <https://www.unitar.org/maps/map/3604>.

⁵⁹ <https://reliefweb.int/report/pakistan/ndma-monsoon-2022-daily-situation-report-no-115-dated-6th-oct-2022> y <https://reliefweb.int/report/pakistan/ndma-monsoon-2022-daily-situation-report-no-129-dated-20th-oct-2022>.



graves, ya que las crecidas afectaron a gran parte de las tierras agrícolas del país. Los daños y pérdidas económicas totales se valoraron en 30 000 millones de dólares⁶⁰. Los impactos de las crecidas fueron similares a los de 2010 en términos generales. También se produjeron importantes inundaciones en la India en distintas fases de la estación del monzón, sobre todo en el noreste en junio, durante la cual se notificaron más de 700 muertes por inundaciones y deslizamientos de tierra y otras 900 por el impacto de rayos.

En el este de Australia se produjeron inundaciones en numerosas ocasiones a lo largo del año. Las crecidas más graves tuvieron lugar a finales de febrero y principios de marzo, afectando a diversas zonas de la costa oriental del sureste de Queensland, el norte de Nueva Gales del Sur y los alrededores de Sídney. Las peores inundaciones se produjeron al sur de Brisbane, donde el río Wilsons superó en unos 2 m los niveles máximos históricos anteriores. En el oeste de Sídney, los ríos Hawkesbury-Nepean alcanzaron su nivel más alto desde 1978. Se notificaron 22 muertes y las pérdidas en concepto de siniestros asegurados se aproximaron a los 4 000 millones de dólares. La región de Sídney también sufrió graves inundaciones a principios de julio. En el último trimestre del año se produjeron nuevas inundaciones graves en muchas zonas del sureste de Australia, sobre todo en los ríos de la cuenca del Murray-Darling. Tanto Nueva Gales del Sur como Victoria experimentaron su primavera más lluviosa desde que hay registros. Prosiguieron las inundaciones a principios de 2023 en el tramo inferior de la cuenca del Murray-Darling a medida que el agua se desplazaba lentamente río abajo, a raíz de lo cual algunas partes del río Murray en Australia meridional alcanzaron su máximo nivel desde 1956. Sídney recibió 2 530 mm de lluvia durante el año, valores muy superiores a su anterior récord anual de 2 194 mm.

La ciudad de Petrópolis, en el este del Brasil, sufrió precipitaciones extremas y crecidas repentinas en dos ocasiones con pocas semanas de separación, el 15 de febrero y el 20 de marzo. En el episodio de febrero cayeron 250 mm de lluvia en tres horas, mientras que en el de marzo cayeron 415 mm en 10 horas. En el episodio de febrero se notificaron 230 muertes, muchas de ellas como consecuencia de deslizamientos de tierra. El noreste del Brasil también sufrió importantes inundaciones en mayo, mientras que, más avanzado el año, muchas zonas de Venezuela se vieron afectadas por inundaciones tras las lluvias intensas de octubre y noviembre. En el incidente más grave de que se tiene constancia, murieron 50 personas y otras 56 desaparecieron como consecuencia de un deslizamiento de tierra en Las Tejerías el 8 de octubre de 2022.

Muchas zonas del Sahel, sobre todo su mitad oriental, sufrieron importantes inundaciones durante la estación del monzón, especialmente cuando llegaba a su fin. Nigeria, el Níger, el Chad y la mitad meridional del Sudán se vieron especialmente afectados. Las inundaciones se agravaron en Nigeria con la caída de lluvias locales intensas en octubre a medida que las crecidas llegaban desde aguas arriba. A lo largo de la temporada, se atribuyeron a las inundaciones 603 muertes en Nigeria y otras 159 en el Níger, y se declararon pérdidas económicas por valor de 4 200 millones de dólares en Nigeria. Más de 250 000 personas se vieron desplazadas en Yamena, capital del Chad, entre octubre y diciembre⁶¹. Aunque los valores de precipitación en Sudán del Sur, donde tuvieron lugar inundaciones prolongadas en 2020 y 2021, fueron cercanos o inferiores a lo normal, siguieron produciéndose extensas inundaciones como consecuencia de los flujos procedentes de aguas arriba.

CICLONES TROPICALES

En 2022, la actividad de los ciclones tropicales fue cercana o inferior a la media en la mayoría de las regiones, excepto en el sur del océano Índico, donde la temporada fue activa en general a pesar de haber comenzado más tarde de lo habitual. En el sur del océano Índico tuvo lugar uno de los sistemas de mayor impacto de la temporada; la depresión subtropical Issa, en combinación

⁶⁰ <https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/2022-12/Pakistan%20PDNA%20Main%20Report%20-%20Final.pdf>.

⁶¹ <https://www.fmhds.gov.ng/news/flood-fg-begins-delivery-of-12000-metric-tonnes-of-food-items-to-anambra-jigawa-others/>.



Figura 26. Ciclón Batsirai, el 4 de febrero de 2022, antes de tocar tierra en la costa oriental de Madagascar.

Fuente: imagen de dominio público del Earth Observatory de la NASA (<https://earthobservatory.nasa.gov/images/149420/bracing-for-batsirai>).



con un sistema de baja presión aislado, provocó inundaciones extremas en abril en la provincia de Kwazulu-Natal, en el este de Sudáfrica, donde en total cayeron hasta 311 mm de lluvia en 24 horas los días 11 y 12 de abril. Se atribuyeron más de 400 muertes a las inundaciones⁶² y hubo 40 000 personas desplazadas. En Madagascar se produjeron cuatro llegadas a tierra en el plazo de un mes a finales de enero y febrero. Tanto Ana (en enero) como Batsirai (en febrero, figura 26) causaron cuantiosas víctimas mortales en dicho país, mientras que Ana también tuvo importantes repercusiones derivadas de las inundaciones en Mozambique y Malawi. Gombe (marzo) provocó inundaciones en Mozambique que causaron un gran número de víctimas.

La temporada de huracanes del Atlántico norte tuvo un comienzo poco activo con respecto a los últimos años, pero en septiembre se produjeron dos llegadas a tierra importantes. El huracán Ian atravesó el oeste de Cuba antes de intensificarse hasta llegar a alcanzar la categoría 4 y tocar tierra en el suroeste de Florida el 28 de septiembre. Ian provocó grandes inundaciones ocasionadas por mareas de tempestad en las zonas costeras bajas y crecidas fluviales más al noreste, donde la lluvia caída durante cuatro días superó los 500 mm en los alrededores de Daytona Beach. Los vientos sostenidos durante 10 minutos de 241 km/h hicieron que la llegada a tierra de Ian fuera la cuarta más intensa jamás registrada en Florida. Las pérdidas económicas ocasionadas por Ian en los Estados Unidos se valoraron en 113 000 millones de dólares, convirtiéndolo en el tercer ciclón tropical más costoso jamás registrado, mientras que, con un saldo de 152 muertos, fue el ciclón tropical que causó la mayor pérdida de vidas humanas en Florida desde la década de 1930^{63,64}.

El huracán Fiona atravesó la República Dominicana, Puerto Rico y las Islas Turcas y Caicos en septiembre, causando importantes inundaciones e interrupciones generalizadas del suministro eléctrico, antes de intensificarse y avanzar hacia el norte, en dirección al Canadá. Tocó tierra como tormenta extratropical en transición en Nueva Escocia el 24 de septiembre con una presión central estimada de 931 hPa. Hart Island registró 932,7 hPa, la presión más baja al nivel medio del mar jamás registrada en una estación canadiense. Se produjeron daños por el viento y cortes en el suministro eléctrico generalizados, así como importantes mareas de tempestad e inundaciones por oleaje en las zonas costeras, sobre todo en el suroeste de Terranova.

El Pacífico norte occidental registró una temporada por debajo de la media, sobre todo en lo que respecta a ciclones intensos, pero aun así sufrió varios impactos considerables. Los dos sistemas más destructivos tenían intensidad de tormenta tropical cuando azotaron Filipinas; no obstante, causaron importantes pérdidas de vidas humanas debido a graves inundaciones

⁶² Hendriks, S. L.; Benton, T.; de la Mata, G. C. y otros. Global Environmental Climate Change, Covid-19, and Conflict Threaten Food Security and Nutrition. *British Medical Journal* **2022**, *378*, e071534. <https://doi.org/10.1136/bmj-2022-071534>.

⁶³ <https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/monthly-report/national/202209/supplemental/page-5>.

⁶⁴ <https://www.ncei.noaa.gov/access/billions/events/US/2022>.



y deslizamientos de tierra. La tormenta tropical Megi (Agaton) atravesó Filipinas del 10 al 12 de abril, mientras que Nalgae (Paeng) lo hizo los días 29 y 30 de octubre. Se atribuyeron más de 200 muertes a Megi y más de 150 a Nalgae⁶⁵; los impactos más graves de Megi tuvieron lugar alrededor de Cebú, mientras que los de Nalgae afectaron a muchas zonas del país. Las crecidas asociadas a las lluvias monzónicas también causaron importantes pérdidas de vidas humanas en Mindanao la última semana de diciembre.

Los dos sistemas de mayor intensidad de la temporada se produjeron en septiembre. El tifón Hinnamnor tuvo repercusiones considerables cuando alcanzó la península de Corea a principios de septiembre, a pesar de haberse debilitado un poco antes de tocar tierra, mientras que el tifón Nanmadol afectó al sur del Japón. También en septiembre, el tifón Merbok tuvo un impacto limitado como sistema tropical, pero tras convertirse en un sistema extratropical y desplazarse hacia el noreste causó importantes inundaciones costeras en el oeste de Alaska.

TORMENTAS VIOLENTAS

El 18 de agosto, un derecho⁶⁶ excepcional afectó a algunas zonas del sur y el centro de Europa. Ocasionó fuertes vientos y lluvias en una trayectoria que se extendió a lo largo de 1 600 km, desde las islas Baleares (España), pasando por Córcega (Francia), Italia, Eslovenia y Austria, hasta Chequia. El sistema alcanzó su máxima intensidad sobre Córcega, donde se registraron ráfagas de viento de 225 km/h, la ráfaga de viento observada de forma fiable más intensa jamás registrada en una región metropolitana francesa⁶⁷. Se notificaron cinco muertes. También se produjeron daños importantes en Italia, donde el granizo alcanzó los 8 cm de diámetro. El 23 de octubre, un tornado de categoría EF3 atravesó el norte de Francia provocando daños considerables; su trayectoria se extendió a lo largo de 206 km, la más larga jamás registrada en Francia. El ventarrón más importante de la temporada en Europa occidental fue Eunice, que atravesó Inglaterra y Gales el 18 de febrero. Una ráfaga de 196 km/h en The Needles (en la isla de Wight) fue la más intensa jamás registrada en Inglaterra. Durante la tormenta se produjeron cuatro muertes en el Reino Unido, cuatro en el Reino de los Países Bajos y otras dos en Bélgica, mientras que más de un millón de hogares de Inglaterra y Gales se quedaron sin suministro eléctrico.

La temporada de tornados en los Estados Unidos tuvo un número de tornados cercano a la media, a pesar de un mes de marzo muy activo, pero el número de víctimas fue inferior a los promedios a largo plazo. Durante el verano se produjeron numerosas crecidas repentinas en diversas zonas del país, como el parque nacional de Yellowstone en junio, San Luis y el este de Kentucky en julio, el valle de la Muerte el 5 de agosto, y Dallas-Fort Worth el 22 de agosto. En el episodio de Kentucky, donde las precipitaciones diarias se situaron entre los 100 y 200 mm, se notificaron al menos 37 muertes, mientras que en el episodio de Dallas algunos lugares recibieron más de 300 mm en 12 horas. La inundación de una planta de tratamiento interrumpió el abastecimiento de agua en Jackson (Misisipi) a finales de agosto.

