

# Declaración de la OMM sobre el estado del clima mundial en 2018

TIEMPO CLIMA AGUA



ORGANIZACIÓN  
METEOROLÓGICA  
MUNDIAL

OMM-Nº 1233

## OMM-N° 1233

© Organización Meteorológica Mundial, 2019

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 al:

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

Tel.: +41 (0) 22 730 84 03  
Fax: +41 (0) 22 730 81 17  
Email: [publications@wmo.int](mailto:publications@wmo.int)

ISBN 978-92-63-31233-4

Las siguientes personas han aportado su contribución a la presente Declaración: John Kennedy (Oficina Meteorológica del Reino Unido), Selvaraju Ramasamy (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO)), Robbie Andrew (Centro de Investigación Internacional sobre el Clima y el Medio Ambiente (CICERO), Noruega), Salvatore Arico (Comisión Oceanográfica Intergubernamental (COI) de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO)), Erin Bishop (Oficina del Alto Comisionado de las Naciones Unidas para los Refugiados (ACNUR)), Geir Braathen (Organización Meteorológica Mundial (OMM)), Pep Canadell (Organización de Investigaciones Científicas e Industriales de la Commonwealth (CSIRO), Australia), Anny Cazanave ((Laboratorio de Estudios de Geofísica y Oceanografía Espacial del CNES y Observatorio Midi-Pirineos, Francia), Jake Crouch (Administración Nacional del Océano y de la Atmósfera (NOAA), Estados Unidos de América), Chrystelle Damar (Medioambiente, Organización de Aviación Civil Internacional (OACI)), Pierre Fridlingstein (Universidad de Exeter), Madeline Garlick (ACNUR), Marc Gordon (Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNISDR)), Jane Hupe (Medioambiente, OACI), Tatiana Ilyina (Instituto Max Planck), Dina Ionesco (Organización Internacional para las Migraciones (OIM)), Kirsten Isensee (COI de la UNESCO), Robert B. Jackson (Universidad de Stanford), Maarten Kappelle (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA)), Sari Kovats (Escuela de Higiene y Medicina Tropical de Londres), Corinne Le Quéré (Centro Tyndall de Investigación del Cambio Climático), Sieun Lee (OIM), Isabelle Michal (ACNUR), Virginia Murray (Public Health England), Sofia Palli (UNISDR), Giorgia Pergolini (Programa Mundial de Alimentos (PMA)), Glen Peters (CICERO), Ileana Sinziana Puscas (OIM), Eric Rignot (Universidad de California, Irvine), Katherina Schoo (COI de la UNESCO), Joy Shumake-Guillemot (Oficina Conjunta OMS/OMM para el Clima y la Salud), Michael Sparrow (OMM), Neil Swart (Ministerio del Medio Ambiente del Canadá), Oksana Tarasova (OMM), Blair Trewin (Oficina de Meteorología de Australia), Freja Vamborg (Centro Europeo de Predicción Meteorológica a Medio Plazo (CEPMMP)), Jing Zheng (PNUMA), Markus Ziese (Servicio Meteorológico de Alemania).

Los organismos que se indican a continuación también han contribuido a la publicación: la OACI, el ACNUR, la COI de la UNESCO, la FAO, la OIM, la Organización Mundial de la Salud (OMS), el PMA, el PNUMA y la UNISDR.

También han realizado aportaciones los países que se indican a continuación: Alemania, Argelia, Argentina, Armenia, Australia, Austria, Bélgica, Brasil, Canadá, Chile, China, Chipre, Costa Rica, Côte d'Ivoire, Croacia, Dinamarca, Emiratos Árabes Unidos, Eslovenia, España, Estados Unidos de América, Estonia, Federación de Rusia, Fiji, Filipinas, Finlandia, Francia, Georgia, Grecia, Hungría, India, Indonesia, Irán (República Islámica del), Iraq, Irlanda, Islandia, Israel, Italia, Japón, Jordania, Kazajistán, Kenya, Kuwait, Lesotho, Letonia, Libia (Estado de), Malasia, Mali, Marruecos, México, Nigeria, Noruega, Nueva Zelanda, Países Bajos, Pakistán, Polonia, Portugal, Qatar, Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte, República Centroafricana, República Checa, República de Corea, República de Moldova, República Unida de Tanzania, Serbia, Sudáfrica, Suecia, Suiza, Túnez, Turquía, Ucrania.

Han aportado datos las entidades siguientes: el Centro Mundial de Climatología de las Precipitaciones (Servicio Meteorológico de Alemania), el Centro Hadley de la Oficina Meteorológica del Reino Unido, los Centros Nacionales de Información Ambiental (NCEI) de la NOAA, el CEPMP, el Instituto Goddard de Investigaciones Espaciales (GISS) de la Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio (NASA), el Servicio Meteorológico del Japón, la Vigilancia de la Atmósfera Global (VAG) de la OMM, el Centro Nacional de Datos sobre Nieve y Hielos (NSIDC) de los Estados Unidos, el Laboratorio de Nieve Mundial de la Universidad de Rutgers, el Observatorio de Mauna Loa, la Iniciativa Carbono Azul, la Red Mundial del Oxígeno Oceánico (GO2NE), la Red Mundial de Observación de la Acidificación de los Océanos, la Autoridad de la Cuenca del Níger, el Observatorio de Hong Kong, el Foro sobre la Evolución Probable del Clima en la región panártica, la Iniciativa de la Agencia Espacial Europea sobre el cambio climático, el Servicio de Vigilancia Medioambiental Marina de Copérnico, el Programa de Archivo, Validación e Interpretación de Datos Oceanográficos Satelitales (AVISO), el Servicio Mundial de Vigilancia de los Glaciares y la Universidad Estatal de Colorado.

Portada: Lugard Road, Cumbre Victoria en Hong Kong (China); fotógrafo: Chi Kin Carlo Yuen, Hong Kong (China)

### 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

<b>Prólogo</b>	<b>3</b>
<b>Declaración del Secretario General de las Naciones Unidas</b>	<b>4</b>
<b>Declaración de la Presidenta de la Asamblea General de las Naciones Unidas</b>	<b>5</b>
<b>Indicadores del estado del clima</b>	<b>6</b>
Temperatura	6
Definición de los indicadores del estado del clima	7
Fuentes de datos y bases de referencia para la temperatura mundial	8
Gases de efecto invernadero y ozono	9
<b>Carbono azul costero</b>	<b>10</b>
Océanos	13
<b>Desoxigenación en alta mar y en las aguas costeras</b>	<b>14</b>
<b>Tendencias de calentamiento en el océano austral</b>	<b>15</b>
Criosfera	17
<b>Balance de masa del manto de hielo antártico</b>	<b>19</b>
Motores de la variabilidad interanual	21
Fenómenos extremos	23
<b>Riesgos climáticos e impactos conexos globales</b>	<b>30</b>
Agricultura y seguridad alimentaria	30
Desplazamiento de poblaciones y movilidad humana	32
Calor y salud	33
Efectos medioambientales	33
<b>Efectos del calor en la salud</b>	<b>34</b>
<b>La contaminación del aire y el cambio climático</b>	<b>36</b>
<b>La aviación civil internacional y la adaptación al cambio climático</b>	<b>38</b>



**2018 fue el cuarto año más cálido jamás registrado**

**Los años 2015 a 2018 fueron los cuatro años más cálidos jamás registrados mientras la tendencia al calentamiento a largo plazo persiste**



**El contenido calorífico de los océanos se encuentra actualmente en un nivel sin precedentes y el nivel medio del mar a escala mundial sigue aumentando**

**La extensión del hielo marino en el Ártico y la Antártida se situó muy por debajo de la media**



**Los fenómenos meteorológicos extremos tuvieron repercusiones en la vida de las personas y en el desarrollo sostenible en todos los continentes**



**La temperatura media mundial superó aproximadamente en 1 °C los niveles preindustriales**

**No estamos bien encaminados para alcanzar los objetivos de la lucha contra el cambio climático y limitar el aumento de la temperatura**

**El calentamiento, aunque solo sea de una fracción de grado centígrado, siempre tiene consecuencias**

# Prólogo

La presente publicación conmemora el 25° aniversario de la *Declaración de la OMM sobre el estado del clima mundial*, publicación que vio la luz por primera vez en 1994. La edición de 2019 se refiere a datos de 2018 y es el colofón a un cuarto de siglo de iniciativas internacionales consagradas tanto a la elaboración de informes sobre las variaciones interanuales y las tendencias a largo plazo del cambio climático como al análisis y la comprensión de las mismas.

La presente publicación ha sido el mecanismo que, a lo largo de ese período, ha permitido acumular notables conocimientos y darles difusión con periodicidad anual, a fin de comunicar a los Estados Miembros de la Organización Meteorológica Mundial (OMM), el sistema de las Naciones Unidas, y a las instancias decisorias el estado del sistema climático. Complementa el ciclo de presentación de informes de cinco a siete años del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) en la tarea de elaborar información actualizada para la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y otros marcos normativos en materia climática

Desde que se publicara la Declaración por primera vez, la climatología ha alcanzado un grado de robustez sin precedentes, y ha proporcionado pruebas fehacientes del aumento de la temperatura mundial y de circunstancias conexas, como la subida del nivel del mar, la reducción de los hielos marinos, la pérdida de masa de los glaciares y los fenómenos de gravedad extrema vinculados al aumento de las temperaturas, por ejemplo, las olas de calor. Con todo, algunas esferas todavía precisan de más observaciones e investigaciones, entre ellas la evaluación de la contribución del cambio climático al comportamiento de fenómenos de gravedad extrema y a las corrientes oceánicas y las corrientes atmosféricas en chorro susceptibles de causar períodos extremadamente fríos en algunos lugares y condiciones suaves en otros.

Algunas de las conclusiones principales de la presente Declaración son los impactantes récords de calentamiento que se han registrado de forma consecutiva desde 2015 hasta finales

de 2018, la continuada tendencia al alza de la concentración atmosférica de los principales gases de efecto invernadero, la creciente velocidad de subida del nivel del mar y la reducción de los hielos marinos en las regiones polares de ambos hemisferios.

También se ha profundizado en el conocimiento del vínculo entre la variabilidad del clima y el cambio climático observados y las consecuencias conexas para las sociedades gracias a la excelente colaboración entre organismos afines del sistema de las Naciones Unidas. En la presente publicación se exponen algunos de esos vínculos observados en los últimos años, en particular del 2015 al 2018, un período caracterizado por una intensa influencia de los fenómenos de El Niño y La Niña, sin olvidar los efectos del cambio climático a largo plazo.

La temperatura mundial ha subido cerca de +1 °C con respecto al período preindustrial. Por tanto, se agota rápidamente el tiempo restante para limitar el calentamiento mundial a un máximo de 1,5 °C por encima de los niveles preindustriales, tal y como se exige en el Acuerdo de París sobre el cambio climático.

Este informe servirá de base para la Cumbre de las Naciones Unidas para la Acción contra el Cambio Climático. Así pues, quiero aprovechar esta oportunidad para dar las gracias a todos aquellos —autores, Servicios Meteorológicos e Hidrológicos Nacionales, centros de datos y análisis sobre el clima mundial, Centros Meteorológicos Regionales Especializados, Centros Regionales sobre el Clima y organismos de las Naciones Unidas— que han colaborado con esta publicación autorizada.



(P. Taalas)  
Secretario General

# Declaración del Secretario General de las Naciones Unidas

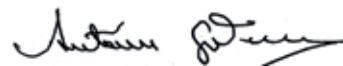
Los datos que se publican en el presente informe suscitan gran inquietud. Los últimos cuatro años han sido los más cálidos jamás registrados, y la temperatura media mundial en superficie de 2018 estuvo aproximadamente 1 °C por encima del valor de referencia de la era preindustrial

Esos datos no hacen sino confirmar la urgencia con la que cabe actuar contra el cambio climático, un hecho que también se destacó en el reciente informe especial del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) sobre los impactos del calentamiento global de 1,5 °C. El IPCC constató que la limitación del calentamiento global a 1,5 °C precisaría de cambios rápidos y de gran alcance en esferas como la tierra, la energía, la industria, los edificios, el transporte y las ciudades, y que, para 2030, las emisiones netas mundiales de dióxido de carbono causadas por las actividades humanas tendrían que haberse reducido en aproximadamente un 45 % con respecto a las concentraciones de 2010, para finalmente conseguir un nivel de emisiones netas equivalente a cero hacia 2050.

El mundo debe aspirar a más cuando se trata de luchar contra el cambio climático, y con ese objetivo he convocado una Cumbre sobre el Clima que tendrá lugar el 23 de septiembre.

Su finalidad consistirá en estimular la voluntad política indispensable para que los esfuerzos consagrados a alcanzar los objetivos del Acuerdo de París sean más ambiciosos. En concreto, exhorto a todos los líderes a que acudan a Nueva York en septiembre para exponer planes realistas y específicos encaminados a incrementar sus contribuciones determinadas a nivel nacional hacia 2020 y lograr emisiones netas equivalentes a cero aproximadamente a mediados de siglo. En la Cumbre también se plantearán iniciativas transformadoras en todas aquellas esferas en las que el cambio sea imprescindible.

Ya no puede haber más demoras. Alabo el presente informe por tratarse de una contribución indispensable a las medidas mundiales destinadas a conjurar alteraciones climáticas irreversibles.



(A. Guterres)

Secretario General de las Naciones Unidas

Autoría: Foto ONU/Loey Felipe



El Secretario General de la OMM, Petteri Taalas (izquierda), y el Secretario General de las Naciones Unidas, António Guterres, durante una reunión en Nueva York en septiembre de 2018.

# Declaración de la Presidenta de la Asamblea General de las Naciones Unidas



En este amplio y significativo informe de la Organización Meteorológica Mundial se subraya claramente la necesidad de adoptar medidas urgentes en relación con el cambio climático y se pone de manifiesto la importancia de que los gobiernos cuenten con datos científicos de fuentes autorizadas para sus procesos de adopción de decisiones. En cuanto Presidenta de la Asamblea General de las Naciones Unidas, tengo entre mis prioridades poner de relieve de qué manera el cambio climático afecta a la consecución de los Objetivos de Desarrollo Sostenible y la necesidad de alcanzar una comprensión holística de las consecuencias socioeconómicas que la mayor intensidad de los fenómenos meteorológicos extremos está teniendo en los países de todo el mundo. El presente informe de la OMM contribuirá de forma importante a nuestra acción internacional concertada destinada a captar la atención hacia este problema.

María Fernanda Espinosa Garcés  
Presidenta de la Asamblea General  
de las Naciones Unidas

73ª reunión

# Indicadores del estado del clima

**Figura 1.** Anomalías de la temperatura media mundial con respecto al período de referencia 1850-1900 para los cinco conjuntos de datos de temperaturas mundiales. Fuente: Centro Hadley de la Oficina Meteorológica del Reino Unido

## TEMPERATURA

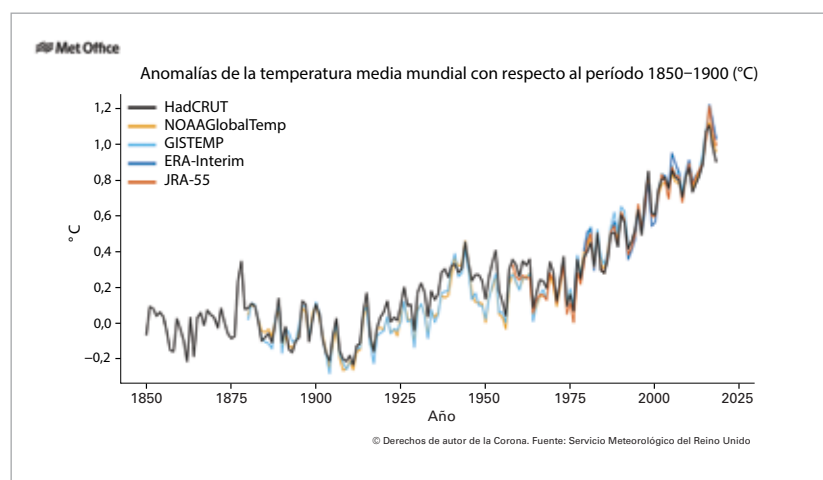
Se estima que la temperatura media mundial de 2018 fue  $0,99 \pm 0,13$  °C superior al valor de referencia de la era preindustrial (1850-1900). Para elaborar esa estimación se han utilizado cinco conjuntos de datos relativos a la temperatura mundial mantenidos al día independientemente, y el intervalo representa su dispersión (figura 1).

El año 2018 fue el cuarto más cálido desde que se tienen registros, y los últimos cuatro años —de

fue 0,86 °C más alta que en la era preindustrial. Para fines de comparación, la anomalía media con respecto al mismo valor de referencia en el último decenio (2009-2018) fue de  $0,93 \pm 0,07$  °C<sup>12</sup> y para los últimos cinco años (2014-2018) fue de  $1,04 \pm 0,09$  °C. En ambos períodos se dio un efecto de calentamiento fruto del intenso episodio de El Niño registrado en 2015/2016.

Las temperaturas superiores a la media fueron un fenómeno generalizado en 2018 (figura 2). Según los datos por continente de la NOAA, 2018 fue uno de los diez años más cálidos en África, Asia, Europa, Oceanía y América del Sur. La única excepción fue en América del Norte, donde 2018 ocupó la 18ª posición en los 109 años de los que se tienen registros.