El suroeste de Asia y la península arábiga se vieron afectados por precipitaciones y tormentas anormales a finales de julio y principios de agosto, época normalmente seca para la región. El puerto de Fujairah (Emiratos Árabes Unidos) recibió 255,2 mm en dos días, el 27 y el 28 de julio. Se produjeron inundaciones repentinas en muchos lugares y se notificó un gran número de víctimas en el Yemen y el Irán. En noviembre volvieron a producirse lluvias intensas e inundaciones repentinas; Yeda (Arabia Saudita) recibió 179 mm en seis horas el 24 de noviembre, aproximadamente el triple de su precipitación anual media.

⁶⁵ https://www.typhooncommittee.org/17IWS/docs/Members%20Report/Philippines/2022_IWS%20Member%20Report%20-%20Philippines.pdf.

⁶⁶ La [Sociedad Meteorológica de los Estados Unidos \(AMS\)](#) define “derecho” como un ventarrón en línea recta generalizado inducido por convección.

⁶⁷ https://meteofrance.fr/sites/meteofrance.fr/files/files/editorial/Bilan%20%C3%A9t%C3%A9%202022%202e%20partie_C.pdf.

Impactos socioeconómicos

Los riesgos que plantean los peligros relacionados con el tiempo y el clima son complejos y específicos de cada contexto, en función de la vulnerabilidad, la exposición y la capacidad de adaptación de los sistemas humanos y naturales. Los fenómenos relacionados con el tiempo y el clima plantean múltiples riesgos humanitarios a la sociedad. Los fenómenos climáticos y meteorológicos extremos también afectan al uso y la distribución de los recursos naturales entre regiones y dentro de los países y tienen un gran impacto negativo en el medioambiente.

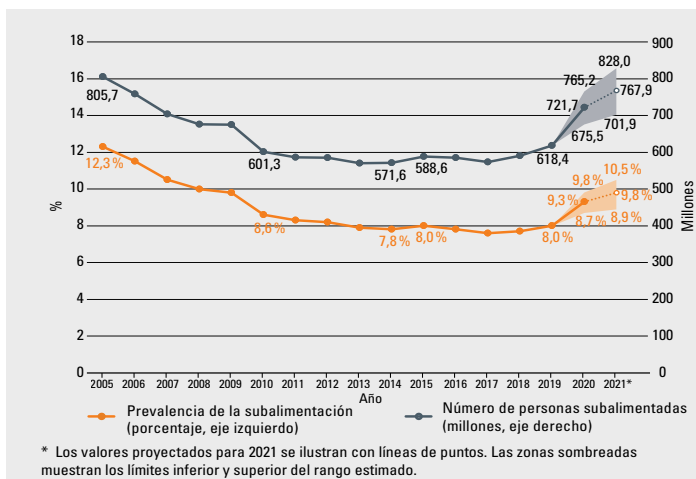
Ante un riesgo sistémico mundial, como el cambio climático, es necesario cambiar la forma en que la sociedad aborda los riesgos de desastre⁶⁸. Los gobiernos han realizado esfuerzos continuos para abordar los riesgos climáticos y de desastre y aumentar la resiliencia. Alrededor de 125 países han formulado estrategias de reducción de los riesgos de desastre a nivel nacional (meta e) del Marco de Sendái⁶⁹. Sin embargo, el nivel de cooperación y financiación internacionales para la reducción de los riesgos de desastre sigue siendo bajo⁷⁰. Uno de los componentes esenciales para reducir el impacto de los desastres es disponer de sistemas de alerta temprana de peligros múltiples (MHEWS) eficaces, y que las personas reaccionen ante los avisos. Existen indicios de que los países que declaran tener una buena cobertura de MHEWS presentan tasas de mortalidad más bajas con respecto a los países que tienen poca o ninguna cobertura de este tipo⁷¹. El Secretario General de las Naciones Unidas ha encomendado a la OMM que lidere los esfuerzos encaminados a que todos los habitantes del planeta estén protegidos por sistemas de alerta temprana en un plazo de cinco años⁷².

SEGURIDAD ALIMENTARIA

En 2021, 2 300 millones de personas sufrían inseguridad alimentaria, de las cuales 924 millones padecían inseguridad alimentaria grave. Según las proyecciones, se estimó que 767,9 millones de personas sufrían subalimentación en 2021, es decir, el 9,8 % de la población mundial (figura 27). La mitad de esos 767,9 millones de personas estaban en Asia y un tercio está en África⁷³.

Figura 27. Porcentaje de la población en situación de subalimentación (naranja, eje izquierdo) y número de personas subalimentadas (línea gris, eje derecho) a nivel mundial.

Fuente: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola (FIDA), Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF), Programa Mundial de Alimentos (PMA) y Organización Mundial de la Salud (OMS) (2022) (véase la nota al pie de la página 73).



⁶⁸ <https://www.undrr.org/gar2022-our-world-risk>.

⁶⁹ <https://www.undrr.org/publication/global-status-multi-hazard-early-warning-systems-target-g>.

⁷⁰ <https://www.undrr.org/publication/international-cooperation-disaster-risk-reduction-target-f>.

⁷¹ <https://www.undrr.org/publication/global-status-multi-hazard-early-warning-systems-target-g>.

⁷² <https://public.wmo.int/en/earlywarningsforall>.

⁷³ Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola (FIDA), Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF), Programa Mundial de Alimentos (PMA) y Organización Mundial de la Salud (OMS), 2022: *El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo 2022: Adaptación de las políticas alimentarias y agrícolas para hacer las dietas saludables más asequibles*, <https://www.fao.org/documents/card/en/c/CC0639ES>.



El aumento de la subalimentación se ha visto exacerbado por los efectos combinados de los peligros hidrometeorológicos y de la enfermedad por coronavirus (COVID-19) sobre la salud, la seguridad alimentaria, los ingresos y la igualdad, así como por los efectos de los conflictos y la violencia prolongados⁷⁴. En octubre de 2022, varios países de África y Asia (como Etiopía, Nigeria, Sudán del Sur, Somalia, el Yemen y el Afganistán) y del Caribe (Haití) sufrieron condiciones de hambruna o episodios de muerte entre su población y precisaron de intervenciones humanitarias urgentes (fase 5 de la Clasificación Integrada de la Seguridad Alimentaria en Fases (CIF): «catástrofe»⁷⁵). En estos países, los principales factores que impulsaron y agravaron la inseguridad alimentaria aguda fueron los conflictos y la inseguridad, las crisis económicas, la inestabilidad política, los desplazamientos, las condiciones de sequía y los ciclones.

Las olas de calor durante la estación previa al monzón de 2022 en la India y el Pakistán provocaron un descenso del rendimiento de los cultivos. Esto, combinado con la prohibición de las exportaciones de trigo y las restricciones a las exportaciones de arroz en la India tras el inicio del conflicto en Ucrania, ha amenazado la disponibilidad y estabilidad de los alimentos básicos, y el acceso a estos, en los mercados internacionales de alimentos y ha planteado grandes riesgos para los países ya de por sí afectados por la escasez de alimentos básicos⁷⁶. Las intensas lluvias monzónicas provocaron graves inundaciones y deslizamientos de tierra en el Pakistán, lo que dio lugar a la propagación de enfermedades transmitidas por el agua, siendo las más afectadas las regiones más vulnerables y con mayor inseguridad alimentaria del sur y del centro del país. Murieron más de 1 700 personas⁷⁷, además de 936 000 cabezas de ganado. Se vieron afectadas grandes extensiones de tierras de cultivo⁷⁸, y las inundaciones y deslizamientos de tierra provocados por las lluvias también afectaron considerablemente a las infraestructuras de transporte y edificios^{79,80}.

Las condiciones prolongadas de La Niña que persistieron desde 2020 hasta principios de 2023 podrían haber intensificado las sequías y, en consecuencia, las pérdidas de cosechas y ganado en Asia central de forma muy similar a lo ocurrido durante el episodio prolongado de La Niña de 1998-2001^{81,82}. En septiembre de 2022, la preocupación por la inseguridad alimentaria se mantuvo en el nivel más alto para el Afganistán, y se previó que alrededor de 18,9 millones de personas (el 45 % de la población) se enfrentarían al nivel 3 («crisis») de inseguridad alimentaria aguda —o niveles más graves— entre junio y noviembre de 2022. En la República Árabe Siria, la temporada de 2021/2022 se caracterizó por la escasez de lluvias y los periodos de sequía, lo cual limitó el rendimiento de los cultivos por segunda temporada consecutiva. A partir de noviembre, durante

⁷⁴ Programa Mundial de Alimentos (PMA) y Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), 2022: *Hunger Hotspots: FAO-WFP Early Warnings on Acute Food Insecurity – June to September 2022 Outlook*, <https://docs.wfp.org/api/documents/WFP-0000139904/download/>.

⁷⁵ La CIF es una escala mundial común para clasificar la gravedad y magnitud de la inseguridad alimentaria y la malnutrición. Para la inseguridad alimentaria aguda, el sistema tiene cinco niveles: 1) mínimo/ninguno; 2) acentuado; 3) crisis; 4) emergencia; 5) catástrofe/hambruna. Existen escalas similares para la inseguridad alimentaria crónica y la malnutrición aguda.

⁷⁶ Hendriks, S. L.; Benton, T.; de la Mata, G. C. y otros. Global Environmental Climate Change, Covid-19, and Conflict Threaten Food Security and Nutrition. *British Medical Journal* **2022**, 378, e071534. <http://dx.doi.org/10.1136/bmj-2022-071534>.

⁷⁷ <https://reliefweb.int/report/pakistan/ndma-monsoon-2022-daily-situation-report-no-141-dated-1st-nov-2022>.

⁷⁸ <https://reliefweb.int/report/pakistan/wfp-pakistan-situation-report-19-september-2022>.

⁷⁹ Programa Mundial de Alimentos (PMA) y Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), 2022: *Hunger Hotspots: FAO-WFP Early Warnings on Acute Food Insecurity – October 2022 to January 2023 Outlook*, <https://www.wfp.org/publications/hunger-hotspots-fao-wfp-early-warnings-acute-food-insecurity-october-2022-january-2023>.

⁸⁰ <https://thedocs.worldbank.org/en/doc/40ebbf38f5a6b68bfc11e5273e1405d4-0090012022/related/Food-Security-Update-LXX-September-29-2022.pdf>.

⁸¹ Barlow, M.; Cullen, H.; Lyon, B. Drought in Central and Southwest Asia: La Niña, the Warm Pool, and Indian Ocean Precipitation. *Journal of Climate* **2002**, 15 (7), 697-700. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2002\)015%3C0697:DICASA%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2002)015%3C0697:DICASA%3E2.0.CO;2).

⁸² Programa Mundial de Alimentos (PMA) y Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), 2022: *Hunger Hotspots: FAO-WFP Early Warnings on Acute Food Insecurity – October 2022 to January 2023 Outlook*, <https://www.wfp.org/publications/hunger-hotspots-fao-wfp-early-warnings-acute-food-insecurity-october-2022-january-2023>.



el período de crecimiento del invierno de 2022 también se registraron precipitaciones por debajo de la media, lo que, combinado con los elevados costos de los insumos agrícolas y el acceso limitado al agua de riego, se tradujo en una cosecha de cereales inferior a la media en 2022⁸³.

En la región del Cuerno de África, las lluvias escasearon por quinta temporada consecutiva desde finales de 2020. En toda la región de África oriental, que se encontraba bajo los efectos de la sequía y otras perturbaciones, se estima que entre 22,5 y 23,4 millones de personas en Etiopía, Kenya y Somalia se enfrentaban a condiciones de inseguridad alimentaria aguda clasificadas en el nivel de crisis —o niveles más graves— en enero de 2023^{84,85}. Las intensas lluvias e inundaciones en la región de Darfur y en la cuenca del río Nilo en el Sudán, así como en los humedales del Sudd en Sudán del Sur, exacerbaron los daños a los cultivos, los desplazamientos y las condiciones de conflicto e inseguridad alimentaria, poniendo a más de 7 millones de personas en riesgo de enfrentarse a niveles de crisis o niveles más graves de inseguridad alimentaria aguda en julio de 2022⁸⁶. En Sudán del Sur, se prevé que los cuatro años consecutivos de inundaciones, así como los problemas macroeconómicos, mantengan la inseguridad alimentaria en niveles extremos. En 2022, se prevé que el rendimiento de los cultivos sea inferior a la media debido a las inundaciones generalizadas y a los períodos prolongados de sequía.

En junio de 2022, el número de personas en situación de inseguridad alimentaria en América Latina y el Caribe ascendía a 28 millones, y esta inseguridad alimentaria se vio exacerbada por el impacto de huracanes y tormentas. El sector agrícola de Honduras y Guatemala se ha visto afectado por el aumento de los precios internacionales de los productos agrícolas y alimentos, y se prevé que 4,6 millones de personas en Guatemala y 2,6 millones de personas en Honduras se enfrenten a niveles de crisis o niveles más graves de inseguridad alimentaria⁸⁷.

DESPLAZAMIENTOS DE POBLACIÓN

A lo largo del año, las condiciones y fenómenos peligrosos relacionados con el clima y el tiempo contribuyeron de manera importante a que se produjeran nuevos desplazamientos de población. La mayoría de las personas desplazadas por fenómenos relacionados con el clima o el tiempo permanecieron en los territorios donde residían, mientras que en algunas situaciones las personas se vieron obligadas a huir a través de fronteras internacionales en busca de seguridad y asistencia. Al mismo tiempo, los peligros relacionados con el clima y el tiempo empeoraron y prolongaron la situación en que se encontraba una gran parte de los 95 millones de personas que ya vivían desplazadas a principios de año⁸⁸.

El Cuerno de África sufrió su peor sequía de los últimos 40 años, afectando especialmente a Etiopía, Kenya y Somalia⁸⁹. En este último país, casi 1,2 millones de personas⁹⁰ se convirtieron en desplazados internos por los impactos catastróficos de la sequía en los medios de subsistencia pastorales y agrícolas y el hambre durante el año⁹¹. Más de 60 000 personas que huían de los

⁸³ <https://reliefweb.int/report/syrian-arab-republic/gIEWS-country-brief-syrian-arab-republic-11-january-2023>.

⁸⁴ <https://www.fao.org/3/cc4326en/cc4326en.pdf>.

⁸⁵ <https://reliefweb.int/report/ethiopia/amid-record-drought-and-food-insecurity-east-africas-protracted-humanitarian-crisis-worsens>.

⁸⁶ <https://reliefweb.int/report/ethiopia/amid-record-drought-and-food-insecurity-east-africas-protracted-humanitarian-crisis-worsens>.

⁸⁷ <https://reliefweb.int/report/world/latin-america-caribbean-weekly-situation-update-27-june-3-july-2022-4-july-2022>.

⁸⁸ <https://www.unhcr.org/globaltrends.html> and <https://www.internal-displacement.org/global-report/grid2022/>.

⁸⁹ OCHA <https://reliefweb.int/report/ethiopia/horn-africa-drought-regional-humanitarian-overview-call-action-published-4-july-2022>, <https://reliefweb.int/report/ethiopia/unhcr-drought-response-emergency-appeal-horn-africa>.

⁹⁰ <https://unhcr.github.io/dataviz-somalia-prmn/index.html#reason=Drought%20related&month=&need=&pregion=&pdistrictmap=&cregion=&cdistrictmap=&year=2022>.

⁹¹ <https://www.unhcr.org/news/stories/somalis-abandon-their-homes-search-food-water-and-aid-drought-deepens>.



impactos combinados de la sequía y los conflictos se desplazaron a Etiopía y Kenya durante el mismo período⁹². Al mismo tiempo, Somalia acogía a casi 35 000 refugiados y solicitantes de asilo en zonas afectadas por la sequía, entre ellos más de 2 600 personas recién llegadas de Etiopía⁹³, y casi 3 millones de personas vivían ya en situación de desplazamiento interno provocado por los conflictos a finales de 2021⁹⁴. En Etiopía se registraron otros 512 000 desplazamientos internos asociados a la sequía. Como consecuencia de la insuficiencia de fondos y del aumento mundial de los precios de los alimentos, más de 3,5 millones de refugiados de la región (el 75 % de la población total de refugiados) se vieron afectados por importantes recortes en la asistencia alimentaria⁹⁵.

En la República Árabe Siria, las fuertes tormentas invernales, nevadas e inundaciones dañaron los asentamientos de desplazados, provocando más de 5 000 desplazamientos secundarios⁹⁶. En julio, las devastadoras crecidas en el Yemen agravaron la vulnerabilidad y las cuestiones relativas a la protección de más de 10 000 familias desplazadas, que vieron dañados sus refugios, alimentos y enseres domésticos⁹⁷.

A finales de agosto el Pakistán se vio afectado por precipitaciones sin precedentes y las peores inundaciones en décadas. Unos 33 millones de personas se vieron afectadas, incluidos unos 800 000 refugiados afganos acogidos en los distritos afectados. En octubre, unos 8 millones de personas se habían desplazado internamente debido a las crecidas, de las cuales unas 585 000 se habían refugiado en centros de socorro⁹⁸. Se estima que a finales de año, ante el comienzo de las difíciles condiciones invernales y sin que las aguas de las crecidas hubieran retrocedido del todo, 5 millones de personas seguían expuestas a zonas inundadas o vivían cerca de ellas, incluidas unas 205 000 personas que seguían desplazadas en las provincias de Sind y Baluchistán⁹⁹. Las personas desplazadas por las crecidas que vivían en campamentos informales, asentamientos informales o refugios transitorios eran especialmente vulnerables al frío, mientras que muchos retornados y personas que permanecieron en las zonas afectadas por las crecidas vivían en casas dañadas que apenas disponían de aislamiento¹⁰⁰.

En Bangladesh, la estación del monzón provocó las peores crecidas de los últimos 20 años, que afectaron a casi 7,2 millones de personas¹⁰¹. En junio, se habían registrado 663 000 desplazamientos en Assam¹⁰² y 481 000 en Sylhet y Mymensingh¹⁰³, mientras que en Bazar de Cox las fuertes lluvias afectaron a cerca de 60 000 refugiados y provocaron desplazamientos secundarios¹⁰⁴. Los peligros relacionadas con el tiempo también contribuyeron a que se produjeran importantes desplazamientos en América, sobre todo en el Brasil. En el primer semestre de 2022, el Brasil sufrió crecidas y tormentas que provocaron la cifra récord de 656 000 desplazamientos internos¹⁰⁵.

⁹² <https://data.unhcr.org/en/documents/download/98367>.

⁹³ <https://data.unhcr.org/en/documents/download/98367>.

⁹⁴ www.internal-displacement.org.

⁹⁵ <https://reporting.unhcr.org/document/2953>.

⁹⁶ <https://story.internal-displacement.org/2022-mid-year-update/index.html>.

⁹⁷ <https://reliefweb.int/report/yemen/yemen-situation-update-humanitarian-impact-flooding-27-july-2022-enar>.

⁹⁸ <https://reliefweb.int/report/pakistan/unhcr-urgently-seeks-us66-million-communities-devastated-pakistan-floods>, https://www.iom.int/sites/g/files/tmzbdl486/files/situation_reports/file/IOM%20External%20Sitrep_Pakistan%20floods_23September_Final.pdf, <https://pakistan.iom.int/sites/g/files/tmzbdl1121/files/documents/IOM%20Pakistan%20-%20Flood%20Flash%20Appeal%20-%20Revised.pdf>.

⁹⁹ <https://reliefweb.int/attachments/188ac936-db00-46cf-bd95-898b9df526ea/Pakistan%20Floods%20Response%20SitRep%20No.13%20As%20of%206%20January%202023.pdf>.

¹⁰⁰ <https://reliefweb.int/report/pakistan/pakistan-2022-monsoon-floods-situation-report-no-13-6-january-2023>.

¹⁰¹ <https://story.internal-displacement.org/2022-mid-year-update/index.html>.

¹⁰² <https://story.internal-displacement.org/2022-mid-year-update/index.html>.

¹⁰³ <https://story.internal-displacement.org/2022-mid-year-update/index.html>.

¹⁰⁴ <https://www.humanitarianresponse.info/en/operations/bangladesh/document/iscg-flash-update-6-monsoon-response-25-august-2022>.

¹⁰⁵ <https://story.internal-displacement.org/2022-mid-year-update/index.html>.



Algunos fenómenos meteorológicos de fuerte impacto en 2022 se produjeron de forma consecutiva, dejando poco tiempo para la recuperación entre perturbaciones y agravando los desplazamientos repetidos y prolongados. La región del sur de África fue azotada por cinco ciclones en dos meses, lo que provocó un aumento repentino de la necesidad de protección y refugio. Cientos de miles de personas se vieron afectadas, incluidos desplazados internos y refugiados preexistentes. En Malawi, más de 190 000 personas que habían perdido sus hogares o habían huido de ellos durante la tormenta tropical Ana a finales de enero seguían desplazadas en abril¹⁰⁶. En Mozambique, dos meses después de que el paso de Ana supusiera, entre otras cosas, la destrucción de las viviendas y refugios de más de 20 000 hogares de desplazados internos preexistentes¹⁰⁷, el ciclón tropical Gombe empeoró la situación, afectando a más de 736 000 personas, dañando o destruyendo unas 142 000 viviendas en muchas de las mismas zonas y obligando a más de 23 000 personas a buscar cobijo en refugios oficiales¹⁰⁸. Una evaluación de los refugios existentes para desplazados internos en Nampula reveló que alrededor del 40 % de los refugios temporales habían sido destruidos¹⁰⁹. Mientras tanto, seguían desplazadas más de 129 000 personas en la provincia de Sofala que se habían visto obligadas a huir por el ciclón tropical Idai en 2019¹¹⁰.

IMPACTOS CLIMÁTICOS EN LOS ECOSISTEMAS Y EL MEDIOAMBIENTE

El cambio climático tiene importantes consecuencias para los ecosistemas y el medioambiente. Por ejemplo, una reciente evaluación centrada en la singular zona de gran altitud alrededor de la meseta tibetana¹¹¹, el llamado Tercer Polo del mundo y el mayor almacén de nieve y hielo fuera del Ártico y la Antártida, concluyó que el calentamiento global estaba provocando la expansión de la zona templada.

FENOLOGÍA

La fenología es el estudio de los fenómenos recurrentes en la naturaleza, como la floración de los árboles o la migración de las aves, y de cómo influye el clima en ellos¹¹². Se ha demostrado que el cambio climático antropógeno provoca cambios fenológicos en los ecosistemas terrestres y acuáticos¹¹³. Por ejemplo, la floración de los cerezos en el Japón está documentada desde el año 801 d. C. y está teniendo lugar en fechas más tempranas desde finales del siglo XIX^{114,115}, debido a los efectos del cambio climático y el desarrollo urbano¹¹⁶. En 2021, la fecha de plena floración fue el 26 de marzo, la fecha más temprana registrada en más de 1 200 años (figura 28). En 2022, la fecha de floración fue el 1 de abril¹¹⁷.