En diversas zonas el calentamiento fue notable. En el Ártico, las anomalías de la temperatura media anual superaron los 2 °C de forma generalizada y los 3 °C en determinados lugares. Aunque las temperaturas en el Ártico fueron, en general, inferiores a las registradas en el año récord de 2016, siguieron siendo excepcionalmente elevadas en relación con la media a largo plazo. Las temperaturas también fueron excepcionalmente cálidas en una zona que se extendía a lo largo de Europa, partes del Norte de África, Oriente Medio y el sur de Asia, y en diversos países 2018 fue el año más cálido desde que se tienen registros (Alemania, Francia,

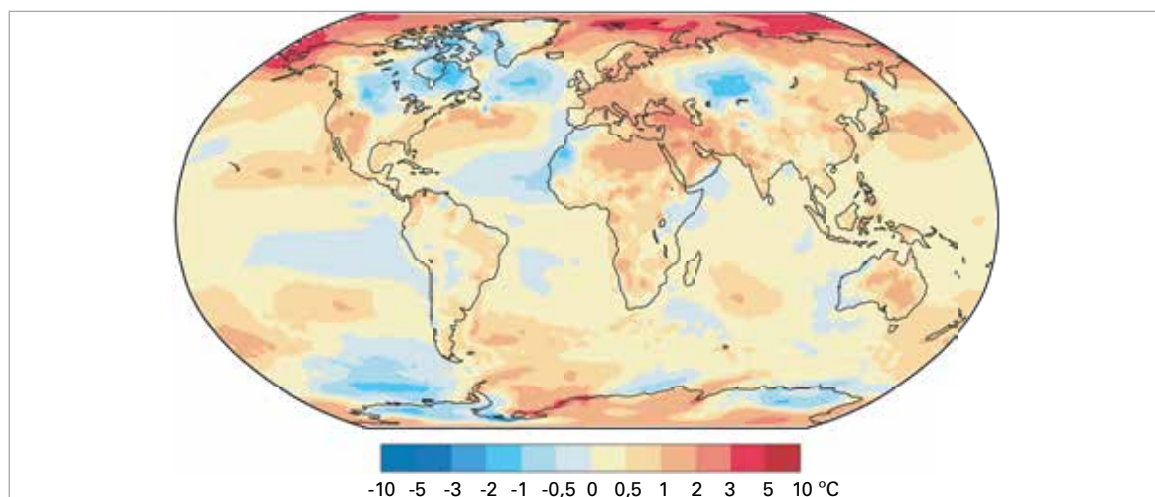


2015 a 2018— fueron los cuatro años más cálidos del registro de temperaturas mundiales. De todos ellos, el año 2018 fue el más frío. A diferencia de los dos años más cálidos (2016 y 2017), 2018 empezó con condiciones acordes a un episodio débil de La Niña, asociadas típicamente con una temperatura mundial más baja.

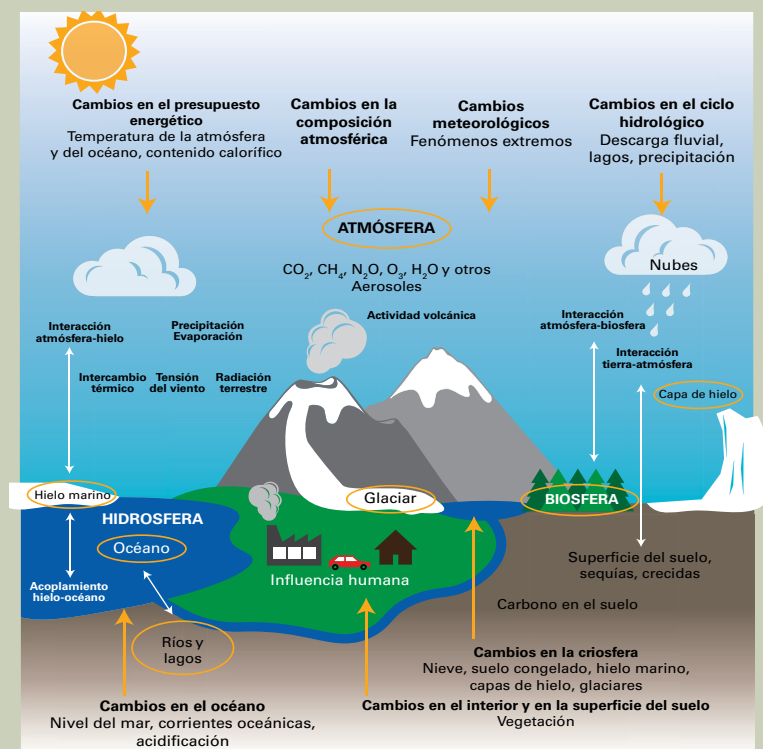
En el informe especial del IPCC sobre los efectos que produciría un calentamiento global de 1,5 °C (Calentamiento Global de 1,5 °C) se señaló que la temperatura media mundial en el período 2006-2015

<sup>1</sup> En su evaluación, el IPCC empleó NOAA GlobalTemp, GISTEMP y dos versiones de HadCRUT4. Una de las versiones de HadCRUT4 era anterior a la utilizada aquí, y para elaborar la otra se empleó un método estadístico a fin de obtener los valores faltantes en los datos (Cowtan, K. y R.G. Way, 2014: "Coverage bias in the HadCRUT4 temperature series and its impact on recent temperature trends", en Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 140:1935-1944, doi:10.1002/qj.2297).

**Figura 2.** Anomalía de la temperatura media del aire en superficie en 2018 con respecto a la media del período 1981-2010. Fuente: datos ERA-Interim del CEPMM, Servicio de Cambio Climático del Programa Copernicus



## DEFINICIÓN DE LOS INDICADORES DEL ESTADO DEL CLIMA



Principales componentes del sistema climático e interacciones: el presupuesto energético, la composición atmosférica, el tiempo, el ciclo hidrológico, el océano y la criosfera.

El elevado número de indicadores vigentes elaborados por climatólogos son de utilidad para numerosos fines y públicos específicos de los ámbitos técnicos y científicos. Por ello, no todos son igualmente apropiados para ayudar a las personas que no son especialistas en la materia a entender cómo está cambiando el clima. Si se identifica entonces un subconjunto de indicadores clave que reflejen los componentes del sistema climático y los aspectos fundamentales de los cambios en su comportamiento de forma global, las personas ajenas al ámbito científico podrán comprender sin dificultad los cambios en los principales parámetros del sistema climático.

La Organización Meteorológica Mundial (OMM) utiliza una lista de siete indicadores del estado del clima extraídos de las 55 variables climáticas esenciales del Sistema Mundial de Observación del Clima (SMOC), entre ellos la temperatura en superficie, el contenido calorífico de los océanos, el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) atmosférico, la acidificación de los océanos, el nivel del mar, el balance de masa de los glaciares y la extensión de los hielos marinos del Ártico y de la Antártida. Además, se suelen evaluar también otros indicadores para obtener una visión más detallada de los cambios en el ámbito respectivo. Se trata, en particular (si bien no exclusivamente), de la precipitación, los gases de efecto invernadero (GEI) distintos del  $\text{CO}_2$ , la capa de nieve, el manto de hielo, los fenómenos meteorológicos extremos y los impactos climáticos.



Indicadores del estado del clima utilizados por la OMM para hacer un seguimiento de la variabilidad del clima y el cambio climático a nivel mundial, entre ellos la temperatura en superficie, el contenido calorífico de los océanos, el  $\text{CO}_2$  atmosférico, la acidificación de los océanos, el nivel del mar, el balance de masa de los glaciares y la extensión del hielo marino del Ártico y de la Antártida.

Estos indicadores han sido extraídos de las 55 variables climáticas esenciales del Sistema Mundial de Observación del Clima (SMOC). Fuente: <https://gcos.wmo.int/en/global-climate-indicators>.

## FUENTES DE DATOS Y BASES DE REFERENCIA PARA LA TEMPERATURA MUNDIAL

La evaluación de las temperaturas mundiales que se presenta en la Declaración se basa en cinco conjuntos de datos. Tres de ellos utilizan las mediciones de la temperatura realizadas en estaciones meteorológicas en la superficie terrestre y las efectuadas por buques y boyas en los océanos, de forma combinada y usando métodos estadísticos. Cada uno de los centros de datos -los Centros Nacionales de Información Ambiental (NCEI) de la Administración Nacional del Océano y de la Atmósfera (NOAA)<sup>1</sup>, el Instituto Goddard de Investigaciones Espaciales (GISS) de la Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio (NASA) de los Estados Unidos de América<sup>2</sup> y el Centro Hadley de la Oficina Meteorológica del Reino Unido y la Unidad de Investigación Climática de la Universidad de East Anglia (Reino Unido)<sup>3</sup> - procesa los datos de maneras diferentes para determinar la temperatura media mundial. Dos de los conjuntos de datos son reanálisis: el ERA-Interim, procedente del Centro Europeo de Predicción Meteorológica a Medio Plazo (CEPMMP) y de su Servicio de Cambio Climático del programa Copernicus, y el JRA-55, del Servicio Meteorológico del Japón (JMA). Los reanálisis combinan millones de datos de observaciones meteorológicas y marinas, incluidas las satelitales, con valores de modelos a fin de producir un reanálisis completo de la atmósfera. Gracias a la combinación de datos de observación y modelos se pueden estimar las temperaturas en cualquier momento y lugar del globo, incluso en zonas donde los datos disponibles son escasos, como las regiones polares. El elevado grado de coherencia de los promedios mundiales en estos conjuntos de datos demuestra el rigor del registro de las temperaturas mundiales.

Al hacer referencia a las temperaturas mundiales se suele hablar de “anomalías”, es decir, la diferencia de temperatura respecto de la temperatura media en un período de referencia concreto. Si bien las temperaturas reales pueden variar considerablemente en distancias cortas -por ejemplo, entre la cima y el pie de una montaña- las anomalías de la temperatura son representativas de zonas mucho más extensas; es decir, si en la cima hace más calor de lo normal, es probable que también sea así en el pie de la montaña. En promedio, en el curso de un mes las zonas claramente definidas en las que las anomalías de temperaturas se sitúan por encima o por debajo de la media pueden abarcar miles de kilómetros. Para obtener una medida razonable de la anomalía de la temperatura mundial, solo es preciso que en cada una de dichas zonas haya varias estaciones. Sin embargo, lograr una medida

exacta de la temperatura real requiere muchas más estaciones y el establecimiento de muestras rigurosas y representativas de numerosos climas diferentes.

El período escogido como base de referencia para el cálculo de las anomalías suele depender de la aplicación. Los períodos más frecuentes son, entre otros, 1961–1990, 1981–2010 y 1850–1900. A menudo se hace referencia a este último como era preindustrial. En algunas aplicaciones, por ejemplo, al evaluar los cambios de temperatura en el siglo XX, la base de referencia elegida puede tener poca o ninguna importancia.

Actualmente, la OMM recomienda utilizar el período 1961–1990 en las evaluaciones del cambio climático. Este período de referencia fue ampliamente usado en los tres últimos informes de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) (Tercer, Cuarto y Quinto Informes de Evaluación), por lo que constituye un punto de comparación sistemático en el tiempo. Se han desplegado esfuerzos considerables para calcular y difundir las normales climatológicas correspondientes a este período.

El valor que se suele utilizar para la temperatura media absoluta a nivel mundial en el período 1961–1990 es 14 °C. Ahora bien, esta cifra no se conoce con gran precisión, y, de hecho, podría tener medio grado más o menos. Como se explicó antes, el margen de error en el valor real de esta temperatura es sustancialmente superior que el que suele darse para la anomalía del promedio anual de la temperatura, la cual suele situarse en torno a 0,1 °C.

Para la vigilancia del clima se utiliza 1981–2010 como período de referencia. Se tiende a preferir un período reciente como este por ser más representativo de las condiciones actuales o “normales”. De hecho, a menudo se hace referencia a estas medias de 30 años con el término “normales climatológicas”. Utilizar la normal 1981–2010 significa que se pueden usar datos de instrumentos satelitales y reanálisis para efectuar comparaciones, lo cual no suele ser posible mucho más atrás en el tiempo. Cabe indicar que la temperatura del período de referencia 1981–2010 fue unos 0,3 °C más cálida que en el período 1961–1990.

El período 1850–1900 fue utilizado para representar las condiciones “preindustriales” en el informe especial del IPCC sobre los efectos que produciría un calentamiento global de 1,5 °C, y es el período que se ha adoptado para la presente Declaración. Es importante hacer un seguimiento de las diferencias en las temperaturas mundiales a partir de las condiciones preindustriales porque el Acuerdo de París pretende limitar el calentamiento del planeta a 1,5 °C o 2 °C por encima de los valores de dicho período. El inconveniente de utilizar este período de referencia es que hay relativamente pocas observaciones de aquella época, por lo que esta opción lleva aparejadas mayores incertidumbres. Valga señalar que en el período 1850–1900 la temperatura fue unos 0,3 °C más fría que en el período 1961–1990.

<sup>1</sup> Los NCEI de la NOAA producen y mantienen al día conjuntos de datos sobre la temperatura mundial denominados NOAA GlobalTemp.

<sup>2</sup> El GISS de la NASA produce y mantiene al día un conjunto de datos sobre la temperatura mundial denominado GISTEMP.

<sup>3</sup> El Centro Hadley de la Oficina Meteorológica del Reino Unido y la Unidad de Investigación Climática de la Universidad de East Anglia producen y mantienen al día un conjunto de datos sobre la temperatura mundial denominado HadCRUT4.

Hungría, República Checa, Serbia y Suiza) o bien uno de los cinco más cálidos (Bélgica, Eslovenia, Estonia, Israel, Letonia, Pakistán, República de Moldova y Ucrania). En el caso de Europa en su conjunto, 2018 fue uno de los tres años más cálidos de los que se tiene constancia. Otras zonas en las que se experimentó un acusado calentamiento fueron el suroeste de los Estados Unidos de América, partes del este de Australia (si se tiene en cuenta el conjunto del país, 2018 fue el tercer año más cálido) y Nueva Zelanda, donde 2018 alcanzó el récord ya existente de segundo año más cálido.

En cambio, las zonas terrestres con temperaturas inferiores a la media fueron más restringidas. En partes de América del Norte y Groenlandia, Asia central, zonas occidentales del Norte de África, partes de África oriental, zonas costeras de Australia occidental y zonas occidentales de la región tropical de América del Sur las temperaturas fueron inferiores a la media, pero sin registrar valores infrecuentes

## GASES DE EFECTO INVERNADERO Y OZONO

El aumento en las concentraciones de los gases de efecto invernadero en la atmósfera es un factor decisivo del cambio climático. Las concentraciones atmosféricas evidencian un equilibrio entre fuentes (incluidas las emisiones fruto de las actividades humanas) y sumideros (por ejemplo, captación por parte de la biosfera y los océanos). En 2017, las concentraciones de GEI alcanzaron nuevos valores máximos, y los promedios mundiales de las fracciones molares de CO<sub>2</sub> se situaron en  $405,5 \pm 0,1$  partes por millón (ppm);

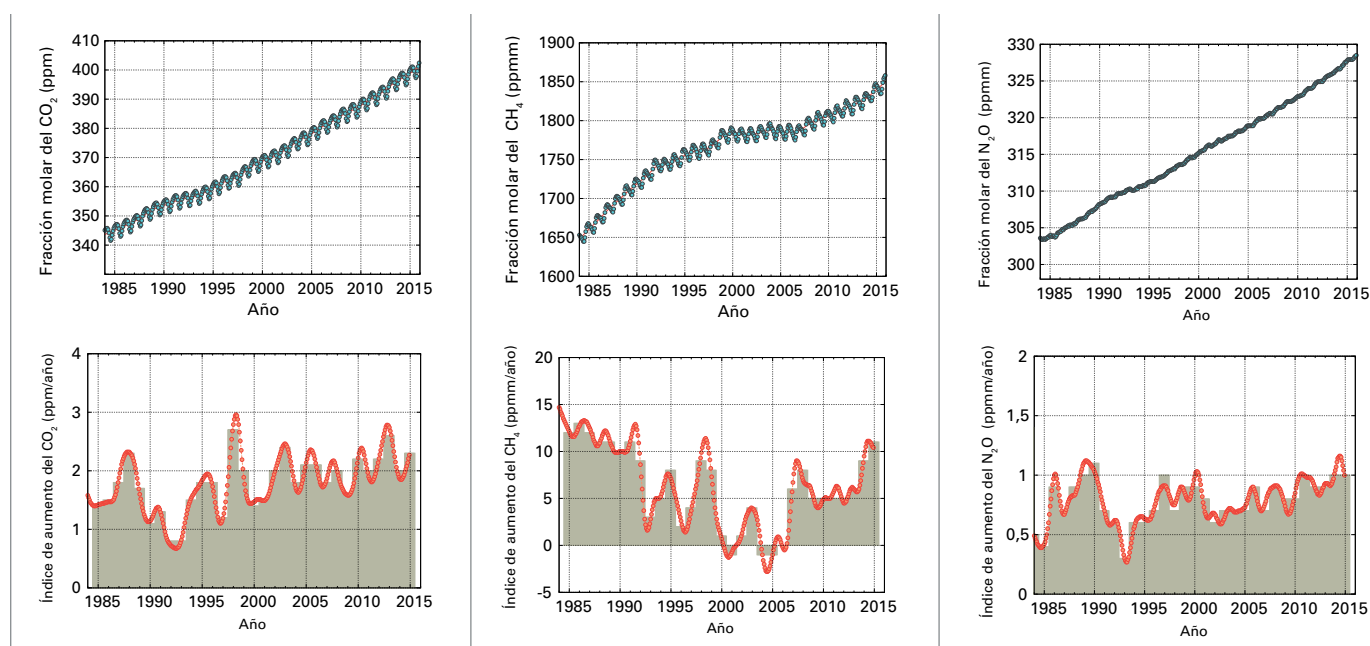
los de metano (CH<sub>4</sub>), en  $1\,859 \pm 2$  partes por mil millones (ppmm); y los de óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), en  $329,9 \pm 0,1$  ppmm (figura 3). Esos valores corresponden, respectivamente, al 146 %, el 257 % y el 122 % de los niveles preindustriales (anteriores a 1750). Los promedios mundiales de 2018 no estarán disponibles hasta finales de 2019, pero los datos en tiempo real de diversas ubicaciones concretas, entre otras, Mauna Loa (Hawái) y el cabo Grim (Tasmania), indican que las concentraciones de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O siguieron aumentando en 2018. Según se apunta en el *Informe especial del IPCC sobre un calentamiento global de 1,5 °C*, la limitación del calentamiento a 1,5 °C por encima de las temperaturas de la era preindustrial entraña la consecución de emisiones netas mundiales de CO<sub>2</sub> iguales a cero hacia 2050 y, al mismo tiempo, ello debe ir acompañado de drásticas reducciones de las emisiones de forzadores distintos del CO<sub>2</sub>, en particular el CH<sub>4</sub>.