¹⁰⁶ <https://www.unhcr.org/news/stories/urgent-help-needed-malawi-rebuild-lives-wrecked-tropical-storm-ana>.

¹⁰⁷ <https://dtm.iom.int/reports/mozambique-tropical-storm-ana-flash-report-03-02-february-2022-0>.

¹⁰⁸ <https://reliefweb.int/report/mozambique/mozambique-tropical-cyclone-gombe-flash-update-no6-25-march-2022>.

¹⁰⁹ <https://reliefweb.int/report/mozambique/mozambique-tropical-cyclone-gombe-flash-update-no6-25-march-2022>.

¹¹⁰ <https://data.unhcr.org/en/documents/details/98415>, <https://dtm.iom.int/mozambique>.

¹¹¹ Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), 2022: *A Scientific Assessment of the Third Pole Environment*. <https://www.unep.org/resources/report/scientific-assessment-third-pole-environment>.

¹¹² Hemming, D. L.; Abernethy, R.; Armitage, C. y otros. Phenology of Terrestrial and Freshwater Primary Producers [en "State of the Climate in 2017"]. *Bulletin of the American Meteorological Society* **2018**, 99 (8), S63–S66. <https://doi.org/10.1175/2018BAMSStateoftheClimate.1>.

¹¹³ Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), 2022: *Fronteras 2022: ruido, llamas y desequilibrios*, <https://www.unep.org/resources/frontiers-2022-noise-blazes-and-mismatches>.

¹¹⁴ Aono, Y. Cherry Blossom Phenological Data Since the Seventeenth Century for Edo (Tokyo), Japan, and Their Application to Estimation of March Temperatures. *International Journal of Biometeorology* **2015**, 59, 427–434. <https://doi.org/10.1007/s00484-014-0854-0>.

¹¹⁵ Primack, R. B.; Higuchi, H.; Miller-Rushing, A. J. The Impact of Climate Change on Cherry Trees and Other Species in Japan. *Biological Conservation* **2009**, 142 (9), 1943–1949. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2009.03.016>.

¹¹⁶ Christidis, N.; Aono Y.; Stott P. A. Human Influence Increases the Likelihood of Extremely Early Cherry Tree Flowering in Kyoto. *Environmental Research Letters* **2022**, 17, 054051. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac6bb4>.

¹¹⁷ <https://www.metoffice.gov.uk/about-us/press-office/news/weather-and-climate/2022/kyoto-cherry-blossom-dates-shifted-by-human-influence>.

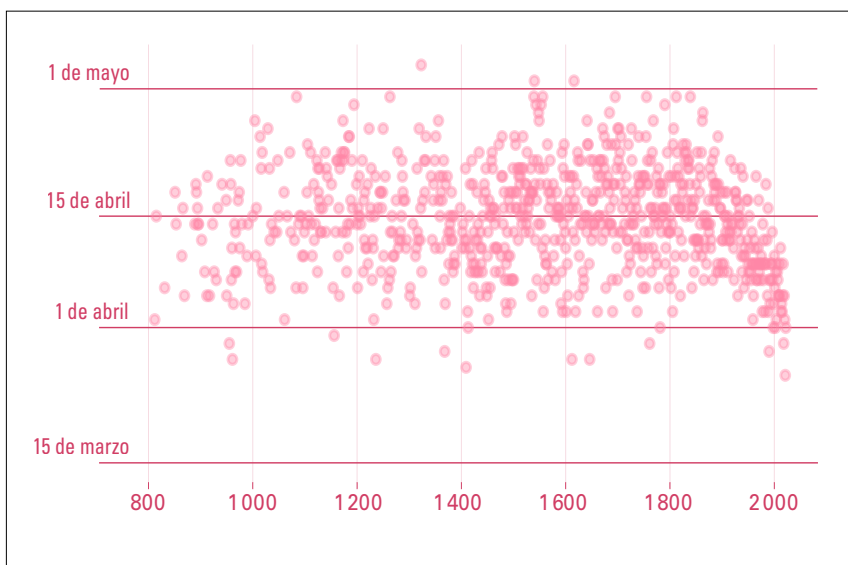


Figura 28. Fecha de plena floración de los cerezos en la ciudad de Kioto (Japón) desde el año 812 d. C. hasta 2022. Datos procedentes de Aono, Y. Long-term Change in Climate and Floral Phenophase [in Japanese]. *Chikyu Kankyo (Global Environment)* **2012**, 17, 21–29.

Fuente: John Kennedy.

No todas las especies de un ecosistema responden a las mismas influencias climáticas ni al mismo ritmo, lo que puede dar lugar a desajustes fenológicos que desincronicen las interacciones ecológicas y amenacen la función ecosistémica¹¹⁸. Por ejemplo, las fechas de llegada en primavera de 117 especies de aves migratorias europeas a lo largo de cinco décadas¹¹⁹ muestran niveles crecientes de desajuste fenológico respecto a otros fenómenos primaverales, como la salida de las hojas y el vuelo de los insectos, los cuales revisten importancia para la supervivencia de las aves. Es probable que estos desajustes hayan contribuido a la disminución de las poblaciones de algunas especies migratorias, en particular las que invernan en África subsahariana.

¹¹⁸ Thackeray, S.; Henrys, P.; Hemming, D. y otros. Phenological Sensitivity to Climate Across Taxa and Trophic Levels. *Nature* **2016**, 535, 241–245. <https://doi.org/10.1038/nature18608>.

¹¹⁹ Saino, N.; Ambrosini, R.; Rubolini, D. y otros. Climate Warming, Ecological Mismatch at Arrival and Population Decline in Migratory Birds. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* **2011**, 278 (1707), 835–842. <https://doi.org/10.1098/rspb.2010.1778>.

1991-2020: nuevo período de la normal climatológica

John Kennedy

Las normales climatológicas son la referencia con la que se comparan las condiciones¹²⁰ (véase, por ejemplo, la figura 3). Suelen basarse en una media de 30 años de datos. En sus directrices, la OMM recomienda utilizar un período de 30 años que termine en un año «0», siendo el período 1991-2020 el más reciente.

En el informe de este año se utiliza por primera vez el período 1991-2020, en sustitución del período de referencia 1981-2010. En la figura 29 se muestran las temperaturas medias anuales de 2022 en relación con ambas referencias. Las diferencias entre las referencias (figura 30) suelen ser menores que la variabilidad de las anomalías anuales, pero en ambas figuras se utiliza la misma escala de colores para facilitar la comparación. Las propias temperaturas y sus clasificaciones no cambian, pero la nueva referencia afecta a las anomalías, ya que las zonas que se aproximan a la referencia o son más frías que ella son más extensas. Eso hace más evidentes los patrones relacionados con la variabilidad natural, entre ellos La Niña y la fase negativa del dipolo del océano Índico (véase «[Condicionantes climáticos a corto plazo](#)»), que estuvieron presentes durante gran parte de 2022.

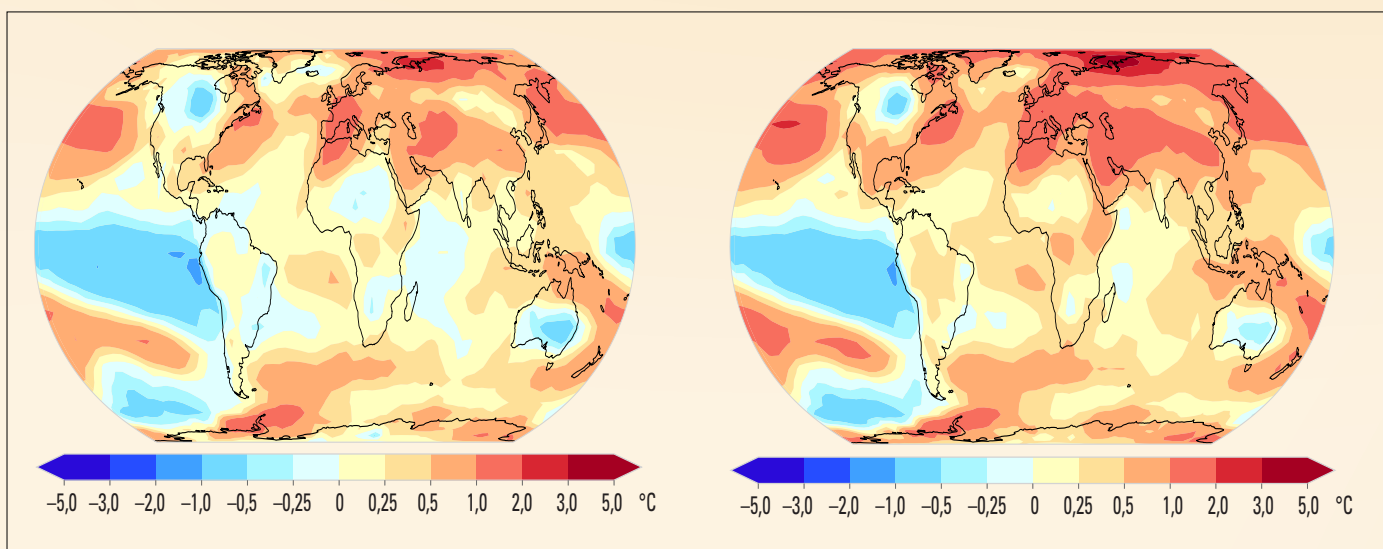


Figura 29. Anomalías de la temperatura media anual de 2022 respecto a la referencia de 1991-2020 (izquierda) y de 1981-2010 (derecha). Figura basada en una mediana de seis conjuntos de datos.

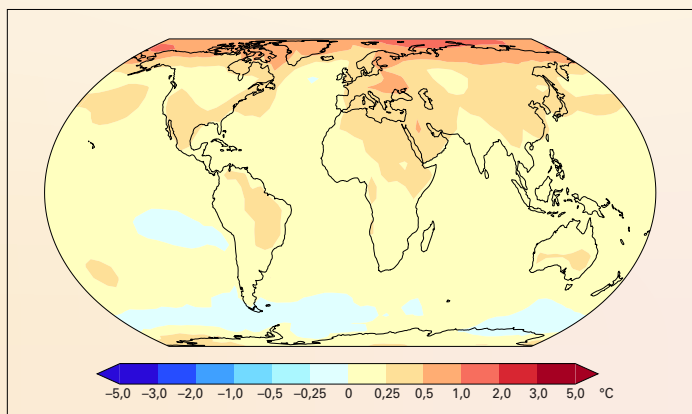


Figura 30. Diferencia de temperatura entre las medias de 1991-2020 y 1981-2010. La temperatura indicada es la mediana de seis conjuntos de datos.

¹²⁰ Organización Meteorológica Mundial (OMM). *Función de las normales climatológicas en un clima cambiante* (OMM/DT-N° 1377). Informe n° 61 del Programa Mundial de Datos y Vigilancia del Clima (WCDMP). Ginebra, 2007.



Las diferencias entre las normales de ambos períodos pueden ayudar a entender los cambios a largo plazo, aunque existe un solapamiento de 20 años entre ellos. Al comparar los períodos 1981-2010 y 1991-2020 (figura 30) puede observarse que, en general, el calentamiento a largo plazo fue mayor en tierra que en el océano, superó los 0,5 °C en Eurasia occidental y en partes de Oriente Medio, y registró los valores más elevados en el Ártico, donde superó localmente 1 °C. También se observaron algunas zonas en las que se produjeron pocos cambios o un débil enfriamiento, principalmente en el océano Antártico.