## PRESUPUESTO DE CARBONO

Evaluar con exactitud las emisiones de CO<sub>2</sub> y su redistribución en la atmósfera, los océanos y la tierra —el denominado presupuesto mundial de carbono— nos ayuda a comprender el modo en que el ser humano está modificando el clima de la Tierra, respalda la elaboración de políticas climáticas y permite perfeccionar las proyecciones del cambio climático futuro.

Durante los dos últimos siglos, las emisiones de CO<sub>2</sub> derivadas de fuentes fósiles han aumentado prácticamente de forma continuada (figura 4), una tendencia que solo se ha interrumpido brevemente coincidiendo con crisis económicas de alcance mundial. Las emisiones siguieron

**Figura 3.** Fila superior: Medias mundiales de la fracción molar (unidad que mide la concentración) del CO<sub>2</sub> expresadas en partes por millón (izquierda), del CH<sub>4</sub>, expresadas en partes por mil millones (centro), y del N<sub>2</sub>O, expresadas en partes por mil millones (derecha) de 1984 a 2017. La línea roja corresponde a la fracción molar media mensual que resulta de suprimir la variación estacional; los puntos y la línea azules representan las medias mensuales. Fila inferior: Los índices de aumento representan el incremento de las medias anuales sucesivas de las fracciones molares del CO<sub>2</sub>, en partes por millón por año (izquierda), del CH<sub>4</sub>, en partes por mil millones por año (centro), y del N<sub>2</sub>O, en partes por mil millones por año (derecha). Fuente: *Vigilancia de la Atmósfera Global de la OMM*



# CARBONO AZUL COSTERO

Kirsten Isensee<sup>1</sup>, Jennifer Howard<sup>2</sup>, Emily Pidgeon<sup>2</sup>, Jorge Ramos<sup>2</sup>,

<sup>1</sup> Comisión Oceanográfica Intergubernamental (COI) de la UNESCO, Francia

<sup>2</sup> Conservación Internacional, Estados Unidos de América

En términos generales, se entiende por “carbono azul” el carbono almacenado, secuestrado y que se circula en los ecosistemas costeros y oceánicos. Sin embargo, en materia de mitigación del cambio climático, el carbono azul costero (también conocido como “carbono azul de los humedales costeros”<sup>1</sup>) se define como el carbono acumulado en el suelo de los manglares, marismas de marea y praderas marinas, la biomasa aérea viva (hojas, ramas, tallos), la biomasa subterránea viva (raíces y rizomas) y la biomasa muerta (hojarasca y madera muerta) <sup>2</sup> (véase el cuadro). Cuando los ecosistemas de carbono azul costero están protegidos o restaurados, actúan como sumideros de carbono (véase la figura a)). Estos ecosistemas se encuentran en todos los continentes excepto en la Antártida y cubren una superficie de aproximadamente 49 millones de hectáreas.

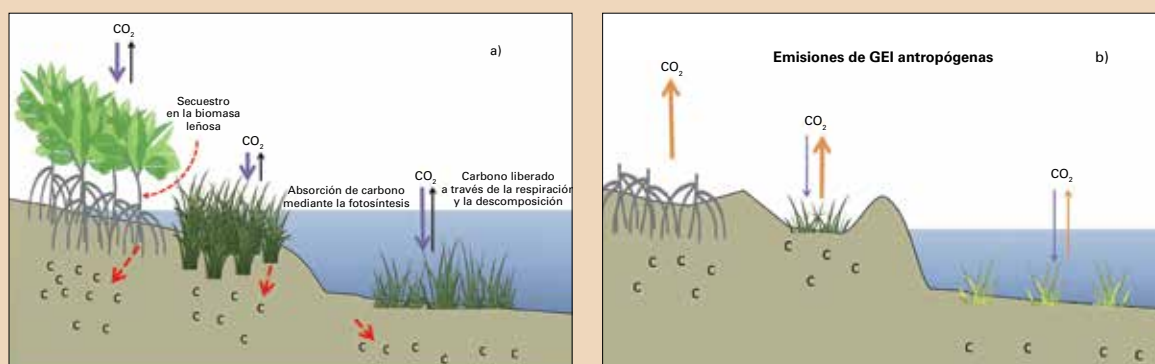
Actualmente, para que un ecosistema de carbono azul sea reconocido por su valor en materia de mitigación del cambio climático en los marcos normativos nacionales e internacionales, es necesario que cumpla los siguientes criterios:

- a) La cantidad de carbono que elimina y almacena el ecosistema, o la prevención de emisiones de carbono por parte del ecosistema son de una escala suficientemente grande para influir en el clima;
- b) Se pueden cuantificar importantes reservas y flujos de gases de efecto invernadero;
- c) Hay pruebas de que los agentes antropógenos afectan al almacenamiento o a las emisiones de carbono;
- d) Es posible gestionar el ecosistema de manera que se aumente o se mantenga el secuestro de carbono o se reduzcan las emisiones;
- e) Es posible gestionar el ecosistema sin causar daños sociales o medioambientales.

Sin embargo, los servicios ecosistémicos proporcionados por los manglares, las marismas de marea y las praderas marinas no se limitan al almacenamiento y secuestro de carbono. También contribuyen a la mejora de la calidad del agua costera, ofrecen un hábitat para especies de peces económicamente importantes, y protegen las costas contra crecidas y tormentas. Estimaciones recientes revelan que los servicios ecosistémicos derivados de los manglares tienen un valor de al menos 1 600 millones de dólares anuales.

A pesar de su demostrada importancia para la salud de los océanos y el bienestar de las personas, los manglares, las marismas de marea y las praderas marinas están desapareciendo a un ritmo de hasta el 3 % anual (véase el cuadro). Cuando se degradan o se destruyen, estos ecosistemas emiten el carbono que han almacenado durante siglos al océano y a la atmósfera y se convierten en fuentes de gases de efecto invernadero (véase la figura b)).

Teniendo en cuenta los datos del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), se estima que los ecosistemas costeros de carbono azul degradados (de los tres sistemas: manglares, marismas y praderas marinas) liberan cada año hasta 1 000 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>, lo que equivale al 19 % de las emisiones procedentes de la deforestación tropical en todo el mundo.<sup>3</sup>



Secuestro y liberación de carbono en ecosistemas costeros intactos y degradados – a): En los humedales costeros intactos (de izquierda a derecha: manglares, marismas y praderas marinas), el carbono es absorbido mediante la fotosíntesis (flechas moradas) y secuestrado a largo plazo en la biomasa leñosa y en el suelo (flechas rojas de puntos) o liberado mediante la respiración (flechas negras). b): Cuando se produce el drenaje del suelo de los humedales costeros degradados, el carbono almacenado en el suelo es consumido por microorganismos, que respiran y liberan CO<sub>2</sub> como desecho metabólico. Esto sucede a un ritmo más rápido cuando los suelos están drenados y hay más oxígeno disponible, lo que conlleva mayores emisiones de CO<sub>2</sub>. La degradación, el drenaje y la conversión de los ecosistemas de carbono azul costero a causa de la actividad humana (es decir, la deforestación y drenaje, la retención de humedales para la agricultura, el dragado, etc.) resultan en una reducción de la absorción de CO<sub>2</sub> a consecuencia de la pérdida de vegetación (flechas moradas) y en la liberación de emisiones de gases de efecto invernadero de importancia mundial.

## Potencial de almacenamiento de carbono de los ecosistemas costeros y marinos<sup>1</sup>

		<i>Manglares</i>	<i>Marismas de marea</i>	<i>Praderas marinas</i>
Extensión geográfica (millones de hectáreas)		13,8–15,2 <sup>4,5</sup>	2,2–40 <sup>6,7</sup>	30–60 <sup>6</sup>
Tasa de secuestro (Mg C ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )		2,26 ± 0,39 <sup>6</sup>	2,18 ± 0,24 <sup>6</sup>	1,38 ± 0,38 <sup>6</sup>
Total de carbono secuestrado anualmente (extensión x tasa de secuestro) (Millones Mg C año <sup>-1</sup> )		31,2–34,4	4,8–87,2	41,4–82,8
Promedio de las reservas de carbono almacenado a nivel mundial (total = (suelo + biomasa) x extensión)	Depósito de suelo hasta un metro de profundidad (Mg C ha <sup>-1</sup> )	280 <sup>8</sup>	250 <sup>8</sup>	140 <sup>8</sup>
	Depósito de biomasa (Mg C ha <sup>-1</sup> )	127 <sup>8</sup>	9 <sup>8</sup>	2 <sup>8</sup>
	Total (millones Mg C)	5 617–6 186	570–10 360	4 260–8 520
Estabilidad de las reservas de carbono (años)		Entre siglos y un milenio	Entre siglos y un milenio	Entre siglos y un milenio
Tasa de conversión antropógena (% año <sup>-1</sup> )		0,7–3,0 <sup>9</sup>	1,0–2,0 <sup>10,11</sup>	0,4–2,6 <sup>12,13</sup>
Emisiones potenciales debido a la conversión antropógena asumiendo que todo el carbono se convierte en CO <sub>2</sub> ((total de reservas de carbono por ha x ha convertidas anualmente x 3,67 (tasa de conversión en CO <sub>2</sub> ))		144,3–681,1	20,9–760,4	62,5–813,0

<sup>1</sup> Howard, J., A. Sutton-Grier, D. Herr, J. Kleypas, E. Landis, E. Mcleod, E. Pidgeon y S. Simpson, 2017: Clarifying the role of coastal and marine systems in climate mitigation. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 15(1):42–50, doi:10.1002/fee.1451.

<sup>2</sup> Howard, J., S. Hoyt, K. Isensee, M. Telszewski y E. Pidgeon (eds), 2014: *Carbono azul: Métodos para evaluar las existencias y los factores de emisión de carbono en manglares, marismas y pastos marinos*. Conservación Internacional, COI de la UNESCO, Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza. Arlington, Virginia, Estados Unidos de América.

<sup>3</sup> Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, 2006: *Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero*. (H. S. Eggleston, L. Buendía, K. Miwa, T. Ngara y K. Tanabe, eds). Preparadas por el Programa de inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Kanagawa, Japón, IGES.

<sup>4</sup> Giri, C., y otros., 2011: Status and distribution of mangrove forests of the world using Earth observation satellite data. *Global Ecology and Biogeography*, 20:154–59.

<sup>5</sup> Spalding, M., M. Kainuma y L. Collins, 2010: *Atlas Mundial de los Manglares*. Londres y Washington, D. C., Earthscan.

<sup>6</sup> Mcleod, E., G. L. Chmura, S. Bouillon, R. Salm, M. Björk, C. M. Duarte, C. E. Lovelock, W. H. Schlesinger y B. R. Silliman, 2011: A blueprint for blue carbon: toward an improved understanding of the role of vegetated coastal habitats in sequestering CO<sub>2</sub>. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 9(10):552–560, doi:10.1890/110004.

<sup>7</sup> Duarte, C. M., y otros., 2013: The role of coastal plant communities for climate change mitigation and adaptation. *Nature Climate Change*, 3:961–68.

<sup>8</sup> Pendleton, L., y otros., 2012: Estimating global “blue carbon” emissions from conversion and degradation of vegetated coastal ecosystems. *PLoS ONE*, 7(9):e43542.

<sup>9</sup> Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2007: *The World's Mangroves 1980–2005*. FAO Forestry Paper 153. Roma, FAO.

<sup>10</sup> Duarte, C. M., J. Borum, F. T. Short y D. I. Walker, 2005: Seagrass ecosystems: their global status and prospects. In: *Aquatic Ecosystems: Trends and Global Prospects* (N. V. C. Polunin, ed.). Cambridge, Reino Unido, Cambridge University Press.

<sup>11</sup> Bridgman, S. D., J. P. Megonigal, J. K. Keller, N. B. Bliss y C. Trettin, 2006: The carbon balance of North American wetlands. *Wetlands*, 26(4):889–916.

<sup>12</sup> Waycott, M., y otros., 2009: Accelerating loss of seagrasses across the globe threatens coastal ecosystems. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 106:12377–12381.

<sup>13</sup> Green, E. P. y F. T. Short (eds), 2003: *World Atlas of Seagrasses*. Berkeley, University of California Press.

**Figura 4**

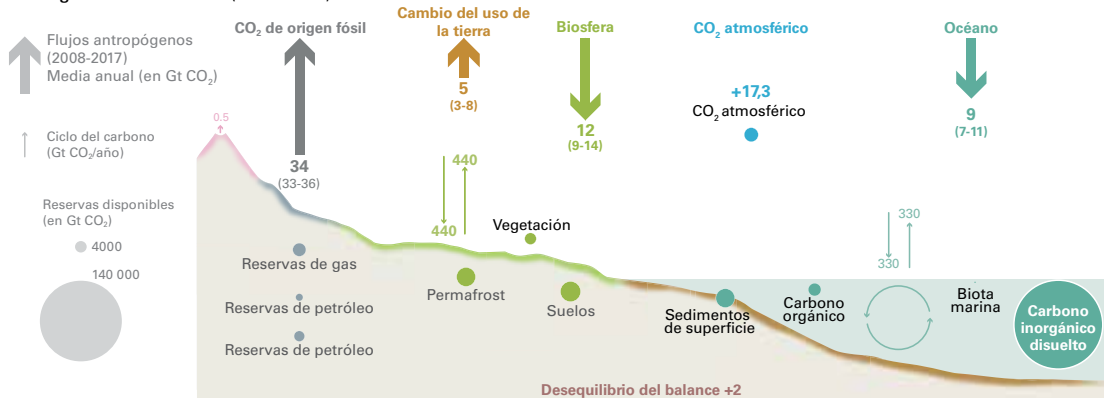
**a)** Promedio del presupuesto mundial de carbono anual para el decenio 2008–2017. Los flujos se expresan en miles de millones de toneladas de CO<sub>2</sub>. Los círculos indican las reservas de carbono, expresadas en miles de millones de toneladas.

**b)** Historial del presupuesto mundial de carbono de 1900 a 2017. Las emisiones de carbono van en parte a la atmósfera y en parte a los sumideros de carbono terrestres y oceánicos. El “desequilibrio” entre las emisiones totales y el número total de sumideros refleja las lagunas en los datos, los modelos o en nuestra comprensión del ciclo del carbono. *Fuente:* Proyecto Carbono Global, <http://www.globalcarbonproject.org/carbonbudget/>; Le Quéré y otros, 2018<sup>2</sup>

## El aumento del CO<sub>2</sub> atmosférico es una causa de cambio climático

a)

Ciclo global del carbono (2008–2017)



Copyright: Derechos de autor: Producido por el Future Earth Media Lab para el Proyecto Carbono Global. <http://www.globalcarbonproject.org/carbonbudget/index.htm>. Redactado y editado por Corinne Le Quéré (Tyndall Centre de la Universidad de East Anglia) con el Equipo del presupuesto mundial de carbono. Impactos basados en el informe del IPCC sobre los efectos que produciría un calentamiento global de 1,5 °C. Gráfico de Nigel Hawtin. Autoría: Le Quéré y otros, Earth System Science Data (2018); Laboratorio de Investigación del Sistema Terrestre de la NOAA y el Instituto Oceanográfico de Scripps; ejemplos ilustrados de D. van Vuuren basados en el modelo integrado para evaluar el medio ambiente mundial (IMAGE).



aumentando a un ritmo del 1,6 % en 2017 y, según los resultados preliminares, a un ritmo del 2,0 % anual (entre el 1,1 % y el 3,4 %) en 2018. Las previsiones apuntan al establecimiento de un nuevo récord de  $36\,900 \pm 1\,800$  millones de toneladas de CO<sub>2</sub> en 2018.

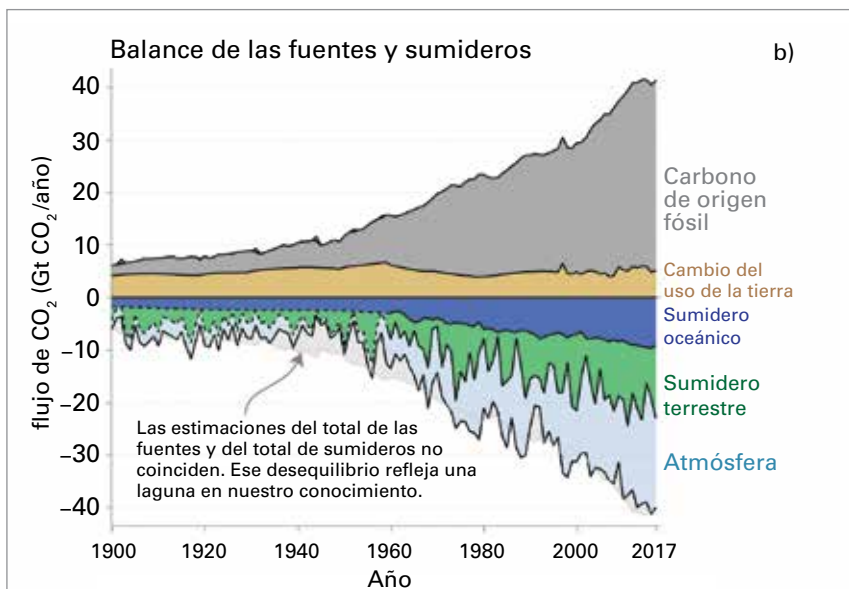
A lo largo del pasado decenio, las emisiones netas de CO<sub>2</sub> derivadas de los cambios en el uso de la tierra y de la cubierta terrestre alcanzaron, de media,  $5\,000 \pm 2\,600$  millones de toneladas anuales, y cabe destacar que las estimaciones calculadas anualmente conllevan un grado importante de incertidumbre. En conjunto, los cambios en el uso de la tierra y las emisiones de CO<sub>2</sub> derivadas de fuentes fósiles supusieron la emisión estimada de  $41\,500 \pm 3\,000$  millones de toneladas de CO<sub>2</sub> en 2018. Esas elevadas emisiones continuas han supuesto elevados niveles de acumulación de CO<sub>2</sub> en la atmósfera

que, en 2018, llegaron a las  $2,82 \pm 0,09$  ppm<sup>3</sup>. No obstante, esos niveles solo representan una parte del total de CO<sub>2</sub> emitido, porque los océanos y la vegetación terrestre, sumideros de ese gas, absorben aproximadamente el 55 % de todas las emisiones.

Los sumideros de CO<sub>2</sub>, tanto tierras como océanos, se encuentran distribuidos por ambos hemisferios, pero en los trópicos (30° S–30° N) los flujos de ese gas están cerca de alcanzar la neutralidad porque las emisiones debidas a la deforestación contrarrestan en gran medida el efecto de los sumideros de CO<sub>2</sub>. En el hemisferio sur, los principales sumideros son los océanos, mientras que en el hemisferio norte los sumideros principales son el suelo y los océanos, que contribuyen de una forma más activa y prácticamente similar a la absorción de este gas.

## OZONO

Gracias al Protocolo de Montreal se han dejado de utilizar los halones y clorofluorocarbonos (CFC). Sin embargo, a causa de su prolongado ciclo de vida, esos compuestos permanecerán en la atmósfera durante muchos decenios. Aún queda cantidad más que suficiente de cloro y bromo en la atmósfera como para provocar la destrucción completa de la capa de ozono en ciertas altitudes de la Antártida en el período de agosto a diciembre, de modo que las dimensiones del agujero de la capa de ozono de un



<sup>2</sup> Le Quéré y otros, 2018: "Global carbon budget 2018", en Earth System Science Data, 10:2141–2194; y actualizaciones de marzo de 2019.

<sup>3</sup> NOAA, 2019: "Trends in atmospheric carbon dioxide", [https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/gl\\_gr.html](https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/gl_gr.html).

año a otro dependen, en gran medida, de las condiciones meteorológicas.

En 2018, las temperaturas estratosféricas en el Polo Sur quedaron por debajo de la media a largo plazo (1979-2017), el vórtice polar estratosférico se mantuvo relativamente estable, y entre junio y mediados de noviembre el flujo turbulento del calor fue inferior a la media. El agotamiento de la capa de ozono empezó relativamente pronto en 2018 y se mantuvo por encima de la media a largo plazo hasta aproximadamente mediados de noviembre (figura 5).

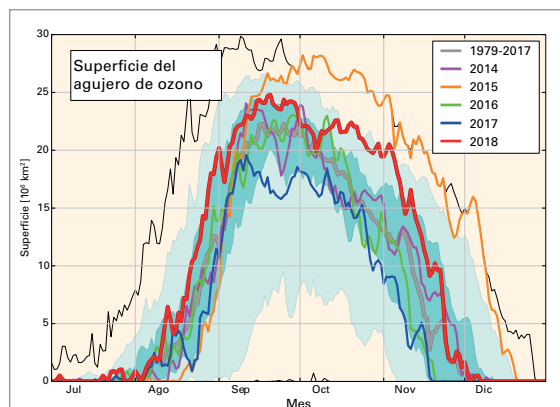
El 20 de septiembre, el agujero de la capa de ozono alcanzó su superficie máxima en 2018 (24,8 millones de km<sup>2</sup>), frente a los 28,2 millones de km<sup>2</sup> alcanzados el 2 de octubre de 2015 o los 29,6 millones de km<sup>2</sup> del 24 de septiembre de 2006, según un análisis de la NASA. A pesar de un vórtice relativamente frío y estable, el agujero de ozono de 2018 fue más pequeño que en años anteriores con temperaturas similares, por ejemplo, en 2006. Ello indica que la extensión del agujero de la capa de ozono empieza a responder a la reducción de las concentraciones de cloro estratosférico conseguida gracias a las disposiciones del Protocolo de Montreal.

## OCÉANOS

### TEMPERATURAS DE LA SUPERFICIE DEL MAR

En 2018 las aguas de la superficie del mar fueron excepcionalmente cálidas en diversas zonas oceánicas, incluida gran parte del Pacífico, salvo la parte oriental del Pacífico tropical y una zona al norte de Hawái, en la que las temperaturas fueron inferiores a la media. El océano Índico occidental, el Atlántico tropical y una zona del Atlántico Norte frente a la costa este de los Estados Unidos también registraron temperaturas inusualmente cálidas. Se observaron aguas superficiales excepcionalmente frías en una zona al sur de Groenlandia, un punto del mundo donde se ha producido un enfriamiento a largo plazo.

En noviembre de 2017 se produjo una ola de calor marina en el mar de Tasmania, que se mantuvo hasta febrero de 2018. Las temperaturas de la superficie de dicho mar estuvieron 2 °C por encima de lo normal en casi todas partes, y en determinados momentos ese aumento de las temperaturas diarias de la superficie del mar fue de 4 °C por encima de lo normal (figura 6). Esos récords de temperaturas de la superficie del mar se debieron a condiciones excepcionalmente cálidas en Nueva Zelanda, que registró el verano y el mes (enero) más cálidos de los que



**Figura 5.** Superficie (en millones de km<sup>2</sup>) en la cual la columna de ozono total es inferior a 220 unidades Dobson. La zona sombreada oscura en verde y azul está delimitada por los percentiles 30 a 70 y la zona sombreada clara en verde y azul está delimitada por los percentiles 10 a 90 para el período 1979-2017. Las líneas negras delgadas muestran los valores diarios máximo y mínimo registrados cada día durante el período 1979-2017. Fuente: datos del sitio web de Ozone Watch de la NASA (Serie cartográfica y perfiladora del ozono (OMPS), datos de instrumentos de vigilancia del ozono (OMI) y datos del espectrómetro cartográfico del ozono total (TOMS)

se tiene constancia. También fue el período de noviembre a enero más cálido jamás registrado en Tasmania. Junto con las aguas cálidas hubo elevados porcentajes de humedad, y en febrero, aunque ya había pasado el apogeo de la ola de calor marina, tuvieron lugar diversos episodios de precipitaciones extremas en Nueva Zelanda.

### CONTENIDO CALORÍFICO DE LOS OCÉANOS

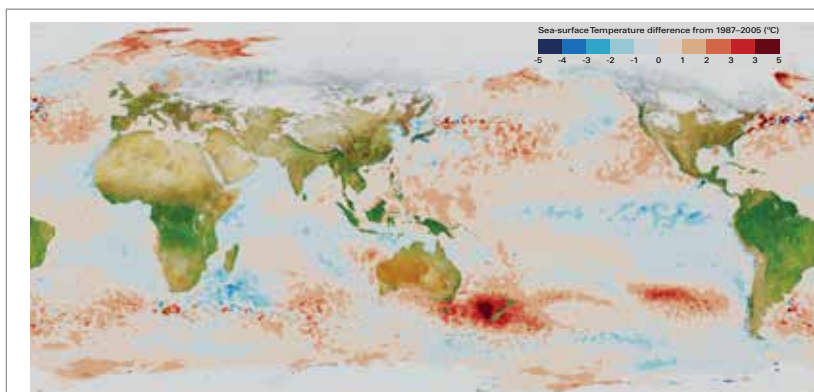
Más del 90 % de la energía atrapada por los GEI acaba en los océanos, y el contenido calorífico de esas masas de agua es un reflejo directo de esa acumulación de energía en las capas superiores de los océanos. A diferencia de las temperaturas en superficie, cuyo incremento gradual a largo plazo de un año para otro acostumbra a ser inferior a la variabilidad interanual causada por los fenómenos de El Niño y La Niña, el contenido calorífico de los océanos aumenta de forma más paulatina y las fluctuaciones interanuales son menos pronunciadas (figura 7). De hecho, en 2018 ese contenido calorífico alcanzó nuevos máximos hasta los 700 m de profundidad (datos desde 1955) y hasta 2 000 m de profundidad (datos desde 2005), rebasando así los récords previamente establecidos en 2017.

### NIVEL DEL MAR

El nivel del mar es uno de los siete indicadores clave del cambio climático mundial destacados por el Sistema Mundial de Observación del Clima

**Figura 6.** Anomalías del promedio diario de las temperaturas de la superficie del mar el 29 de enero de 2018 con respecto a la media de 1987-2005.

Fuente: Centro Hadley de la Oficina Meteorológica del Reino Unido



# Desoxigenación en alta mar y en las aguas costeras

## Red Mundial del Oxígeno Oceánico (GO2NE) de la Comisión Oceanográfica Intergubernamental, Kirsten Isensee<sup>1</sup>

Denise Breitburg<sup>2</sup>, Marilaure Gregoire<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Comisión Oceanográfica Intergubernamental (COI) de la UNESCO, Francia

<sup>2</sup> Smithsonian Environment Research Center, Estados Unidos de América

<sup>3</sup> Universidad de Lieja, Bélgica

Tanto las observaciones como los modelos numéricos indican que el oxígeno está disminuyendo en alta mar y en las zonas oceánicas costeras, entre ellas los estuarios y mares semicerrados. Desde mediados del siglo pasado, se ha estimado una disminución de entre el 1 % y el 2 % (es decir 2,4–4,8 Pmol o 77 000 millones –14 500 millones de toneladas) en el inventario de oxígeno oceánico en todo el mundo<sup>1,2</sup>, mientras que en cientos de emplazamientos en zonas costeras se han registrado concentraciones de oxígeno que entorpecen los procesos biológicos o que son letales para muchos organismos. Las regiones con concentraciones de oxígeno históricamente bajas están expandiéndose y han aparecido nuevas regiones que exhiben bajos niveles de oxígeno. Aunque no se conoce con precisión la importancia relativa de los diversos mecanismos responsables de la disminución del contenido de oxígeno de los océanos de todo el mundo, cabe esperar que el calentamiento global contribuya a esta pérdida de forma directa, dado que la solubilidad del oxígeno empeora en aguas más cálidas, y, de forma indirecta, debido a cambios en la dinámica del océano que reducen la ventilación oceánica, que consiste en la entrada de oxígeno al interior del océano. Las simulaciones de modelos correspondientes a finales de este siglo proyectan que el oxígeno disminuirá en mar abierto tanto en escenarios de bajas emisiones como de altas emisiones.

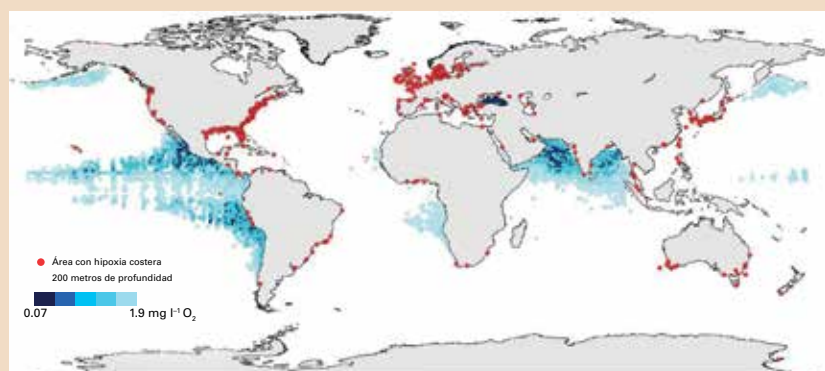
En las zonas costeras, el aumento de la exportación de nitrógeno y fósforo por parte de los ríos desde la década de 1950 ha dado lugar a la eutrofización de las masas de agua en todo el mundo. La eutrofización aumenta el consumo de oxígeno y, cuando se combina con una ventilación escasa, produce deficiencias de oxígeno en las aguas subsuperficiales.

Se prevé que el cambio climático contribuya a una mayor desoxigenación en las zonas costeras, que ya se encuentran afectadas por las descargas de nutrientes a causa de la acción antropógena, por la disminución de la solubilidad del oxígeno, la reducción de la ventilación mediante la intensificación y la ampliación de los períodos de estratificación estacional de la columna de agua y, en algunos casos donde se prevé que aumenten las precipitaciones, al aumentar el suministro de nutrientes.

El volumen de regiones anóxicas en las zonas de oxígeno mínimo de los océanos ha aumentado desde 19602, alterando los mecanismos biogeoquímicos al permitir procesos que consumen el nitrógeno fijado y liberan fosfato, hierro, ácido sulfhídrico (H<sub>2</sub>S), y posiblemente N<sub>2</sub>O (véase la figura). La disponibilidad relativamente limitada de elementos esenciales, como el nitrógeno y el fósforo, implica que dichas alteraciones pueden perturbar el equilibrio en la composición química de los océanos. Además, todavía se desconoce en qué medida los circuitos de retroalimentación positiva (por ejemplo, la remobilización de fósforo y hierro de las partículas de sedimentos) pueden acelerar la perturbación de este equilibrio.

La desoxigenación afecta a numerosos aspectos de los servicios ecosistémicos proporcionados por los océanos y las aguas costeras de todo el mundo. Por ejemplo, este proceso afecta a la biodiversidad y a las redes tróficas, y puede reducir el crecimiento, la reproducción y la supervivencia de los organismos marinos. Las alteraciones relacionadas con la escasez de oxígeno en la distribución espacial de las especies capturadas pueden acarrear cambios en los lugares y prácticas de pesca, y reducir la rentabilidad de la pesca. La desoxigenación también puede aumentar la dificultad de proporcionar asesoramiento fiable en materia ordenación pesquera.

Zonas de oxígeno mínimo (en azul) y áreas con hipoxia costera (en rojo) en los océanos del planeta. Los emplazamientos hipóxicos costeros que aparecen en el mapa son sistemas donde se han registrado concentraciones de oxígeno inferiores a 2 mg/L y donde los nutrientes antropogénicos constituyen una de las principales causas de la disminución de oxígeno. Fuentes: datos de 3) y Díaz, J. R., no publicado; figura adaptada a partir de lo indicado en las referencias 4, 5 y 6



<sup>1</sup> Bopp, L., L. Resplandy, J. C. Orr, S. C. Doney, J. P. Dunne, M. Gehlen, P. Halloran, C. Heinze, T. Ilyina y R. Seferian, 2013: Multiple stressors of ocean ecosystems in the 21st century: projections with CMIP5 models. *Biogeosciences*, 10:6225–6245.

<sup>2</sup> Schmidtko, S., L. Stramma y M. Visbeck, 2017: Decline in global oceanic oxygen content during the past five decades. *Nature*, 542:335–339.

<sup>3</sup> Díaz, R. J. y R. Rosenberg, 2008: Spreading dead zones and consequences for marine ecosystems. *Science*, 321:926–929.

<sup>4</sup> Isensee, K., L. A. Levin, D. L. Breitburg, M. Gregoire, V. Garçon y L. Valdés, 2015: The ocean is losing its breath. *Ocean and Climate, Scientific notes*. [http://www.ocean-climate.org/wp-content/uploads/2017/03/ocean-out-breath\\_07-6.pdf](http://www.ocean-climate.org/wp-content/uploads/2017/03/ocean-out-breath_07-6.pdf).

<sup>5</sup> Breitburg, D., M. Grégoire y K. Isensee (eds), 2018: *The Ocean is Losing Its Breath: Declining Oxygen in the World's Ocean and Coastal Waters*. Global Ocean Oxygen Network. Serie técnica de la COI N° 137. COI de la UNESCO.

<sup>6</sup> Breitburg, D., y otros, 2018: Declining oxygen in the global ocean and coastal waters. *IOC Global Ocean Oxygen Network. Science*, 359(6371):p.eaam7240.