En el océano, el mayor calentamiento a largo plazo se registró en las zonas septentrional y suroccidental del Pacífico. También hubo una zona de enfriamiento en el Pacífico oriental. Este patrón surge de los cambios decenales asociados al paso de la fase positiva de la oscilación decenal del Pacífico¹²¹ (aproximadamente desde 1980 hasta el año 2000) a la fase negativa (desde el año 2000 hasta la actualidad), combinados con el calentamiento a largo plazo.

Las series temporales de la temperatura mundial del informe principal se comparan con la referencia del período 1850-1900. Entre 1981-2010 y 1991-2020, la temperatura media mundial aumentó 0,22 °C, y pasó de 0,77 °C a 0,99 °C por encima de la media del período 1850-1900, en consonancia con la tasa de cambio de temperatura a largo plazo, que se sitúa en torno a 0,2 °C por decenio.

El período 1850-1900 representa una aproximación a las temperaturas preindustriales, aunque es probable que las verdaderas condiciones preindustriales fueran ligeramente más frías¹²². El Grupo de Trabajo I del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), en su aportación al Sexto Informe de Evaluación del IPCC, estimó que la diferencia entre los períodos 1850-1900 y 1981-2010 era de 0,69 °C. Para calcular las anomalías relativas al período anterior, tomamos las anomalías de cada conjunto de datos respecto al período 1981-2010 y añadimos 0,69 °C. La incertidumbre de las anomalías relativas a la referencia del período 1850-1900 se debe principalmente a la diferencia entre las dos referencias y asciende a 0,12 °C. La falta de datos no permite calcular una referencia fiable del período 1850-1900 para muchas zonas del mundo.

¹²¹ Newman, M.; Alexander, M. A.; Ault, T. R. y otros. "The Pacific Decadal Oscillation, Revisited", en *Journal of Climate* **2016**, 29(12), 4399-4427. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-15-0508.1>.

¹²² Hawkins, E.; Ortega, P.; Suckling, E. y otros. "Estimating Changes in Global Temperature since the Preindustrial Period", en *Bulletin of the American Meteorological Society* **2017**, 98(9), 1841-1856. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-16-0007.1>.

Las observaciones son la base del monitoreo del clima

El monitoreo del clima se lleva a cabo mediante un sistema de sistemas de observación que abarca la atmósfera, el océano, la hidrología, la criosfera y la biosfera. Diversas organizaciones se encargan de monitorear cada uno de estos ámbitos de diferentes maneras. Las observaciones por satélite, al englobar todas estas esferas, contribuyen de manera decisiva al monitoreo del clima a nivel mundial.

En 1992, la OMM, la Comisión Oceanográfica Intergubernamental (COI) de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y el Consejo Internacional de Ciencias (CIC) crearon el Sistema Mundial de Observación del Clima (GCOS) para coordinar y facilitar el desarrollo y la mejora de las observaciones climáticas mundiales. El GCOS ha definido un conjunto de variables climáticas esenciales que, en conjunto, proporcionan la información necesaria para comprender, modelizar y predecir el comportamiento del clima, además de contribuir a la planificación de estrategias de mitigación y adaptación (figura 31). El estado de la base de observación de esas variables climáticas esenciales se publica en informes de situación periódicos. El GCOS también determina en los informes de ejecución las necesidades que deben atenderse para mejorar el sistema.

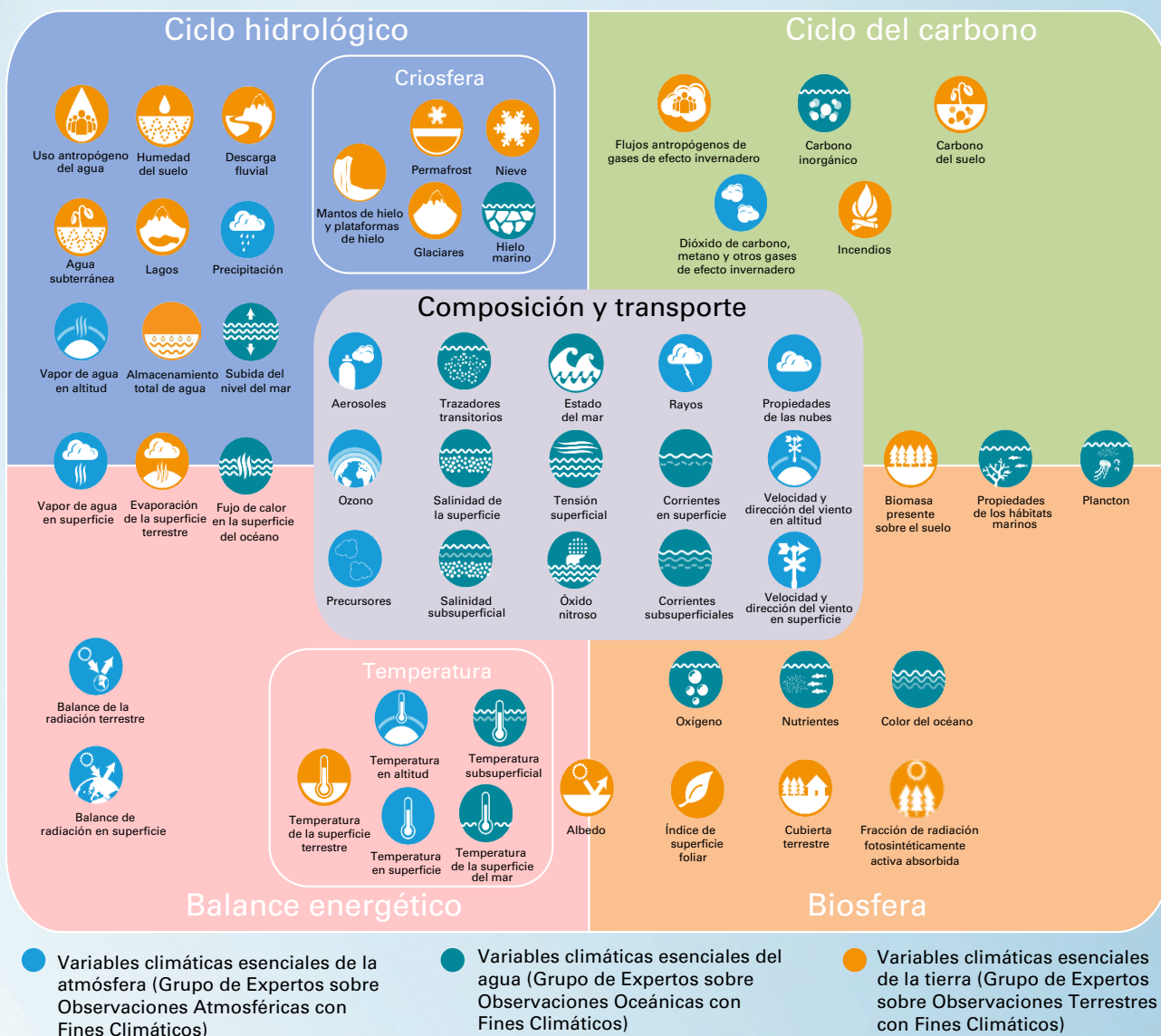


Figura 31. Variables climáticas esenciales definidas por el GCOS.



En 2022, el GCOS publicó su último [Plan de Ejecución](#) en respuesta a las conclusiones del informe de situación del GCOS de 2021, las implicaciones derivadas del Sexto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) y los recientes estudios científicos sobre los ciclos climáticos. En la publicación se brindan recomendaciones para lograr un GCOS sostenible y apto para los fines previstos.

Además de las observaciones proporcionadas por la Red de Observación en Superficie (GSN) y la Red de Observación en Altitud (GUAN), ambas coordinadas por el GCOS, los Servicios Meteorológicos e Hidrológicos Nacionales (SMHN) de los Miembros de la OMM recaban observaciones mediante una red más amplia y completa principalmente para fines de predicción meteorológica operativa. La Red Mundial Básica de Observaciones (GBON) de la OMM —una red diseñada a nivel mundial, con capacidades y calendarios de observación prescritos y cuyos datos deben intercambiarse obligatoriamente a nivel internacional— proporcionará observaciones sumamente necesarias para la predicción numérica del tiempo y contribuirá a reforzar el reanálisis del clima de modo sustancial.

Con el fin de proporcionar la asistencia financiera y técnica necesaria para la implementación y el funcionamiento de la GBON en las zonas más pobres y con mayores deficiencias de observación del planeta, la OMM, el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y el PNUMA han establecido el Servicio de Financiamiento de Observaciones Sistemáticas (SOFF). El SOFF ha recaudado una importante cantidad de fondos para apoyar las observaciones en los países menos adelantados y los pequeños Estados insulares en desarrollo, y comenzó su fase de implementación en 2023.

Para complementar las observaciones de las propiedades físicas y dinámicas de la atmósfera, la Vigilancia de la Atmósfera Global (VAG) de la OMM coordina las mediciones de la composición atmosférica, y vela por la obtención de datos fiables y exactos a partir de las mediciones realizadas por los Miembros de la OMM, instituciones de investigación y organismos, así como por otras redes colaboradoras.

Las observaciones de la física, la biogeoquímica, la biología y los ecosistemas de los océanos se coordinan a través del Sistema Mundial de Observación del Océano (GOOS). El Grupo de Coordinación de Observaciones (OCG) del GOOS supervisa los resultados de esas observaciones¹²³ y elabora una ficha anual con los resultados del sistema de observación del océano. En general, las observaciones oceánicas se ponen a disposición de los usuarios internacionales.

En el ámbito terrestre, se dispone de un grupo más amplio de redes de observación. Por lo general, los SMHN llevan a cabo las observaciones hidrológicas y la OMM se encarga de su coordinación. Varias redes terrestres mundiales especializadas, por ejemplo, en hidrología, permafrost, glaciares, uso de la tierra y biomasa, también contribuyen al GCOS. En cuanto a las redes terrestres, los acuerdos de intercambio de datos suelen estar menos desarrollados y muchas observaciones importantes no se ponen a disposición de los usuarios internacionales.

El Grupo de Trabajo Conjunto sobre el Clima del Comité sobre Satélites de Observación de la Tierra (CEOS) y del Grupo de Coordinación de los Satélites Meteorológicos (CGMS) basa el desarrollo de las observaciones climáticas por satélite en las necesidades en materia de variables climáticas esenciales definidas por el GCOS. Ha elaborado un inventario de variables climáticas esenciales que incluye entradas correspondientes a 766 registros de datos climáticos para 33 variables climáticas esenciales que abarcan 72 productos distintos, y tiene previsto añadir registros adicionales. El Grupo de Trabajo sobre el Clima también está trabajando en las medidas derivadas del Plan de Ejecución. Las observaciones por satélite tienen una cobertura prácticamente mundial. Cuando se utilizan junto con las observaciones en tierra, ya sea como conjuntos de datos complementarios o para fines de validación y calibración, constituyen una parte inestimable del sistema mundial de observación.

¹²³ <https://www.ocean-ops.org/>.

Conjunto de datos y metodología

DATOS SOBRE LOS GASES DE EFECTO INVERNADERO

Se utilizan las concentraciones estimadas de 1750 para representar las condiciones preindustriales. Los cálculos presuponen fracciones molares preindustriales de 278,3 ppm para el CO₂, 729,2 ppm para el CH₄ y 270,1 ppm para el N₂O.

Centro Mundial de Datos sobre Gases de Efecto Invernadero, gestionado por el Servicio Meteorológico del Japón. <https://gaw.kishou.go.jp/>.

Organización Meteorológica Mundial (OMM): *Boletín de la OMM sobre los Gases de Efecto Invernadero, N° 18: Estado de los gases de efecto invernadero en la atmósfera según las observaciones mundiales realizadas en 2021*. Ginebra, 2022.

DATOS DE TEMPERATURA

SERIES RELATIVAS A LA TEMPERATURA MUNDIAL

El método para calcular las anomalías de la temperatura media mundial con respecto al período de referencia de 1850-1900 se basa en la evaluación del cambio a largo plazo y su incertidumbre realizada por el Grupo de Trabajo I en su contribución al Sexto Informe de Evaluación del IPCC. El método utiliza conjuntos de datos más breves que se actualizan periódicamente para proporcionar una evaluación de los cambios recientes de temperatura.

En 2021, en la contribución del Grupo de Trabajo I al Sexto Informe de Evaluación del IPCC se evaluó el cambio desde 1850-1900 hasta otros períodos basándose en un promedio de cuatro conjuntos de datos, a saber, HadCRUT5, Berkeley Earth, NOAA Interim y Kadow *et al.* (2020), que empiezan en 1850. Dado que dos de los cuatro conjuntos de datos del IPCC no se actualizan periódicamente, en el presente informe la estimación realizada por el IPCC para los cambios de temperatura entre 1850-1900 y 1981-2010 se combina con los cambios estimados entre 1981-2010 y el año en curso a partir de seis conjuntos de datos para calcular las anomalías correspondientes a 2022 con respecto a 1850-1900.

Existe una buena concordancia entre los seis conjuntos de datos respecto a los cambios desde 1981-2010 hasta la actualidad, ya que se trata de un período con una buena cobertura de observación. La incertidumbre adicional derivada de la dispersión de los seis conjuntos de datos se combina con la de la estimación del IPCC de la incertidumbre en el cambio de 1850-1900 a 1981-2010.

Las anomalías de la temperatura media mundial se calcularon con respecto al período de referencia de 1850-1900 aplicando los siguientes pasos a partir de series temporales de temperaturas medias mensuales mundiales para cada conjunto de datos:

1. Para cada conjunto de datos, las anomalías se calcularon con respecto al promedio de 1981-2010 restando el promedio correspondiente al período 1981-2010 para cada mes por separado.
2. Se calculó un promedio anual a partir de los promedios mensuales.
3. Se añadió el valor de 0,69 °C a cada serie, basándose en la diferencia estimada entre 1850-1900 y 1981-2010, que se calculó según el método que figura en la contribución del Grupo de Trabajo I al Sexto Informe de Evaluación del IPCC (véase la leyenda de la figura 1.12 de dicho informe).
4. Se calcularon la media y la desviación estándar de las seis estimaciones.
5. La incertidumbre en la estimación del IPCC se combinó con la desviación estándar, suponiendo que ambas son independientes y suponiendo que el rango de incertidumbre del IPCC (0,54 °C a 0,79 °C) es representativo de un rango de nivel de confianza del 90 % (1 645 desviaciones estándar).



La cifra citada en el presente informe para 2022 ($1,15 \pm 0,13$ °C) se calculó de este modo, siendo 1,15 °C la media de las seis estimaciones.

MAPAS DE LA TEMPERATURA ANUAL

Para el mapa de anomalías de temperatura correspondiente a 2022, se utilizó la mediana de seis conjuntos de datos, reajustada a la cuadrícula espacial de los conjuntos de datos de menor resolución (NOAAGlobalTemp y HadCRUT5), que se presentan en una cuadrícula de 5° de latitud por 5° de longitud. Se utiliza la mediana en vez de la media para minimizar el efecto de posibles datos anómalos en las distintas celdas de cuadrícula. El medio rango de los conjuntos de datos proporciona una indicación de la incertidumbre. La dispersión entre los conjuntos de datos es mayor en latitudes altas y en África central, regiones ambas con escasa cobertura de datos.

Se utilizaron los seis conjuntos de datos siguientes:

- Berkeley Earth: Rohde, R. A., Hausfather, Z., 2020: «The Berkeley Earth Land/Ocean Temperature Record.» *Earth System Science Data*, 12, 3469–3479. <https://doi.org/10.5194/essd-12-3469-2020>.
- ERA5: Hersbach, H.; Bell, B.; Berrisford, P. y otros. *ERA5 Monthly Averaged Data on Single Levels from 1940 to Present*; Almacén de Datos Climáticos (CDS) del Servicio de Cambio Climático de Copernicus (C3S), 2023. <https://doi.org/10.24381/cds.f17050d7>.
- GISTEMP v4: Equipo GISTEMP, 2022: *GISS Surface Temperature Analysis (GISTEMP), version 4*. Instituto Goddard de Estudios Espaciales de la NASA. <https://data.giss.nasa.gov/gistemp/>.
- Lenssen, N.; Schmidt, G.; Hansen, J. y otros. Improvements in the GISTEMP Uncertainty Model. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* **2019**, 124, 6307–6326. <https://doi.org/10.1029/2018JD029522>.
- HadCRUT.5.0.1.0: Morice, C. P.; Kennedy, J. J.; Rayner, N. A. y otros. An Updated Assessment of Near-Surface Temperature Change From 1850: The HadCRUT5 Data Set. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* **2021**, 126, e2019JD032361. <https://doi.org/10.1029/2019JD032361>. Los datos HadCRUT.5.0.1.0 se obtuvieron de <http://www.metoffice.gov.uk/hadobs/hadcrut5> el 1 de marzo de 2023 y están protegidos por derechos de autor de la Corona británica, Oficina Meteorológica del Reino Unido (2023), y se proporcionan en virtud de una licencia gubernamental abierta. <http://www.nationalarchives.gov.uk/doc/open-government-licence/version/3/>.
- JRA-55: Kobayashi, S.; Ota, Y.; Harada, Y. y otros. The JRA-55 Reanalysis: General Specifications and Basic Characteristics. *Journal of the Meteorological Society of Japan*. Ser. II **2015**, 93, 5–48. <https://doi.org/10.2151/jmsj.2015-001>.
- NOAAGlobalTemp v5: Zhang, H.-M.; Huang, B.; Lawrimore, J. H. y otros. NOAA *Global Surface Temperature Dataset (NOAAGlobalTemp), Version 5.0*. Centros Nacionales de Información Ambiental de la NOAA. <https://doi.org/10.25921/9qth-2p70>.
- NOAAGlobalTemp v5: Zhang, H.-M.; Huang, B.; Lawrimore, J. H. y otros. NOAA *Global Surface Temperature Dataset (NOAAGlobalTemp), Version 5.0*. Centros Nacionales de Información Ambiental de la NOAA. <https://doi.org/10.25921/9qth-2p70>.
- Huang, B.; Menne, M. J.; Boyer, T. y otros. Uncertainty Estimates for Sea Surface Temperature and Land Surface Air Temperature in NOAAGlobalTemp Version 5. *Journal of Climate* **2020**, 33, 1351-1379. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-19-0395.1>.

A continuación figuran los dos conjuntos de datos adicionales utilizados en la contribución del Grupo de Trabajo I al Sexto Informe de Evaluación del IPCC:

- NOAA Interim: Vose, R. S.; Huang, B.; Yin, X. y otros. Implementing Full Spatial Coverage in NOAA's Global Temperature Analysis. *Geophysical Research Letters* **2021**, 48, e2020GL090873. <https://doi.org/10.1029/2020GL090873>.
- Kadow et al.: Kadow, C.; Hall, D. M.; Ulbrich, U. Artificial Intelligence Reconstructs Missing Climate Information. *Nature Geoscience* **2020** 13, 408–413. <https://doi.org/10.1038/s41561-020-0582-5>.



DATOS RELATIVOS AL CONTENIDO CALORÍFICO DEL OCEÁNO

DATOS UTILIZADOS HASTA 2022:

- Cheng, L.; Trenberth, K. E.; Fasullo, J. y otros. Improved Estimates of Ocean Heat Content from 1960 to 2015. *Science Advances* **2017**, *3*, e1601545. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1601545>.
- Gaillard, F.; Reynaud, T.; Thierry, V. y otros. In Situ–Based Reanalysis of the Global Ocean Temperature and Salinity with ISAS: Variability of the Heat Content and Steric Height. *Journal of Climate* **2016**, *29*, 1305-1323. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-15-0028.1>.
- Ishii, M.; Fukuda, Y.; Hirahara, S. y otros. Accuracy of Global Upper Ocean Heat Content Estimation Expected from Present Observational Data Sets. *SOLA* **2017**, *13*, 163-167. <https://doi.org/10.2151/sola.2017-030>.
- Kuusela, M.; Giglio, D. Global Ocean Heat Content Anomalies based on Argo Data (2.0.0). *Zenodo* **2023**. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7562281>.
- Levitus, S.; Antonov, J. I.; Boyer, T. P. y otros. World Ocean Heat Content and Thermosteric Sea Level Change (0-2 000 m) 1955-2010. *Geophysical Research Letters* **2012**, *39*, L10603. <https://doi.org/10.1029/2012GL051106>.
- Lyman, J. M.; Johnson, G. C. Estimating Global Ocean Heat Content Changes in the Upper 1800 m since 1950 and the Influence of Climatology Choice. *Journal of Climate* **2014**, *27*, 1945–1957. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-12-00752.1>.
- von Schuckmann, K.; Le Traon, P.-Y. How Well Can We Derive Global Ocean Indicators from Argo Data? *Ocean Science* **2011**, *7*, 783-791. <https://doi.org/10.5194/os-7-783-2011>. Los datos pueden consultarse en <https://marine.copernicus.eu/access-data/ocean-monitoring-indicators>.

DATOS ADICIONALES UTILIZADOS HASTA 2021:

- Desbruyères, D. G.; Purkey, S. G.; McDonagh, E. L. y otros. Deep and Abyssal Ocean Warming from 35 Years of Repeat Hydrography. *Geophysical Research Letters* **2016**, *43*, 310–356. <https://doi.org/10.1002/2016GL070413>.
- Desbruyères, D.; McDonagh, E. L.; King, B. A. y otros. Global and Full-Depth Ocean Temperature Trends during the Early Twenty-First Century from Argo and Repeat Hydrography. *Journal of Climate* **2017**, *30*, 1985-1997. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-16-0396.1>.
- Good, S. A.; Martin, M. J.; Rayner, N. A. EN4: Quality Controlled Ocean Temperature and Salinity Profiles and Monthly Objective Analyses with Uncertainty Estimates. *Journal of Geophysical Research: Oceans* **2013**, *118*, 6704–6716. <https://doi.org/10.1002/2013JC009067>.
- Hosoda, S.; Ohira, T.; Nakamura, T. A Monthly Mean Dataset of Global Oceanic Temperature and Salinity Derived from Argo Float Observations. *JAMSTEC Report of Research and Development* **2008**, *8*, 47–59. https://www.jstage.jst.go.jp/article/jamstecr/8/0/8_0_47/_article.
- Kuusela, M.; Stein, M. L. Locally Stationary Spatio-temporal Interpolation of Argo Profiling Float Data. *Proceedings of the Royal Society A* **2018**, *474*, 20180400. <http://dx.doi.org/10.1098/rspa.2018.0400>.
- Li, H.; Xu, F.; Zhou, W. y otros. Development of a Global Gridded Argo Data Set with Barnes Successive Corrections. *Journal of Geophysical Research: Oceans* **2017**, *122*, 866-889. <https://doi.org/10.1002/2016JC012285>.
- Roemmich, D.; Gilson, J. The 2004-2008 Mean and Annual Cycle of Temperature, Salinity, and Steric Height in the Global Ocean from the Argo Program. *Progress in Oceanography* **2009**, *82*, 81–100. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2009.03.004>.
- Roemmich, D.; Church, J.; Gilson, J. y otros. Unabated Planetary Warming and its Ocean Structure Since 2006. *Nature Climate Change* **2015**, *5*, 240. <https://doi.org/10.1038/nclimate2513>.