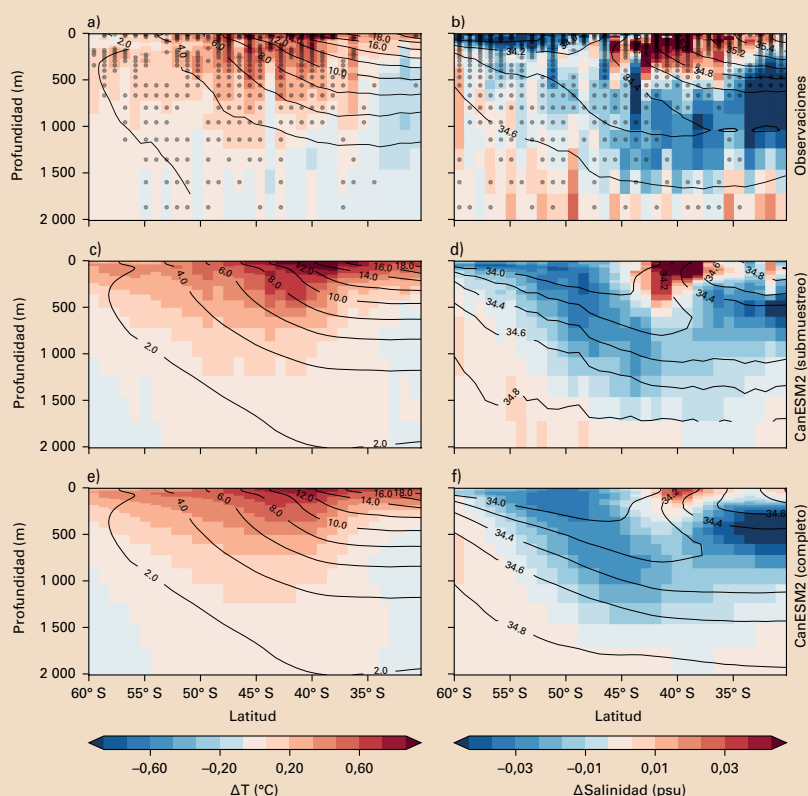
# Tendencias de calentamiento en el océano austral

Neil Swart<sup>1</sup>, Michael Sparrow<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Ministerio del Medio Ambiente del Canadá

<sup>2</sup> Organización Meteorológica Mundial

Las mayores tasas de calentamiento oceánico se dan en el océano Austral, cuyo calentamiento alcanza las capas más profundas. Sin embargo, se observan diferencias regionales significativas. La superficie del océano subpolar al sur de la corriente circumpolar antártica (CCA) ha mostrado un calentamiento muy lento o incluso un ligero enfriamiento durante las últimas décadas<sup>1, 2</sup>. No obstante, al norte de la CCA (aproximadamente de 30° S a 60° S), el océano Austral ha experimentado un rápido calentamiento desde la superficie hasta los 2 000 m de profundidad (véase la figura), a un ritmo que prácticamente duplica el del resto de los océanos del mundo<sup>3, 4, 5</sup>. El patrón de calentamiento diferido al sur e intensificación del calentamiento desde la superficie hasta profundidades intermedias en el norte se debe a la advección de calor hacia el norte y descendente a causa de la circulación meridional de retorno del océano Austral<sup>1, 2</sup>. Esta transferencia de calor desde la superficie al interior convierte al océano Austral en la primera región de incorporación de calor antropógeno<sup>6</sup>. De hecho, el rápido calentamiento observado al norte de la CCA ha sido atribuido formalmente a las crecientes concentraciones de gases de efecto invernadero<sup>3</sup>. Los cambios en los vientos del oeste, y el transporte Ekman de aguas frías hacia el norte anómalo que resulta de estos cambios, impulsado por el agotamiento del ozono estratosférico, también pueden contribuir tanto al enfriamiento de la superficie subpolar<sup>7, 8</sup>, como al calentamiento que se produce en el norte<sup>3</sup>. Finalmente, las aguas profundas (> 2 000 m) y abisales (> 4 000 m) del océano Austral se han ido calentando a una velocidad significativamente superior a la media mundial<sup>9, 10</sup>. Se cree que este fenómeno está relacionado con las variaciones en la tasa de formación de agua de fondo antártica y en las corrientes más profundas de la circulación meridional de retorno.



<sup>4</sup> Gille, S. T., 2002: Warming of the Southern Ocean since the 1950s. *Science*, 295(5558):1275–1277, DOI: 10.1126/science.1065863.

<sup>5</sup> Gille, S. T., 2008: Decadal-scale temperature trends in the southern hemisphere ocean. *Journal of Climate*, 21:4749–4765, <https://doi.org/10.1175/2008JCLI2131.1>.

<sup>6</sup> Roemmich, D., J. Church, J. Gilson, D. Monselesan, P. Sutton y S. Wijffels, 2015: Unabated planetary warming and its ocean structure since 2006. *Nature Climate Change*, 5(3):240–245.

<sup>7</sup> Kostov, Y., D. Ferreira, K. C. Armour y J. Marshall, 2018: Contributions of greenhouse gas forcing and the southern annular mode to historical southern ocean surface temperature trends. *Geophysical Research Letters*, 45:1086–1097, <https://doi.org/10.1002/2017GL074964>.

<sup>8</sup> Ferreira, D., J. Marshall, C.M. Bitz, S. Solomon y A. Plumb, 2015: Antarctic ocean and sea ice response to ozone depletion: A two-time-scale problem. *Journal of Climate*, 28:1206–1226, <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-14-00313.1>.

<sup>9</sup> Desbruyères, D. G., S. G. Purkey, E. L. McDonagh, G. C. Johnson y B. A. King, 2016: Deep and abyssal ocean warming from 35 years of repeat hydrography. *Geophysical Research Letters*, 43:10356–10365.

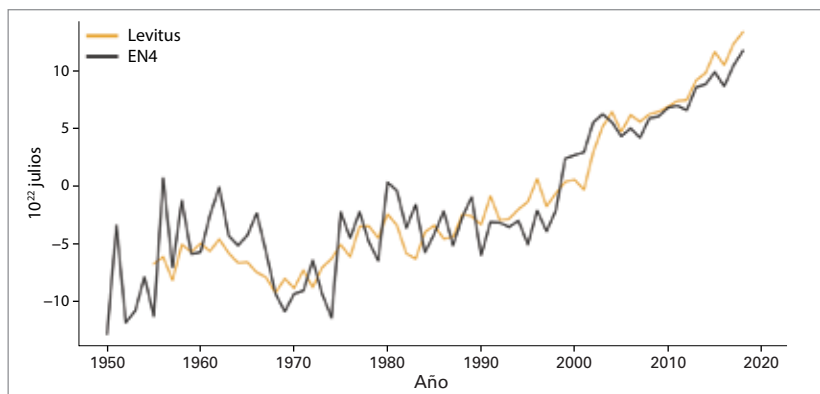
<sup>10</sup> Purkey, S. G. y G. C. Johnson, 2010: Warming of global abyssal and deep southern ocean waters between the 1990s and 2000s: Contributions to global heat and sea level rise budgets. *Journal of Climate*, 23:6336–6351, <https://doi.org/10.1175/2010JCLI3682.1>.

Cambios observados en la temperatura (izquierda) y la salinidad (derecha) entre los valores medios de 2006–2015 y los de 1950–1980. Los gráficos superiores (a y b) corresponden a observaciones y los inferiores a modelos submuestreados para que correspondan a la cobertura de las observaciones (c y d) y el forzamiento de la media por conjuntos con la muestra completa (e y f). Los cambios observados se pueden atribuir principalmente al aumento de gases de efecto invernadero. Fuente: véase la referencia 3

<sup>1</sup> Sallée, J. B., 2018: Southern ocean warming. *Oceanography*, 31(2):52–62, <https://doi.org/10.5670/oceanog.2018.215>.

<sup>2</sup> Armour, K. C., J. Marshall, J. R. Scott, A. Donohoe y E.R. Newson, 2016: Southern Ocean warming delayed by circumpolar upwelling and equatorward transport. *Nature Geoscience*, 9:549–554, <https://doi.org/10.1038/ngeo2731>.

<sup>3</sup> Swart, N. C., S. T. Gille, J. C. Fyfe y N. P. Gillett, 2018: Recent southern ocean warming and freshening driven by greenhouse gas emissions and ozone depletion. *Nature Geoscience*, 11:836–842, <https://doi.org/10.1038/s41561-018-0226-1>.



**Figura 7.** Variación del contenido calorífico de los océanos a escala mundial ( $\times 10^{22}$  J) para la capa de 0 a 700 m con respecto al valor de referencia del período 1981-2010. Las líneas muestran medias anuales calculadas mediante el análisis Levitus, elaborado por los Centros Nacionales de Información Ambiental (NCEI) de la NOAA, y el análisis EN4, elaborado por el Centro Hadley de la Oficina Meteorológica del Reino Unido. Fuente: Centro Hadley de la Oficina Meteorológica del Reino Unido, preparado también con datos de los NCEI de la NOAA

(SMOC)<sup>4</sup> y adoptados por la OMM para describir el estado del clima mundial en sus declaraciones anuales. El nivel del mar sigue aumentando a un ritmo acelerado (véase la figura 8, izquierda). En 2018, el nivel medio del mar a escala mundial fue aproximadamente 3,7 mm más alto que en 2017, un valor que marcó un nuevo récord. En el período de enero de 1993 a diciembre de 2018, la velocidad media de subida del nivel del mar fue de  $3,15 \pm 0,3$  mm año<sup>-1</sup>, y la aceleración estimada de  $0,1$  mm año<sup>-2</sup>. La pérdida acelerada de masa de los mantos de hielo es la principal causa del incremento en el ritmo de elevación del nivel medio del mar a escala mundial, como han puesto de manifiesto los datos obtenidos mediante altimetría por satélite (Grupo sobre el Presupuesto del Nivel del Mar Mundial del Programa Mundial de Investigaciones Climáticas, 2018)<sup>5</sup>.

La evaluación del presupuesto del nivel del mar ayuda a cuantificar y comprender las causas de los cambios en el nivel de las aguas marinas. El cierre del presupuesto total del nivel del mar supone que los cambios observados en el nivel

medio del mar a escala mundial, determinados mediante altimetría por satélite, equivalen a la suma de las contribuciones observadas, desde los cambios en la masa de los océanos y la expansión térmica de los mismos (basadas en datos sobre temperatura y salinidad in situ, hasta una profundidad de 2 000 m, recopilados desde 2005 gracias al proyecto internacional Argo). Los cambios en la masa de los océanos pueden calcularse mediante gravimetría satelital (misión GRACE, desde 2002) o bien al sumar las contribuciones individuales procedentes de glaciares, mantos de hielo y depósitos terrestres de aguas (figura 8, derecha). La imposibilidad de cerrar el presupuesto del nivel del mar indicaría que hay errores en algunos de los componentes o que faltan las contribuciones de algunos componentes en el presupuesto.

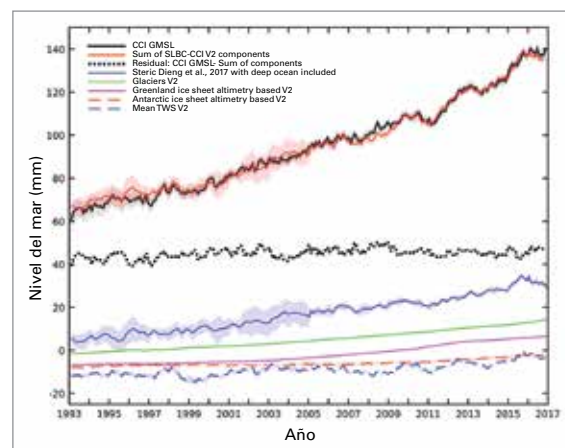
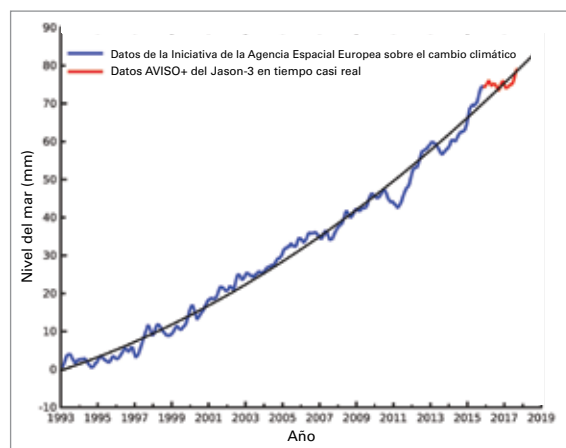
## ACIDIFICACIÓN DE LOS OCÉANOS

En el decenio pasado, los océanos absorbieron aproximadamente el 30 % de las emisiones antropógenas de CO<sub>2</sub>. El CO<sub>2</sub> absorbido reacciona con el agua marina y modifica su pH, dando lugar a un proceso denominado acidificación de los océanos. Las alteraciones del pH guardan relación con cambios en la química de los carbonatos oceánicos que pueden mermar la capacidad de los organismos marinos, como moluscos y corales que conforman arrecifes, para crear y mantener su caparazón y esqueleto. Por ese motivo es especialmente importante describir detalladamente los cambios en la química de los carbonatos oceánicos. Las observaciones realizadas en aguas oceánicas abiertas durante los últimos 30 años han puesto de manifiesto una clara tendencia hacia la reducción del pH (figura 9). En el Quinto Informe de Evaluación del IPCC se evidenció una disminución de 0,1 unidades del pH en la superficie del océano desde el inicio de la revolución industrial (1750). Sin embargo, las tendencias en emplazamientos costeros no son tan evidentes a causa del elevado dinamismo del entorno costero, donde gran variedad de factores, como los cambios en la temperatura, la

**Figura 8.** Izquierda: Nivel medio del mar a escala mundial durante el período 1993-2018 calculado mediante conjuntos de datos obtenidos a través de altimetría por satélite. La línea negra delgada representa una función cuadrática de la aceleración. Derecha: Contribución de componentes individuales al nivel medio del mar a escala mundial durante el período 1993-2016. Las zonas sombreadas en torno a las curvas rojas y azules representan el margen de incertidumbre. Fuente: Iniciativa de la Agencia Espacial Europea sobre el cambio climático

<sup>4</sup> Indicadores climáticos a escala mundial, <https://gcos.wmo.int/en/global-climate-indicators>.

<sup>5</sup> Grupo sobre el Presupuesto del Nivel del Mar Mundial del Programa Mundial de Investigaciones Climáticas, 2018: "Global sea-level budget 1993–present", en Earth Systems Science Data, 10:1551-1590.



escorrentía de agua dulce, el flujo de nutrientes, la actividad biológica y las grandes oscilaciones oceánicas, repercuten en las concentraciones de CO<sub>2</sub>. Para describir la variabilidad del proceso de acidificación de los océanos y determinar los aspectos que lo impulsan e inciden en él, es fundamental disponer de datos de observación con una elevada resolución temporal y espacial.

En consonancia con informes anteriores y previsiones sobre acidificación, prosigue la reducción en los niveles de pH de los océanos a escala mundial. Más datos para emplazamientos recientemente establecidos en Nueva Zelanda para la realización de observaciones muestran patrones análogos y, al mismo tiempo, resuelven importantes déficits en materia de datos sobre acidificación de los océanos del hemisferio sur. Aunque actualmente se dispone de cantidades limitadas de datos operativos, se espera que la metodología recién adoptada para el indicador 14.3.1 del Objetivo de Desarrollo Sostenible 14 de las Naciones Unidas ("Acidez media del mar (pH) medida en un conjunto convenido de estaciones de muestreo representativas") incrementará las observaciones relacionadas con el proceso de acidificación de los océanos a escala mundial.

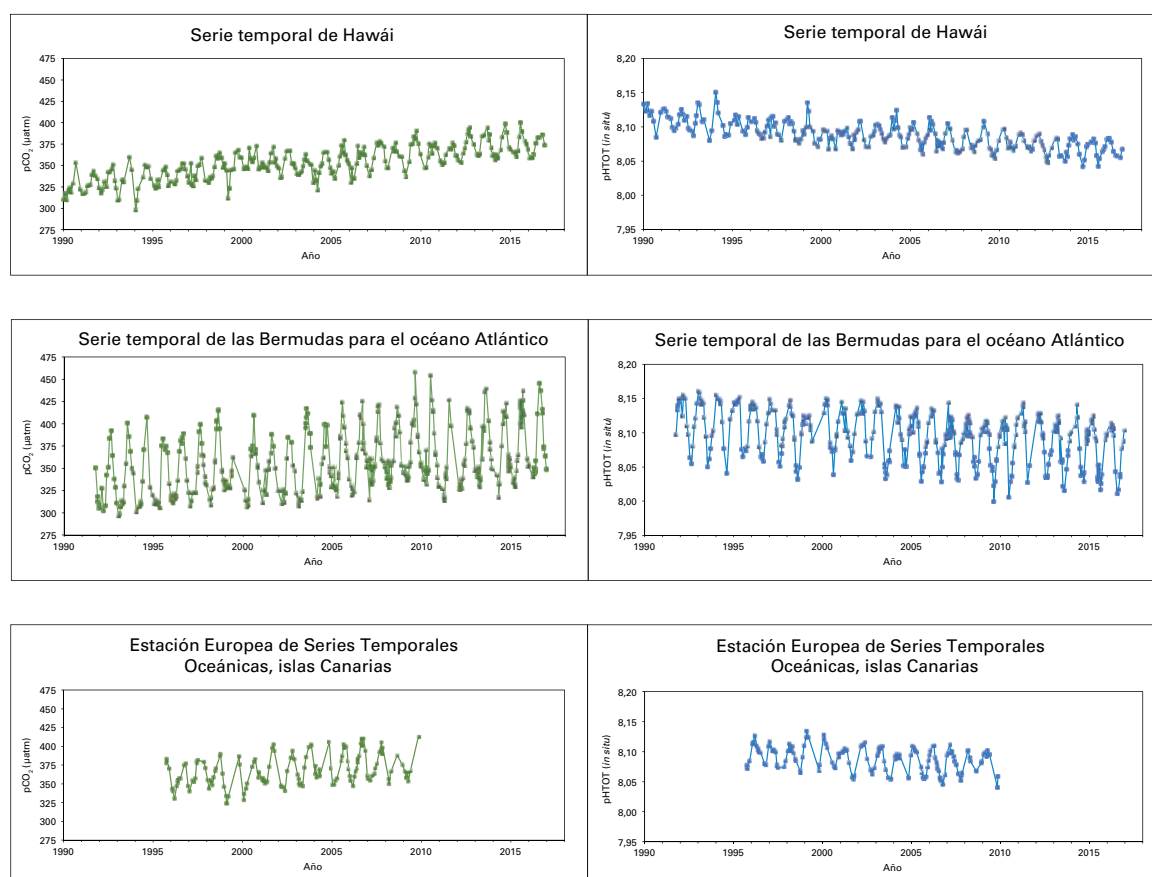
## CRIOSFERA

La criosfera, uno de los componentes del sistema Tierra, comprende la precipitación sólida, el

manto de nieve, el hielo marino, el hielo lacustre y fluvial, los glaciares, los casquetes de hielo, los mantos de hielo, el permafrost y el suelo congelado estacional. Aunque la criosfera proporciona indicadores fundamentales del cambio climático, es uno de los aspectos menos estudiados del sistema Tierra. Existen al menos 30 propiedades criosféricas que podrían medirse en una situación ideal. Muchas de las mediciones se realizan en la superficie, pero la cobertura espacial es deficiente en términos generales. Algunas de las mediciones se han realizado desde el espacio durante muchos años, y se está desarrollando la capacidad para medir otras propiedades desde satélites. Los principales elementos de la criosfera que son indicadores del estado del clima son los hielos marinos, los glaciares y los mantos de hielo de Groenlandia. En la presente sección también se incluye la evaluación del manto de nieve.

## HIELO MARINO

La extensión del hielo marino en el Ártico se situó muy por debajo de la media durante 2018 y se mantuvo en niveles bajos sin precedentes durante los dos primeros meses del año. Los máximos anuales se produjeron a mediados de marzo, y la extensión mensual registrada en ese mes se situó en 14,48 millones de km<sup>2</sup>, aproximadamente un 7 % por debajo de la media del período 1981-2010. Se trata de la tercera extensión más baja jamás registrada mediante observaciones satelitales en un mes de marzo del período 1979-2018, según



**Figura 9.** Registros de la presión parcial de CO<sub>2</sub> (pCO<sub>2</sub>) y pH de tres estaciones encargadas de la realización de observaciones del océano a largo plazo. Arriba: Serie temporal de Hawái para el océano Pacífico. Centro: Serie temporal de las Bermudas para el océano Atlántico. Abajo: "Estación Europea de Series Temporales del Océano, islas Canarias, en el océano Atlántico (Fuente: Richard Feely (Laboratorio del Medio Ambiente Marino del Pacífico de la NOAA) y Marine Lebrech (Centro Internacional de Coordinación sobre la Acidificación de los Océanos del Organismo Internacional de Energía Atómica)

datos del Centro Nacional de Datos sobre Nieve y Hielos (NSIDC) y del Servicio sobre el Cambio Climático del programa Copernicus (C3S). Solo se registraron extensiones inferiores en los meses de marzo de 2016 y de 2017.

Después de registrarse una extensión máxima inferior a la media, a finales de mayo la extensión del hielo marino fue la segunda más baja de la que se tienen datos, y se mantuvo entre los diez registros más bajos hasta finales de agosto. De forma similar a lo ocurrido en 2017, un persistente sistema de baja presión de gran intensidad situado sobre el Ártico contribuyó a inhibir la pérdida de hielo y a mantener las temperaturas por debajo de la media, en especial durante la última parte del verano. La extensión de hielo marino en el Ártico alcanzó su mínimo a mediados de septiembre. La extensión mensual de hielo marino en septiembre se situó en 5,45 millones de km<sup>2</sup>, aproximadamente un 28 % por debajo de la media, siendo ese valor el sexto más bajo para un mes de septiembre del que se tiene constancia (figura 10, izquierda). Desde 2007 se han sucedido las 12 extensiones más bajas registradas en un mes de septiembre. La capa de hielo marino fue particularmente escasa en la parte oriental de Siberia y en zonas septentrionales tanto del mar de Laptev como del mar de Chukchi. En la zona oriental del mar de Beaufort y al norte de los mares de Kara y Barents se observaron cubiertas de hielo marino cercanas a la media y superiores a ella.

Tras el valor mínimo de hielos marinos de septiembre, su extensión en el Ártico creció a un ritmo inferior a la media hasta mediados de octubre, cuando la expansión del hielo cobró velocidad hasta finales de noviembre. En diciembre el ritmo de expansión de los hielos se ralentizó de nuevo y, a finales de 2018, la extensión diaria de hielo se mantuvo cerca de los niveles más bajos jamás registrados.

La extensión del hielo marino en la región antártica también estuvo muy por debajo de la media durante 2018. La extensión mensual en enero fue la segunda más baja, y en febrero marcó un mínimo histórico. La extensión mínima anual se produjo a finales de febrero, y la media mensual de ese mes fue de 2,28 millones de km<sup>2</sup>, o sea, un 33 % inferior a la media que, en el conjunto de datos C3S, se considera un mínimo absoluto, y según datos del NSIDC, es el segundo valor más bajo. Las condiciones del hielo marino de la Antártida a finales del verano han presentado grandes variaciones durante diversos años, y fue hace poco, en 2008, cuando la extensión del hielo marino alcanzó un valor máximo sin precedentes. Durante los siete meses que van desde febrero hasta agosto, la extensión mensual estuvo entre las diez más bajas jamás registradas.

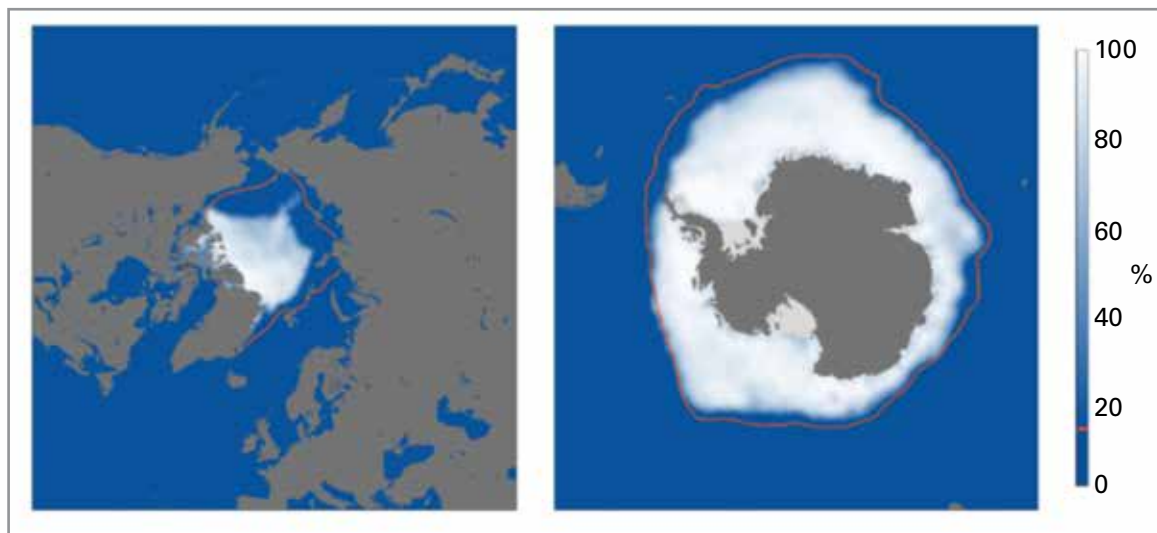
La extensión del hielo marino de la Antártida alcanzó su máximo anual a finales de septiembre y a principios de octubre. La extensión media mensual en el mes de septiembre fue de 17,82 millones de km<sup>2</sup>, un 4 % por debajo de la media, lo que supone el segundo registro más bajo según el conjunto de datos C3S, y la quinta extensión más reducida según datos del NSIDC (figura 10, derecha). En zonas del norte del mar de Weddell y del sur del océano Índico se observaron cubiertas de hielo inferiores a la media. Tras la extensión máxima registrada a principios de la primavera, el hielo marino de la Antártida menguó a gran velocidad, y los valores de las extensiones mensuales figuran entre los cinco registros más bajos para cada mes hasta finales de 2018. En los últimos días de ese año, la extensión diaria de hielo marino antártico alcanzó un valor mínimo récord.

## GROENLANDIA

A lo largo de los dos últimos decenios, prácticamente cada año se ha perdido masa en la capa de

**Figura 10.**

Concentración media de hielo marino (en %) del mes de septiembre de 2018 calculada mediante el análisis C3S (sombreado azul y blanco). La línea rosa muestra el borde de hielo climatológico del período 1981-2010. Fuente: Datos (ERA-Interim) del Servicio sobre el Cambio Climático del programa Copernicus del CEPMMF



# Balance de masa del manto de hielo antártico

Eric Rignot<sup>1</sup>, Michael Sparrow<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidad de California y Laboratorio de Retro-pulsión, Instituto de Tecnología de California

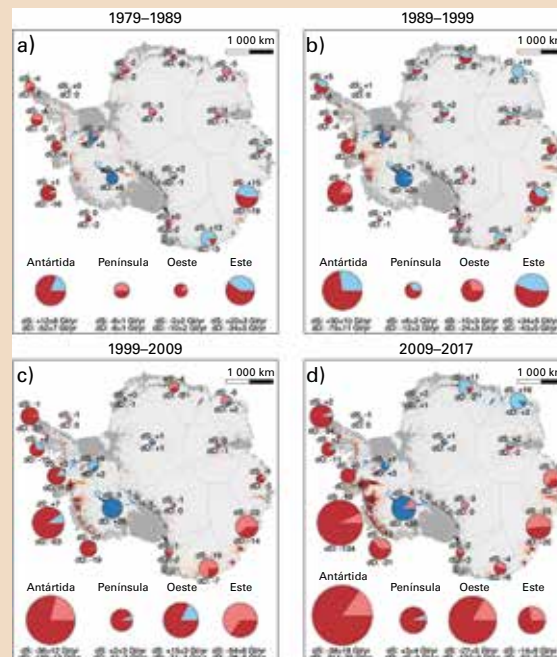
<sup>2</sup> Organización Meteorológica Mundial

La Antártida contiene un volumen de hielo equivalente a una subida de 57,2 m del nivel del mar<sup>1</sup>. Excluyendo las barreras de hielo, su ganancia neta anual de masa debida a las nevadas es de 2 100 Gt, lo que se traduciría en una fluctuación de 5,8 mm del nivel del mar en todo el mundo<sup>2</sup>. En un estado de equilibrio de la masa, la acumulación de nieve en el interior terrestre contrarrestaría la ablación de la superficie (transporte por viento y sublimación) y la descarga de hielo a lo largo de la periferia en el océano Austral. Casi la mitad del hielo continental que cruza la línea de contacto para formar plataformas de hielo flotantes se funde al entrar en contacto con el océano, mientras que la otra mitad se quiebra y se desprende en forma de icebergs<sup>3, 4</sup>.

Observaciones recientes han demostrado que el manto de hielo está perdiendo masa a lo largo de la periferia debido a la intensificación del flujo de sus glaciares, a un ritmo que ha ido aumentando con el tiempo, mientras que no se han producido cambios a largo plazo en la acumulación de nieve en el interior. En un estudio reciente<sup>5</sup> se ha evaluado el balance de masa del manto de hielo antártico durante las últimas cuatro décadas utilizando registros satelitales precisos e integrales y productos derivados de un modelo climático atmosférico regional para documentar su efecto en la elevación del nivel del mar. La causa fundamental de la pérdida de masa es el aumento del flujo de los glaciares en las zonas más cercanas a las aguas profundas circumpolares, cálidas, saladas y subsuperficiales, incluido el este de la Antártida, que ha sido una de las zonas con mayores pérdidas durante todo el periodo. Es probable que los mismos sectores incidan de forma determinante en la elevación del nivel del mar desde la Antártida en las próximas décadas, a medida que los vientos polares del oeste intensificados empujen más agua profunda circumpolar hacia los glaciares.

La pérdida total de masa de la Antártida ha aumentado de  $40 \pm 9$  Gt/año en el periodo de 11 años de 1979 a 1989 a  $50 \pm 14$  Gt/año en el periodo 1989–1999,  $166 \pm 18$  Gt/año en 1999–2009, y  $252 \pm 26$  Gt/año en 2009–2017, es decir, se ha sextuplicado (véase la figura).

Esta evolución de los glaciares y las barreras de hielo circundantes coincide con el fortalecimiento de los vientos del oeste debido al aumento de los niveles de gases de efecto invernadero y la destrucción del ozono, lo que provoca un mayor transporte de agua profunda circumpolar a la plataforma



Balance de la masa de hielo en la Antártida durante cuatro periodos: a) 1979–1989, b) 1989–1999, c) 1999–2009 y d) 2009–2017. El tamaño de los círculos es proporcional a la magnitud absoluta de la anomalía y los colores van del rojo (masa perdida) al azul (masa ganada). Fuente: véase la referencia 5

continental. La mayor intrusión de agua profunda circumpolar es la principal causa de la pérdida de masa en la ensenada del mar de Amundsen y en la península occidental. Rignot y otros sugieren que se está produciendo una situación similar en la tierra de Wilkes, donde urge un suministro continuo de datos oceanográficos nuevos. La evaluación del balance de la masa realizado por estos autores, combinada con estudios anteriores, sugiere que el sector entre las plataformas de Cook/Ninnis y las plataformas de hielo occidentales podría estar expuesto a las aguas profundas circumpolares y contribuir a un aumento del nivel del mar de varios metros si no se frena el calentamiento del clima.

<sup>1</sup> Fretwell, P., y otros, 2013: Bedmap2: improved ice bed, surface and thickness datasets for Antarctica. *Cryosphere*, 7:375–393

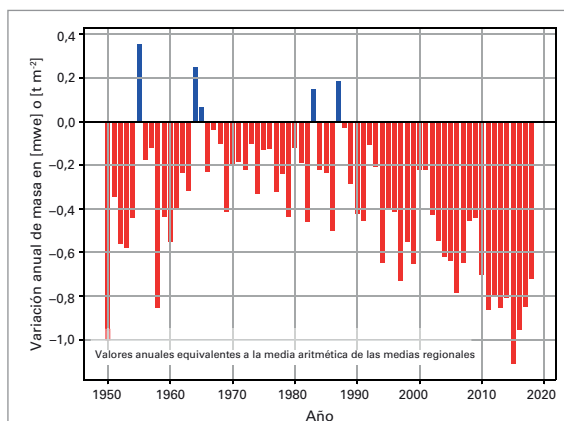
<sup>2</sup> van Wessem, J. M., y otros, 2018: Modelling the climate and surface mass balance of polar ice sheets using RACMO2 – Part 2: Antarctica (1979–2016). *Cryosphere*, 12:1479–1498.

<sup>3</sup> Rignot, E., S. Jacobs, J. Mouginot y B. Scheuchl, 2013: Ice-shelf melting around Antarctica. *Science*, 341:266–270.

<sup>4</sup> Liu, Y., J. C. Moore, X. Cheng, R. M. Gladstone, J. N. Bassis, H.-X. Liu, J.-H. Wen y F.-M. Hui, 2015: Ocean-driven thinning enhances iceberg calving and retreat of Antarctic ice shelves. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 112:3263–3268.

<sup>5</sup> Rignot, E., J. Mouginot, B. Scheuchl, M. van den Broeke, M. J. van Wessem y M. Morlighem, 2019: Four decades of Antarctic ice sheet mass balance from 1979–2017. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 116(4):1095–1103, <http://www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1812883116>.

**Figura 11.** Balance de masa anual de los glaciares de referencia que han sido objeto de mediciones glaciológicas ininterrumpidas durante más de 30 años. La unidad en la que se expresa el cambio de masa anual es el metro de equivalente en agua (mwe), que corresponde a toneladas por  $m^2$  ( $t\ m^{-2}$ ).  
Fuente: Servicio Mundial de Vigilancia de los Glaciares (2017, informe actualizado e informes anteriores), <https://wgms.ch/faqs/>



hielo de Groenlandia. El balance de masa superficial es una estimación preliminar de los cambios en el hielo de superficie y comprende aquellos componentes que contribuyen al incremento del hielo de superficie, incluida la precipitación, y los factores que explican la pérdida de hielo, como las escorrentías de deshielo, la evaporación y las pérdidas a causa del viento. Para calcular el balance final de la masa de hielo, deben considerarse también las pérdidas por flujo de hielo y desprendimiento al océano. Sin embargo, estas no se añaden al balance de masa superficial y, por tanto, dicho balance es superior al eventual cambio total en la masa.