DATOS ADICIONALES UTILIZADOS HASTA 2020:

- Church, J. A.; White, N. J.; Konikow, L. F. y otros. Revisiting the Earth's Sea-level and Energy Budgets from 1961 to 2008. *Geophysical Research Letters* **2011**, *38*. <https://doi.org/10.1029/2011GL048794>.



- Domingues, C. M.; Church, J. A.; White, N. J. y otros. Improved Estimates of Upper-ocean Warming and Multi-decadal Sea-level Rise. *Nature* **2008**, *453*, 1090-1093. <https://doi.org/10.1038/nature07080>.
- Li, Y.; Church, J. A.; McDougall, T. J. y otros. Sensitivity of Observationally Based Estimates of Ocean Heat Content and Thermal Expansion to Vertical Interpolation Schemes. *Geophysical Research Letters* **2022**, *49*, e2022G. <https://doi.org/10.1029/2022GL101079>.
- Wijffels, S.; Roemmich, D.; Monselesan, D. y otros. Ocean Temperatures Chronicle the Ongoing Warming of Earth. *Nature Climate Change* **2016**, *6*, 116–118. <https://doi.org/10.1038/nclimate2924>.

DATOS SOBRE EL NIVEL DEL MAR

- Los datos sobre el nivel medio del mar a escala mundial proceden de CNES/Aviso+. <https://www.aviso.altimetry.fr/en/data/products/ocean-indicators-products/mean-sea-level/data-acces.html#c12195>.
- Servicio de Cambio Climático de Copernicus (C3S), 2018: *Sea Level Daily Gridded Data from Satellite Observations for the Global Ocean from 1993 to Present*. Almacén de Datos Climáticos (CDS) del C3S. <https://doi.org/10.24381/cds.4c328c78>.

DATOS SOBRE OLAS DE CALOR MARINAS Y PERÍODOS DE FRÍO MARINOS

Las olas de calor marinas se califican de moderadas cuando la temperatura superficial del mar está por encima del percentil 90 de la distribución climatológica durante 5 días o más; las categorías posteriores se definen con respecto a la diferencia entre la temperatura superficial del mar y el promedio de la distribución climatológica: intensas, severas o extremas, si esa diferencia es, respectivamente, más de dos, tres o cuatro veces la diferencia entre el percentil 90 y el promedio de la distribución climatológica (Hobday y otros, 2018). Las categorías relativas a los períodos de frío marinos son análogas pero contando los días por debajo del percentil 10.

El período de referencia utilizado para las olas de calor marinas y los períodos de frío marinos es 1982-2011, el cual difiere en un año con respecto al período normal estándar de 1981-2010 porque el primer año completo de la serie de datos satelitales relativos a la temperatura superficial del mar en que se basa (Banzon y otros, 2016) es 1982.

- Hobday, A. J.; Oliver, E. C. J.; Sen Gupta, A. y otros. Categorizing and Naming Marine Heatwaves. *Oceanography* **2018**, *31* (2), 1-13. <https://www.jstor.org/stable/26542662>.
- Banzon, V.; Smith, T. M.; Chin, T. M. y otros. A Long-Term Record of Blended Satellite and in Situ Sea- Surface Temperature for Climate Monitoring, Modeling and Environmental Studies. *Earth System Science Data* **2016**, *8* (1), 165–176. <https://doi.org/10.5194/essd-8-165-2016>.

DATOS RELATIVOS A LA ACIDIFICACIÓN DEL OCÉANO

Estaciones en aguas abiertas: OISO – Francia, océano Índico (datos de 2010-2018); SURLATLANT – Francia, océano Atlántico (datos de 2010-2018); LN6 – Islandia, mar de Islandia, Atlántico norte (datos de 2010-2020); K2 – Japón, Pacífico norte (datos de 2010-2018); isla de Chatham – Nueva Zelanda, Pacífico sur (datos de 2015-2021).

Estaciones en aguas costeras: Mutsu – Japón, puerto de Sekinehama (datos de 2014-2019); Wellington – Nueva Zelanda (datos de 2015-2021); L4 – Reino Unido, Western Channel Observatory (datos de 2010-2019); W03 – Bélgica, estuario del río Escalda (datos de 2013-2020); NRSYON – Australia, Estación Nacional de Referencia de Yongala (datos de 2010-2020); REF M1V1 – Suecia, estación de referencia (datos de 2010-2020); Kuwait – bahía de Kuwait (datos de 2010-2020).



DATOS SOBRE EL HIELO MARINO

Los datos proceden del índice de hielo marino OSI SAF v2.1 de EUMETSAT (OSI-SAF, basado en Lavergne y otros, 2019 – <https://osisaf-hl.met.no/v2p1-sea-ice-index>) y del índice de hielo marino v3 del NSIDC (Fetterer y otros, 2017). Las concentraciones de hielo marino se estiman a partir de radiancias de microondas medidas desde satélites. La extensión corresponde al área de celdas de cuadrícula oceánicas donde la concentración de hielo marino supera el 15 %. Hay diferencias relativamente grandes en la extensión absoluta entre los conjuntos de datos, pero estos coinciden en los cambios y tendencias interanuales. En el presente informe, se presentan valores del NSIDC para las extensiones absolutas, mientras que se presentan clasificaciones para ambos conjuntos de datos.

Servicio de Aplicaciones de Satélites para el Océano y el Hielo Marino de EUMETSAT, índice de hielo marino a partir de 1979 (v2.1, 2020), OSI-420, datos procedentes del servidor FTP de OSI SAF: 1979-2020, hemisferios norte y sur.

Fetterer, F.; Knowles, K.; Meier, W. N. y otros, 2017, actualizado a diario. Índice de hielo marino, versión 3. Boulder (Colorado, Estados Unidos de América). Centro Nacional de Datos sobre Nieve y Hielos (NSIDC). <https://nsidc.org/data/G02135/versions/3>.

Lavergne, T.; Sørensen, A. M.; Kern, S. y otros. Version 2 of the EUMETSAT OSI SAF and ESA CCI Sea- Ice Concentration Climate Data Records. *The Cryosphere* **2019**, 13 (1), 49–78. <https://doi.org/10.5194/tc-13-49-2019>.

DATOS SOBRE LOS GLACIARES

Los datos del balance de masas de los glaciares correspondientes a la red mundial de glaciares de referencia proceden del Servicio Mundial de Vigilancia de los Glaciares (WGMS), <https://www.wgms.ch>. Los datos para el año de balance de masas correspondiente a 2021-2022 son preliminares y se basan en un subconjunto de 37 (de un total de aproximadamente 42) glaciares de referencia del WGMS.

DATOS SOBRE LOS MANTOS DE HIELO DE GROENLANDIA Y DE LA ANTÁRTIDA

Los datos del balance de masas del manto de hielo de Groenlandia proceden de tres fuentes. Los cambios modelizados del balance de masa superficial y del balance de masa total de 1985 a 2021 se basan en el promedio de tres modelos climáticos regionales y de balance de masas, que se describen en Mankoff y otros (2021).

Las series temporales relativas a la masa de hielo de GRACE y GRACE-FO se calculan utilizando funciones armónicas esféricas de JPL RL06v1, sobre la base de Velicogna y otros (2020). Los valores geocéntricos de grado 1 se calculan utilizando Sutterley y Velicogna (2019), con los coeficientes C2,0 y C3,0 de Loomis y otros (2019). Los datos de GRACE/GRACE-FO tienen en cuenta la tendencia a largo plazo del ajuste isostático glacial de la parte sólida de la Tierra utilizando el modelo regional IJ05 R2 GIA de Ivins y otros (2013) para la Antártida y el de Simpson y otros (2009) para Groenlandia

Ivins, E. R.; James, T. S.; Wahr, J. y otros. Antarctic Contribution to Sea Level Rise Observed by GRACE with Improved GIA Correction. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth* **2013**, 118, 3126–3141. <https://doi.org/10.1002/jgrb.50208>.

Loomis, B. D.; Rachlin, K. E.; Luthcke, S. B. Improved Earth Oblateness Rate Reveals Increased Ice Sheet Losses and Mass-driven Sea Level Rise. *Geophysical Research Letters* **2019**, 46, 6910–6917. <https://doi.org/10.1029/2019GL082929>.

Mankoff, K. D.; Fettweis, X.; Langen, P. L. y otros. Greenland Ice Sheet Mass Balance from 1840 through Next Week. *Earth System Science Data* **2021**, 13 (10), 5001–5025. <https://doi.org/10.5194/essd-13-5001-2021>.



- Simpson, M. J.; Milne, G. A.; Huybrechts, P. y otros. Calibrating a Glaciological Model of the Greenland Ice Sheet from the Last Glacial Maximum to Present-day Using Field Observations of Relative Sea Level and Ice Extent. *Quaternary Science Reviews* **2009**, *28* (17), 1631-1657. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2009.03.004>.
- Sutterley, T. C.; Velicogna, I. Improved Estimates of Geocenter Variability from Time-variable Gravity and Ocean Model Outputs. *Remote Sensing* **2019**, *11* (18), 2108. <https://doi.org/10.3390/rs11182108>.
- Velicogna, I.; Mohajerani, Y.; A, G. y otros. Continuity of Ice Sheet Mass Loss in Greenland and Antarctica from the GRACE and GRACE Follow-On Missions, *Geophysical Research Letters* **2020**, *47*, e2020GL087291. <https://doi.org/10.1029/2020GL087291>.
- Wiese, D. N.; Yuan, D.-N.; Boening, C. y otros, 2019: JPL GRACE and GRACE-FO Mascon Ocean, Ice, and Hydrology Equivalent Water Height RL06M CRI Filtered Version 2.0, Ver. 2.0, Centro de Archivo Activo Distribuido de Oceanografía Física (PO.DAAC). <http://dx.doi.org/10.5067/TEMSC-3MJ62>.

DATOS SOBRE EL PERMAFROST

El Programa de Monitoreo de la Capa Activa Circumpolar (CALM) de la Red Terrestre Mundial – Permafrost (GTN-P) es el principal archivo mundial de datos sobre el espesor de la capa activa y cuenta con emplazamientos situados en las regiones de permafrost del Ártico, de la Antártida y de alta montaña.

DATOS PLUVIOMÉTRICOS

En el análisis se utilizaron los siguientes conjuntos de datos del Centro Mundial de Climatología de las Precipitaciones (GPCC):

- First Guess Monthly, https://doi.org/10.5676/DWD_GPCC/FG_M_100.
- Monitoring Product (versión de 2022), https://doi.org/10.5676/DWD_GPCC/MP_M_V2022_100.
- Full Data Monthly (versión de 2022), https://doi.org/10.5676/DWD_GPCC/FD_M_V2022_100.
- Precipitation Climatology (versión de 2022), https://doi.org/10.5676/DWD_GPCC/CLIM_M_V2022_100.

En la figura 21, Islandia aparece más seco que el promedio a largo plazo. De hecho, la pluviosidad fue superior a la media en dicho país durante el año (véase el informe anual de Islandia <https://www.vedur.is/um-vi/frettir/tidarfar-arsins-2022>). La discrepancia se debe probablemente a un cambio en la forma de procesar los datos en tiempo real.