En 2018, de forma análoga a lo sucedido en 2017, el balance de masa superficial se incrementó gracias a una caída de nieve superior a la media, en particular en la zona oriental de Groenlandia, y a una estación de deshielo cercana a la media. A pesar de un verano fresco marcado por la nieve, en julio y agosto se produjeron tres episodios de deshielo superficial, y durante cada uno de esos episodios se fundió más del 30 % de la superficie de la capa de hielo. En comparación con la media del período 1981-2010, se añadieron aproximadamente 150 gigatoneladas adicionales de masa a la capa de hielo, el sexto valor más elevado en el período de registro 1960-2018. Se trata del mayor incremento neto en el balance de masa superficial desde 1996, y el mayor registro de precipitación en forma de nieve desde 1972. Aunque en 2017 y 2018 se produjo un aumento del balance de masa superficial global, ello tan solo constituye una pequeña desviación con respecto a la tendencia observada en los dos últimos decenios, en la que se ha evidenciado, desde 2002, una pérdida de masa en la capa de hielo de Groenlandia de aproximadamente 3 600 gigatoneladas. En un estudio reciente también se analizaron testigos de hielo extraídos de Groenlandia, en los que quedó constancia de episodios de deshielo que se remontaban a mediados de 1500. El estudio permitió determinar que la intensidad a la que se suceden los episodios de deshielo en la capa

de hielo de Groenlandia es inédita en, por lo menos, los últimos 500 años.

## GLACIARES

El Servicio Mundial de Vigilancia de los Glaciares se sirve de un conjunto de glaciares de referencia a escala mundial para los que se han acumulado observaciones durante más de 30 años (entre 1950 y 2018) para supervisar el balance de masa de los glaciares. Se trata de un conjunto que abarca 19 regiones montañosas. Los resultados preliminares de 2018, basados en un subconjunto de esos glaciares, indican que el año hidrológico 2017/2018 fue el 31er año consecutivo de balance de masa negativo, al perder 0,7 metros de equivalente en agua (figura 11). La pérdida acumulada de hielo desde 1970 asciende 21,1 metros de equivalente en agua<sup>6</sup>.

Un verano cálido en partes de Europa, en el que se llegaron a registrar valores récord de calor en algunos lugares, provocó pérdidas masivas de hielo en numerosos glaciares alpinos. Las copiosas nevadas que se produjeron durante la temporada invernal de 2017/2018 ayudaron a proteger parcialmente los glaciares del calor veraniego. En abril y mayo, se midieron espesores máximos de nieve sin precedentes en muchos glaciares suizos. Sin embargo, durante los calurosos meses de verano la precipitación en forma de nieve fue muy escasa y ello, combinado con el tercer verano más cálido jamás registrado en Suiza, supuso la pérdida de una media de 1,5-2,0 metros de espesor en el hielo de los glaciares del país. Según la Comisión de Expertos sobre Redes de Medición Criosférica de la Academia Suiza de Ciencias, los glaciares del país han perdido una quinta parte de su volumen en los últimos diez años.

## MANTO DE NIEVE

Durante 2018, la extensión media del manto de nieve en el hemisferio norte fue de 25,64 millones de  $km^2$ . Esa cifra supuso un aumento de 0,77 millones de  $km^2$  con respecto a la media del período 1981-2010, y fue la decimotercera mayor extensión anual del manto de nieve desde que empezaron los registros satelitales en noviembre de 1966, un valor ligeramente inferior a la extensión registrada en 2017. Se observó un manto de nieve con gruesos superiores a la media durante la mayoría de los meses y, en cambio, tales gruesos fueron inferiores a la

<sup>6</sup> Esto representa la profundidad de agua que resultaría de distribuir el agua en forma líquida obtenida de la nieve y el hielo perdidos a lo largo de los últimos 48 años de manera uniforme en la superficie de los glaciares. Ello equivaldría a una columna de agua con una profundidad de 21,1 metros sobre cada  $m^2$  de glaciar.

media durante la última parte de la primavera y el verano. En general, las anomalías en el manto de nieve continental en América del Norte fueron mayores que las registradas en el manto de nieve de Euroasia.

No se dispone de registros comparables del manto de nieve del hemisferio sur, donde (salvo en la Antártida) la caída de nieve sobre tierra firme suele ser infrecuente fuera de las regiones de alta montaña. En las zonas altas de Nueva Gales del Sur y partes de Victoria (Australia), la estación de nieves empezó pronto en comparación con lo sucedido en años recientes, y a mediados de junio se produjeron intensas nevadas. En Spencers Creek (Nueva Gales del Sur), se registraron 73,6 cm de nieve a lo largo de un período de cinco días en junio, lo que supuso el mayor espesor de nieve desde el año 2000 en fechas tan tempranas de la estación de nieves. Numerosos frentes fríos y temperaturas inferiores a la media azotaron la región durante el resto de la estación invernal, y se produjo una acumulación de nieve prácticamente constante. La nieve siguió cayendo en cotas altas de las montañas de Nueva Gales del Sur, y se alcanzó un espesor máximo de 224,6 cm en Spencers Creek a finales de agosto, un valor ligeramente inferior al récord de 240,9 cm acumulados en septiembre de 2017. El espesor máximo de nieve superó la media a largo plazo, cifrada en 190 cm.

## MOTORES DE LA VARIABILIDAD INTERANUAL

Los registros históricos de presión y temperatura de la superficie del mar han permitido establecer determinadas pautas dominantes y recurrentes. Con frecuencia, se denominan “modos” de variabilidad, y describen condiciones imperantes en extensas áreas del mundo en períodos desde estacionales hasta anuales, e incluso superiores, o bien inciden en tales condiciones.

El fenómeno de El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) es uno de los impulsores más importantes de la variabilidad interanual en las pautas meteorológicas mundiales, así como en la temperatura mundial. El océano Pacífico también ejerce un efecto global en escalas temporales más prolongadas por conducto de la Oscilación Decenal del Pacífico. El dipolo del océano Índico, que guarda relación con cambios en el gradiente de temperatura de la superficie del mar en ese océano, influye tanto en las condiciones meteorológicas de la cuenca oceánica como en el monzón asiático. En el Atlántico Norte, los cambios lentos en la temperatura de la superficie del mar, conocidos como la Oscilación Multidecenal Atlántica, repercuten en el clima del conjunto de la cuenca, incluida la formación de huracanes. La

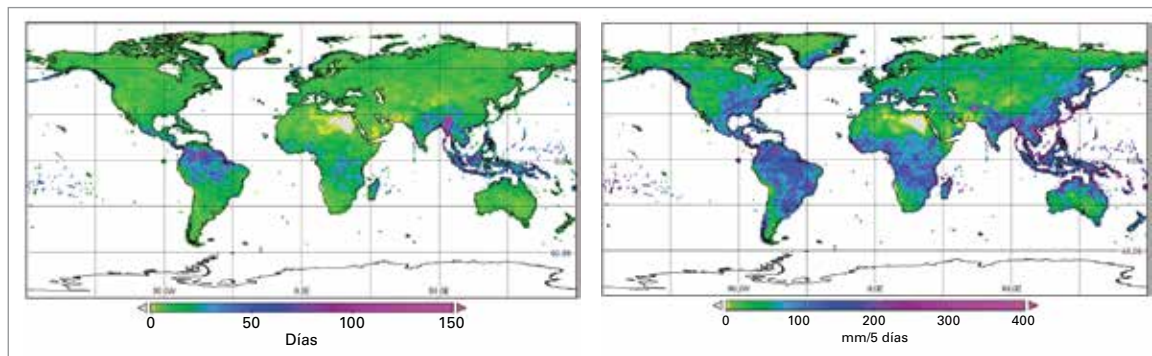
Oscilación del Ártico y la Oscilación del Atlántico Norte son modos que guardan una estrecha relación, al representar configuraciones de la circulación atmosférica en latitudes medias y altas del hemisferio norte. En las fases positivas de esos modos, la circulación del oeste se refuerza en latitudes medias. Por su parte, el modo negativo se asocia con un debilitamiento de la circulación. Los cambios en la Oscilación del Ártico y la Oscilación del Atlántico Norte se producen en todas las escalas temporales, de días a decenios. El hemisferio sur cuenta con un modo equivalente, denominado Oscilación Antártica, que a menudo también se conoce como Modo Anular del Sur.

A principios del año 2018 se dio un episodio débil de La Niña, siendo la temperatura de las aguas superficiales del Pacífico tropical inferior a la media. Dicho episodio se prolongó hasta marzo, cuando las temperaturas recuperaron valores casi normales. A finales del año, las temperaturas de las aguas superficiales en la zona oriental del Pacífico tropical subieron, un indicio de la reaparición del fenómeno de El Niño. Sin embargo, los parámetros atmosféricos no fueron los que suelen registrarse con un episodio de El Niño, y no se produjeron las formas de retroalimentación que caracterizan un episodio de ese tipo claramente desarrollado, como el debilitamiento en el Pacífico de los vientos alisios, el aumento de la nubosidad en la línea internacional de cambio de fecha o el debilitamiento del gradiente de presión en el Pacífico. Aunque la influencia de La Niña en las temperaturas medias anuales en el Pacífico fue escasa, las configuraciones de precipitación típicas asociadas con la variabilidad del ENOS, ya sea La Niña o El Niño, no fueron evidentes en 2018 (véase la sección sobre precipitación).

Desde finales del decenio de 1990 hasta aproximadamente 2014, la Oscilación Decenal del Pacífico se mantuvo en una fase predominantemente negativa. Se ha aducido que esa fase negativa explica la reducción provisional en la velocidad de aumento de la temperatura de superficie, mientras se siguió acumulando calor en los océanos a un ritmo constante. A lo largo de 2015 y 2016, la Oscilación Decenal del Pacífico fue positiva, pero en 2018 volvió a ser mayoritariamente negativa. En escalas temporales breves, resulta complicado diferenciar entre los efectos del ENOS y de la Oscilación Decenal del Pacífico.

Si bien el dipolo del océano Índico fue en gran parte negativo durante el primer semestre de 2018, entró en fase positiva en el período de septiembre a diciembre. Durante los meses de la primavera austral, un índice del dipolo del océano Índico positivo se vincula con

**Figura 12.** Izquierda: CWD en 2018. Derecha: RX5 en 2018. Fuente: Centro Mundial de Climatología de las Precipitaciones, Servicio Meteorológico de Alemania



condiciones más secas en las zonas central y meridional de Australia.

En 2018, los valores mensuales de la Oscilación del Atlántico Norte fueron marcadamente positivos, excepto en marzo y noviembre. En invierno, una Oscilación del Atlántico Norte positiva suele asociarse con condiciones cálidas y húmedas en Europa septentrional y con condiciones más secas y frescas más al sur. Por lo general, una Oscilación del Atlántico Norte negativa se vincula con condiciones más secas y frías en el norte de Europa. En marzo, un período de tiempo frío afectó a una zona que, partiendo del este del Reino Unido e Irlanda del Norte, atravesó Europa septentrional hasta llegar a Asia, mientras que, más al sur, las temperaturas estaban por encima de la media. Desde finales de octubre hasta diciembre, el Modo Anular del Sur fue positivo. En esa época del año, un Modo Anular del Sur positivo se asocia con una mayor probabilidad de que se produzcan precipitaciones superiores a la media en zonas de Australia oriental.

## PRECIPITACIÓN

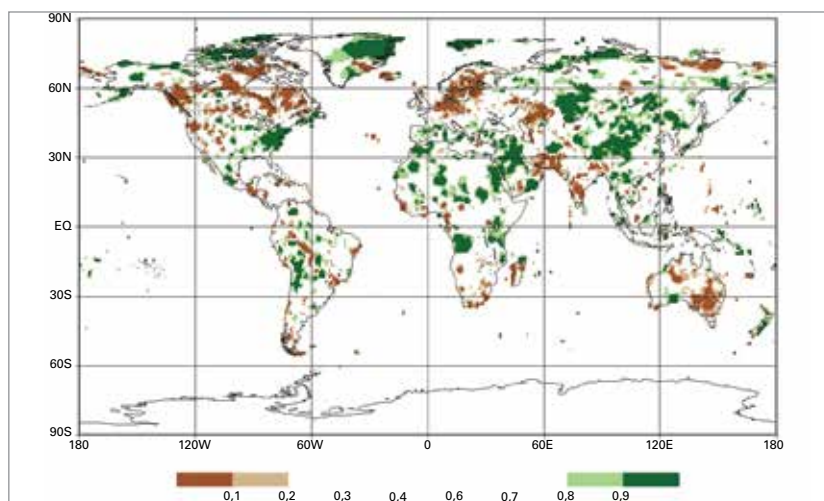
Aunque a principios de 2018 se dieron condiciones acordes con un episodio débil de La Niña, ulteriormente cambiaron para pasar a ser

neutras y no se produjeron los efectos habituales en la precipitación. Así pues, tuvieron lugar diversas crecidas en California, una zona en la que, durante episodios de La Niña, se espera que pase todo lo contrario.

A diferencia de otras importantes variables climáticas, no hay un único indicador que permita resumir de forma útil los cambios en la precipitación a nivel mundial. En realidad, algunos de los cambios previstos en la precipitación como consecuencia del cambio climático influyen en la frecuencia y la intensidad de la pluviosidad de tal manera que esas variables no pueden cuantificarse como es debido simplemente mediante medias mensuales o anuales. Por consiguiente, se han elaborado diversos índices que brindan esa información adicional. Una de esas unidades de medida es la cantidad de “días de lluvia consecutivos” (CWD), que indica el episodio más largo de días de ese tipo a lo largo de un período determinado (figura 12). Otra es “RX5”, que representa el valor máximo de precipitación total en cinco días.

Los períodos más largos de días de lluvia consecutivos tienen lugar durante el monzón indio y en la zona de convergencia intertropical (ZCIT) de América del Sur y el archipiélago malayo. Las regiones con días de precipitación intensa (precipitación diaria > 20 mm) se concentran en la ZCIT y están vinculadas con los monzones africano e indio, pero también con actividad tormentosa tropical, además de producirse a barlovento de montañas costeras de latitudes medias. Se trata, de media, de las regiones con el mayor RX5 (figura 12, derecha). Así, se acumularon más de 300 mm a lo largo de cinco días en puntos del Afganistán, un hecho que pone de manifiesto una serie de episodios registrados en mayo en los que una intensa pluviosidad causó crecidas repentinas y provocó víctimas mortales.

En 2018, en algunas regiones del África septentrional y oriental, la península arábiga, Asia central y suroriental y el archipiélago malayo, Australia suroccidental, Nueva Zelanda y la zona este de América del Norte se observaron

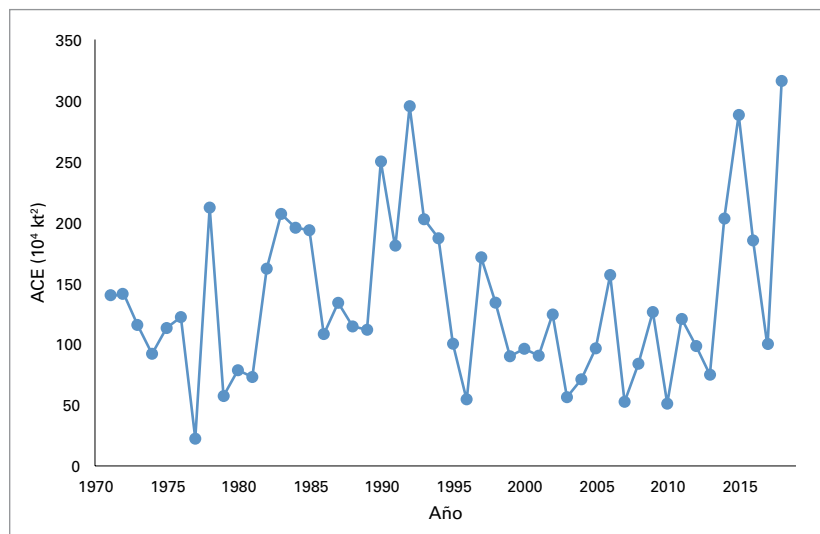


amplias anomalías positivas en la precipitación con respecto a la climatología del período 1951-2010 (figura 13); tales anomalías en algunos lugares se situaron por encima del percentil 90. También se registraron acumulados de lluvia por encima de la media en el Japón, el suroeste y sureste de Europa y algunos puntos de América del Sur, sin olvidar el episodio del Afganistán señalado con anterioridad. Asimismo, la precipitación también fue superior a la media en torno al océano Ártico.

En cambio, la precipitación fue inferior a lo normal —y en algunos casos quedó por debajo del percentil 10— en Australia central y oriental, la costa norte y este del mar Arábigo y el noreste del mar Caspio, así como también en algunos lugares de América Central y del Norte y en el sur de África. Se registraron déficits de precipitación en Europa central y septentrional y en la Argentina. En algunas de esas regiones también se observaron acumulados por debajo de lo normal en 2017, por ejemplo, en partes de África Meridional, Australia oriental o la zona septentrional de América del Norte.

En la India, el monzón de verano conllevó registros de precipitación inferiores a lo normal en los Ghats occidentales y en zonas orientales del Himalaya, pero la precipitación fue superior a lo normal en el Himalaya occidental. La pluviosidad en el conjunto de la India durante el período de junio a septiembre de 2018 fue aproximadamente un 9 % inferior a la media a largo plazo. Por su parte, el monzón africano trajo consigo precipitaciones superiores a lo normal que afectaron a la mayoría de las regiones y se extendieron hasta bien entrado el Sahel. Sin embargo, en una zona comprendida entre el Senegal y Côte d'Ivoire la precipitación fue inferior a lo normal.