Lista de colaboradores

MIEMBROS DE LA OMM

Argelia, Argentina, Armenia, Australia, Bahrein, Bangladesh, Barbados, Bélgica, Benin, Bosnia y Herzegovina, Brasil, Territorios Británicos del Caribe, Bulgaria, Camerún, Canadá, Islas Caimán, Chile, China, Colombia, Costa Rica, Côte d'Ivoire, Croacia, República Checa, Dinamarca, Dominica, República Dominicana, Ecuador, Egipto, Estonia, Finlandia, Francia, Georgia, Alemania, Grecia, Granada, Guatemala, Hong Kong (China), Hungría, Islandia, India, Indonesia, República Islámica del Irán, Iraq, Irlanda, Israel, Italia, Japón, Jordania, Kazajstán, Kenya, Letonia, Libia, Lituania, Luxemburgo, Macao (China), Madagascar, Maldivas, Malí, Mauricio, México, Mongolia, Montenegro, Marruecos, Myanmar, Namibia, Reino de los Países Bajos, Nueva Zelandia, Macedonia del Norte, Noruega, Pakistán, Papua Nueva Guinea, Paraguay, Perú, Filipinas, Polonia, Portugal, República de Moldova, Federación de Rusia, Rwanda, Saint Kitts y Nevis, San Vicente y las Granadinas, Arabia Saudita, Senegal, Serbia, Seychelles, Eslovaquia, Eslovenia, Sudáfrica, Sri Lanka, Suecia, Suiza, República Árabe Siria, Tailandia, Togo, Trinidad y Tabago, Túnez, Türkiye, Uganda, Ucrania, Reino Unido, República Unida de Tanzania, Estados Unidos de América, Uruguay, Uzbekistán, Viet Nam y Zambia.

INSTITUCIONES

British Antarctic Survey (BAS); Oficina de Meteorología de Australia; Universidad Carleton, Ottawa (Canadá); Universidad Carnegie Mellon, Pittsburgh (Estados Unidos de América); CELAD, Mercator Ocean International, Toulouse (Francia); Centro de Megaciencias Oceánicas, Academia China de Ciencias, China; Centre for Polar Observation and Modelling (CPOM), Universidad de Leeds, Reino Unido; Cooperative Institute for Satellite Earth Systems Studies (CICES), Universidad de Maryland, EE. UU.; CSIRO Oceans and Atmosphere, Hobart, Tasmania (Australia); Instituto Meteorológico Danés (DMI); Deutscher Wetterdienst (DWD); Ministerio de Medio Ambiente y Cambio Climático del Canadá; ETH Zürich, Suiza; Centro Europeo de Previsiones Meteorológicas a Plazo Medio (ECMWF); Instituto Geológico del Canadá, Ottawa (Canadá); GEOMAR, Kiel (Alemania); Universidad George Washington, Washington D. C. (EE. UU.); Centro Mundial de Climatología de las Precipitaciones (GPCP); ICOS Carbon Portal, Universidad de Lund, Suecia; Instituto Francés de Investigación para la Explotación del Mar (IFREMER), Universidad de Brest, Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS), Institut de Recherche pour le Développement (IRD), Laboratoire d'Océanographie Physique et Spatiale, Brest (Francia); Instituto de Investigación sobre la Nieve y las Avalanchas (SLF), Suiza; Instituto de Física Atmosférica (IAP), Academia China de Ciencias, Beijing (China); Observatorio de Desplazamiento Interno (IDMC); Organismo de Ciencias y Tecnologías Marinas y Terrestres del Japón (JAMSTEC), Japón; Servicio Meteorológico del Japón (JMA), Japón; Laboratorio de Estudios de Geofísica y Oceanografía Espaciales – Centro Nacional de Estudios Espaciales (LEGOS CNES), Francia; Magellium, Francia; Universidad Masaryk, Brno (República Checa); Mercator Ocean International, Toulouse (Francia); Servicio Meteorológico, Reino Unido; Laboratorio de Monitoreo Mundial de la Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica (NOAA), EE. UU.; Centros Nacionales de Información Ambiental de la Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica (NOAA), EE. UU.; Laboratorio del Medio Ambiente Marino del Pacífico de la Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica (NOAA), Seattle (EE. UU.); Centro Oceanográfico Nacional (NOC), Southampton (Reino Unido); Instituto Meteorológico Noruego; Observatoire Midi-Pyrénées (OMP), Francia; Ocean Scope, Brest (Francia); Universidad Estatal Rutgers de Nueva Jersey, EE. UU.; Facultad de Ciencias de la Tierra, Universidad de Yunnan, Kunming (China); Science Systems and Applications, Inc. del Centro Goddard de Vuelos Espaciales de la NASA, EE. UU.; Scripps Institution of Oceanography, Universidad de California, San Diego (EE. UU.); Sorbonne Université, Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS), Laboratoire d'Océanographie de Villefranche, Francia; Universidad de Tohoku, Japón; Universidad de Brest, Francia; Universidad de Calgary, Canadá; Universidad de California, Irvine (EE. UU.); Universidad de Colorado, Boulder (EE. UU.); Universidad de Nueva Gales del Sur, Sídney (Australia); Universidad de Northern British Columbia, Canadá; Vrije Universiteit Amsterdam, Reino de los Países Bajos; Institución Oceanográfica de Woods Hole, Massachusetts (EE. UU.), y Centro Mundial de Datos sobre Gases de Efecto Invernadero (CMDGEI), JMA, Japón.



ORGANISMOS DE LAS NACIONES UNIDAS

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), Comisión Oceanográfica Intergubernamental – Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (COI-UNESCO), Organización Internacional para las Migraciones (OIM), Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), Oficina del Alto Comisionado de las Naciones Unidas para los Refugiados (ACNUR), Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNDRR) y Programa Mundial de Alimentos (PMA).

COLABORADORES PARTICULARES

Signe Aaboe (Instituto Meteorológico Noruego), Ahmat Younous Abdel-lathif (PMA), Jorge Alvar-Beltrán (FAO), Vicente Anzellini (IDMC), Chris Atkinson (Servicio Meteorológico, Reino Unido), Omar Baddour (coordinador de la publicación, OMM), Paul M. Barker (Universidad de Nueva Gales del Sur), Anne Barnoud (Magellium), Hamza Benlarabi (OIM), Jana Birner (ACNUR), Jessica Blunden (Centros Nacionales de Información Ambiental), Rogerio Bonifacio (PMA), Tim Boyer (Centros Nacionales de Información Ambiental de la NOAA), Anny Cazenave (LEGOS CNES y OMP), Xuan Che (UNDRR), Lijing Cheng (IAP; Centro de Megaciencias Oceánicas), John Church (Universidad de Nueva Gales del Sur), Damien Desbruyeres (IFREMER), Ed Dlugokencky (NOAA), Catia M. Domingues (NOC), Robert Dunn (Servicio Meteorológico, Reino Unido), Thomas Estilow (Universidad Estatal Rutgers de Nueva Jersey), Arianna Gialletti (FAO), Donata Giglio (Universidad de Colorado), John E. Gilson (Scripps Institution of Oceanography), Atsushi Goto (OMM), Yvan Gouzenes (LEGOS y OMP), Flora Gues (CELAD, Mercator Ocean International), Debbie Hemming (Servicio Meteorológico, Reino Unido), Loretta Hieber Girardet (UNDRR), Shigeki Hosoda (JAMSTEC), Sander Houweling (Vrije Universiteit Amsterdam), Filip Hrbacek (Universidad Masaryk), Matthias Huss (ETH Zürich), Ketil Isaksen (Instituto Meteorológico Noruego), Kirsten Isensee (COI-UNESCO), Gregory C. Johnson (Laboratorio del Medio Ambiente Marino del Pacífico de la NOAA), Maarten Kappelle (PNUMA), John Kennedy (autor principal, OMM), Rachel Killick (Servicio Meteorológico, Reino Unido), Brian King (NOC), Nicolas Kolodziejczyk (IFREMER), Animesh Kumar (UNDRR), Mikael Kuusela (Universidad Carnegie Mellon), Thomas Lavergne (Instituto Meteorológico Noruego), Lancelot Leclercq (LEGOS), Yuehua Li (Facultad de Ciencias de la Tierra), Ricardo Locarnini (Centros Nacionales de Información Ambiental), John Lyman (Laboratorio del Medio Ambiente Marino del Pacífico de la NOAA), Shawn Marshall (autor principal, sección sobre la criosfera, Ministerio de Medio Ambiente y Cambio Climático del Canadá y Universidad de Calgary), Jesse Mason (PMA), Trevor McDougall (Universidad de Nueva Gales del Sur), Brian Menounos (Universidad de Northern British Columbia), Audrey Minère (Mercator Ocean International), Didier Paolo Monselesan (CSIRO Oceans and Atmosphere), Colin Morice (Servicio Meteorológico, Reino Unido), Eric R. Nash (Science Systems and Applications, Inc. del Centro Goddard de Vuelos Espaciales de la NASA), Lev Neretin (FAO), Julien Nicolas (ECMWF), Jeannette Noetzli (Instituto de Investigación sobre la Nieve y las Avalanchas), Inès Otosaka (CPOM), Giancarlo Pini (PMA), Sylvain Ponsérre (IDMC), Sarah Purkey (Scripps Institution of Oceanography), Claire Ransom (facilitadora de proyectos, OMM), James Reagan (Centros Nacionales de Información Ambiental), David Robinson (Universidad Estatal Rutgers de Nueva Jersey), Dean Roemmich (Scripps Institution of Oceanography), Kanako Sato (JAMSTEC), Katsunari Sato (JMA), Abhishek Savita (GEOMAR), Yousuke Sawa (JMA, CMDGEI), Robert W. Schlegel (Sorbonne Université, CNRS, Laboratoire d'Océanographie de Villefranche), Katherina Schoo (COI-UNESCO), Rahul Sengupta (UNDRR), Jose Álvaro Mendes Pimpao Alves Silva (OMM), Sharon Smith (Instituto Geológico del Canadá), Martin Stendel (DMI), Peter Stott (Servicio Meteorológico, Reino Unido), Dmitry Streletskiy (Universidad George Washington), Toshio Suga (Universidad de Tohoku; JAMSTEC), Tanguy Szekely (Ocean Scope), Oksana Tarasova (OMM), Blair Trewin (autor principal, sección sobre los fenómenos extremos, Oficina de Meteorología), John Turner (BAS), Freja Vamborg (ECMWF), Isabella Velicogna (Universidad de California-Irvine), Alex Vermeulen (ICOS Carbon Portal), Karina von Schuckmann (autora principal, sección sobre el contenido calorífico del océano), Ying Wang (PNUMA), Susan E. Wjiffels (CSIRO Oceans and Atmosphere; Institución Oceanográfica de Woods Hole), Michelle Yonetani (ACNUR) y Markus Ziese (GPCC, DWD).



Food and Agriculture Organization
of the United Nations



UNHCR
The UN Refugee Agency



World Food
Programme



United Nations
Educational, Scientific and
Cultural Organisation



Intergovernmental
Oceanographic
Commission

Para más información, diríjase a:

Organización Meteorológica Mundial

7 bis, avenue de la Paix – Case postale 2300 – CH-1211 Ginebra 2 – Suiza

Oficina de Comunicaciones Estratégicas

Tél.: +41 (0) 22 730 83 14 – Fax: +41 (0) 22 730 80 27

Correo electrónico: communications@wmo.int

public.wmo.int