Se produjeron episodios dignos de mención relacionados con intensas precipitaciones o con una pluviosidad continuada en la región comprendida entre el lago Victoria y las tierras altas de Etiopía; desde la costa oriental y septentrional del golfo de Bengala hasta la parte oriental del Himalaya a causa del monzón del verano indio; y en el sureste asiático como consecuencia de los reiterados episodios de tormentas tropicales. En la región del Mediterráneo septentrional tuvieron lugar muchos episodios de precipitación intensa. En Oriente Medio, episodios reiterados de fuertes precipitaciones ocasionaron diversas crecidas repentinas. En la Argentina, algunas regiones se vieron afectadas por condiciones de sequía mientras que, al mismo tiempo, otras sufrieron crecidas repentinas. Las inundaciones azotaron Europa central al inicio del año, pero esa misma región experimentó ulteriormente condiciones secas muy marcadas. En Islandia, Reikiavik vivió un año sumamente lluvioso, y



**Figura 14.** Energía ciclónica acumulada (ACE) en la cuenca oriental del Pacífico Norte en el período 1971–2018. Fuente: Universidad Estatal de Colorado

los 261 días de lluvia registrados supusieron un nuevo récord. Además, el mes de mayo de 2018 fue el más lluvioso desde que se tienen registros al multiplicar por tres la media registrada para ese período, dado que la lluvia hizo acto de presencia todos y cada uno de los días del mes. En noviembre, la ciudad registró su máximo histórico de pluviosidad total en dos días: 83,2 mm.

## FENÓMENOS EXTREMOS

### TORMENTAS TROPICALES

La temporada de ciclones tropicales en el hemisferio norte fue bastante activa en 2018. Se superó la media de ciclones tropicales en las cuatro cuencas de ese hemisferio. En ese año se produjeron 74 ciclones en el hemisferio norte, una cifra que supera con creces la media a largo plazo de 63. La actividad fue especialmente destacada en la cuenca del Pacífico noreste, y la energía ciclónica acumulada<sup>7</sup> alcanzó los 316 kt<sup>2</sup>, el valor más elevado desde que existen registros satelitales fiables (figura 14). La actividad en el hemisferio sur en la temporada 2017/2018 fue, con 22 ciclones, cercana a la media.

Dos de los ciclones tropicales más intensos del año fueron Mangkhut (Ompong) y Yutu (Rosita), ambos en el Pacífico noroccidental. Mangkhut (Ompong) cruzó el norte de Filipinas a mediados de septiembre y luego pasó al sur de Hong Kong (China) antes de tocar tierra en la provincia china de Guangdong. Afectó a más de 2,4 millones de personas. Según el Departamento de Agricultura de Filipinas, el ciclón provocó daños

<sup>7</sup> El índice de energía ciclónica acumulada combina la intensidad y el ciclo de vida de cada ciclón para brindar una medición de la actividad global.

en más de 550 000 hectáreas de suelo agrícola y ocasionó cuantiosas pérdidas en la agricultura. Se contabilizaron 134 víctimas mortales, 127 de las cuales en Filipinas. En el puerto de Victoria de Hong Kong (China), se produjo una marea de tempestad de 2,35 metros, que fue la más elevada jamás registrada. En octubre, Yutu (Rosita) atravesó las Islas Marianas por el norte prácticamente con su máxima intensidad y provocó graves daños en esa región.

Jebi, que tocó tierra cerca de Kobe el 4 de septiembre, fue el ciclón que llegó a tierra japonesa con mayor intensidad desde 1993. Las inundaciones fluviales y por marea de tempestad fueron generalizadas, y gran parte del aeropuerto internacional de Kansai (cerca de Osaka) quedó anegado. En julio, Son-Tinh provocó amplias inundaciones en Viet Nam y también en la República Democrática Popular Lao, donde contribuyó a la rotura de una presa que provocó al menos 55 víctimas mortales. A finales de agosto, Soulik atravesó la península de Corea, y con su paso contribuyó a que se produjeran graves inundaciones en la República Popular Democrática de Corea que ocasionaron por lo menos 86 víctimas mortales. Al final del año, la depresión tropical Usman azotó la parte central de Filipinas el 29 de diciembre y causó lluvias fuertes y deslizamientos de tierra.

En 2018, dos huracanes de primer orden tocaron tierra en territorio continental de los Estados Unidos, y se estima que los daños combinados de ambos fenómenos ascendieron a unos 49 000 millones de dólares de los Estados Unidos. Florence se debilitó, pasando de la categoría 4 a 1 antes de llegar a tierra en Carolina del Norte en septiembre, pero, con todo, provocó precipitaciones extremas e inundaciones significativas, especialmente en las regiones costeras. En octubre, Michael tocó tierra en Mexico Beach (Florida) como sistema de categoría 4 con una presión central de 919 hPa (estimación provisional), la llegada a tierra más intensa de la que se tiene constancia en esa región y la llegada a territorio continental de los Estados Unidos más intensa por lo menos desde 1992. Ese huracán ocasionó daños por vientos fuertes y mareas de tempestad. En los Estados Unidos, Florence provocó un mínimo de 53 víctimas mortales y Michael 49.

En el Pacífico oriental y central, tres huracanes alcanzaron la categoría 5 en 2018: Lane, Walaka y Willa. Las consecuencias más graves las acarrió Lane, que se aproximó a Hawái (aunque con una intensidad muy inferior a la máxima) y provocó precipitaciones extremadamente intensas: del 22 al 26 de agosto se registraron 1 321 mm de lluvia en 96 horas en Mountain View, en la isla de Hawái, el mayor acumulado de lluvia por un ciclón tropical en ese estado del que se tiene

registro, y el segundo mayor acumulado en el conjunto de los Estados Unidos tras Harvey en 2017. Anteriormente, ese mismo año, en un episodio no vinculado con un ciclón tropical, el 14 y 15 de abril se recogieron en Hanalei, en la costa norte de Kauai, 1 262 mm en 24 horas, un nuevo récord en los Estados Unidos.

Tres de los cinco ciclones formados en el océano Índico norte afectaron al Yemen: Sagar y Mekunu en mayo, y Luban en octubre. El más intenso de ellos fue Mekunu, que tocó tierra cerca de Salalah (Omán) a finales de mayo. Murieron por lo menos 24 personas, la mayoría en la isla de Socotra. Titli llegó a tierra el 11 de octubre en Andhra Pradesh, en la costa oriental de la India, y provocó un mínimo de 85 víctimas mortales, la mayoría como consecuencia de inundaciones.

Dos ciclones tropicales azotaron la costa oriental de Madagascar a principios de 2018: Ava en enero y Eliakim en marzo. Ambos llegaron a pasar muy cerca de la costa y estuvieron vinculados con importantes inundaciones. En ambos casos ocasionaron, además, un número elevado de víctimas mortales. En algunos momentos de principios de 2018, en La Reunión se produjeron lluvias extremadamente intensas asociadas con ciclones tropicales, con un total diario de 847,5 mm en Grand Coude el 18 de enero durante el ciclón tropical Berguita, y un total por hora de 176 mm en Sainte-Rose el 24 de abril durante el ciclón tropical Fakir; este último fenómeno supuso el mayor acumulado por hora registrado en una estación automática en el territorio.

En febrero de 2018, en el Pacífico Sur, Gita fue el ciclón tropical más intenso que jamás afectó a Tonga, al pasar a unos 30 km al sur de Tongatapu, la isla con mayor densidad de población. Fue la tormenta que entrañó más costos en la historia del país y, también, produjo daños importantes en Samoa (Samoa Americana) y en islas adyacentes de Fiji.

## INUNDACIONES, LLUVIAS EXTREMAS Y TORMENTAS EXTRATROPICALES

Como consecuencia de las persistentes e intensas lluvias monzónicas, en agosto tuvieron lugar graves inundaciones en el estado de Kerala, en el suroeste de la India, y se consideraron las peores desde 1924. Ese mes, la precipitación registrada en ese estado fue un 96 % superior a la media a largo plazo, y los acumulados semanales durante los períodos del 9 al 15 de agosto y del 16 al 22 de agosto estuvieron, respectivamente, un 258 % y un 218 % por encima de la media. En Nilambar se registraron 400 mm el 9 de agosto, y en dos días, el 15 y el 16 de agosto, la acumulación fue de 620 mm en Peermade To. Se contabilizaron 223 víctimas mortales y, según los informes de la Autoridad Nacional de Gestión

de Desastres, más de 1,4 millones de personas tuvieron que ser alojadas en campamentos de socorro, y más de 5,4 millones de personas se vieron afectadas de algún modo. Se estima que las pérdidas económicas totales ascendieron a 4 300 millones de dólares.

Gran parte del oeste del Japón sufrió inundaciones destructivas a finales de junio y principios de julio como consecuencia de las lluvias persistentes ocasionadas por un frente bai-u prácticamente estacionario. Los acumulados totales en Yanase, en la isla de Shikoku, alcanzaron 1 025 mm en 48 horas coincidiendo con la máxima intensidad del sistema, y del 28 de junio al 8 de julio se llegó a un total de 1 853 mm. En conjunto, se registraron por lo menos 245 víctimas mortales y 6 767 casas fueron destruidas.

En septiembre se produjeron importantes inundaciones en zonas del río Níger y sus afluentes, en particular en la parte norte y central de Nigeria y el Níger, alimentadas por las intensas lluvias que tuvieron lugar a partir de finales de agosto. Por lo general, los picos de las crecidas fueron inferiores a los observados en 2012, pero sus consecuencias siguieron siendo muy importantes: 200 víctimas mortales y 561 000 desplazados internos.

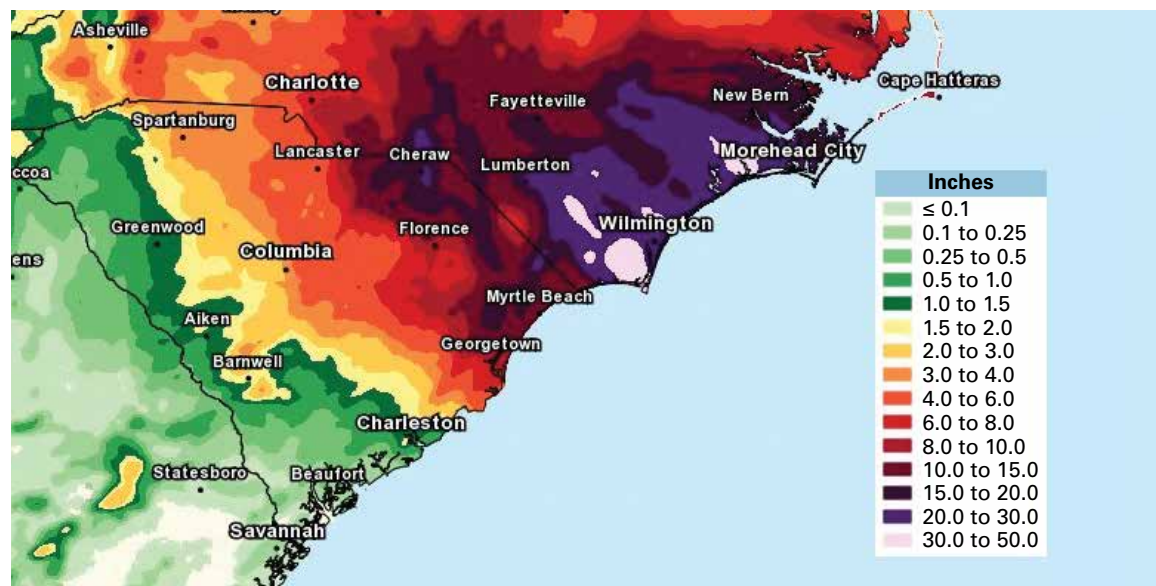
En marzo y abril hubo inundaciones en numerosas zonas de África oriental. Entre los países afectados figuraron Kenya y Somalia, que anteriormente habían sufrido una grave sequía, Etiopía y el norte y el centro de la República Unida de Tanzania. La pluviosidad de marzo a mayo fue, como mínimo, el doble de la media en la mayor parte de Kenya y la zona septentrional de la República Unida de Tanzania. En Kenya se atribuyeron a las inundaciones, como mínimo, 87 víctimas mortales, mientras que en la República Unida de Tanzania esa cifra se situó en 14.

Intensas lluvias y crecidas repentinas afectaron a diversas partes de Oriente Medio a finales de octubre y noviembre. En cuanto a las precipitaciones, cabe destacar los 84 mm acumulados en 6 horas en Abu Hamour (Qatar) el 20 de octubre, los 102,8 mm registrados en 24 horas en Fuyaira (Emiratos Árabes Unidos) el 28 de octubre, y los 49,2 mm que cayeron en 24 horas en el aeropuerto de Kuwait el 9 de noviembre. Se notificaron crecidas repentinas con víctimas mortales en Jordania a finales de octubre y el 9 y 10 de noviembre, así como también en el Iraq del 2 al 25 de noviembre.

## OLAS DE CALOR Y SEQUÍAS

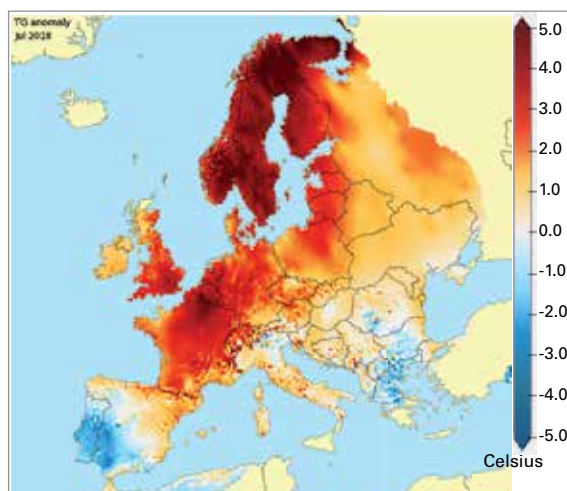
Amplias zonas de Europa experimentaron niveles de calor y una sequía excepcionales a finales de la primavera y en el verano de 2018. A partir del mes de abril, en gran parte de Europa septentrional y occidental las temperaturas estuvieron muy por encima de la media, al contrario que las precipitaciones, muy inferiores a la media.

Algunas de las condiciones más anómalas afectaron al norte de Europa de mayo a julio. Ese período fue el más seco y cálido del que se tiene constancia en numerosos puntos del centro y sur de Escandinavia y Finlandia; la pluviosidad de mayo a julio en Lund, en el sur de Suecia —que cuenta con observaciones que se remontan a 1748— equivalió solo a aproximadamente la mitad del último mínimo histórico registrado. Dinamarca vivió su verano más cálido y el período de mayo a julio más seco del que se tienen datos, y Noruega y Finlandia tuvieron los meses de julio más calurosos jamás registrados. Esas condiciones culminaron en una prolongada ola de calor a finales de julio y principios de agosto, caracterizada por numerosos récords de calor al norte del círculo polar ártico y largas series sin precedentes de temperaturas cálidas, incluidos 25 días



**Figura 15.** Energía ciclónica acumulada (ACE) en la cuenca oriental del Pacífico Norte en el período 1971–2018. Fuente: Universidad Estatal de Colorado

**Figure 16.** En Europa se sucedieron las temperaturas elevadas durante muchos meses en 2018, como se aprecia en este gráfico del mes de julio. Fuente: Servicio sobre el Cambio Climático del programa Copernicus



consecutivos con temperaturas superiores a 25 °C en Helsinki-Vantaa (Finlandia) y 8 días consecutivos con temperaturas por encima de los 30 °C en Lääne-Nigula (Estonia). Las noches cálidas y la elevada humedad también fueron la tónica en ese período, y a ese respecto cabe destacar registros como las siete noches consecutivas con temperaturas por encima de los 20 °C en Riga (Letonia), y un récord nacional establecido el 1 de agosto en Karlskrona (Suecia) al registrarse un punto de rocío de 24,8 °C. También fue un período excepcionalmente cálido y seco en el Reino Unido e Irlanda.

Las condiciones de esas regiones se moderaron a partir de mediados de agosto, pero siguieron siendo inusualmente cálidas y secas más al sur. La sequía fue especialmente persistente en Alemania (donde el período de abril a septiembre fue el segundo más seco del que se tienen datos, provocando importantes pérdidas en la producción agrícola) y en el este de Suiza (donde se vivió el período de abril a noviembre más seco jamás registrado). El oeste de Polonia, Chequia (con el período de enero a agosto más seco del que se tiene constancia), los Países Bajos y el noreste de Francia también fueron algunas de las zonas afectadas. Letonia experimentó el año más seco del que se tiene constancia (un 29 % por debajo de la media) y Chequia, el segundo (un 24 % por debajo de la media), mientras que más al norte, Estocolmo tuvo su año más seco desde 1892. En Uccle, cerca de Bruselas, se vivió el segundo año más seco del que se tienen datos (un 25 % por debajo de la media).

La ola de calor más significativa en Europa central tuvo lugar a finales de julio y principios de agosto; en Francia, su duración fue similar a la de la ola de calor de 2003, pero la intensidad fue menor; con todo, se contabilizaron 1 500 muertes adicionales. En Alemania, algunos puntos de la zona de Fráncfort tuvieron 18 días consecutivos con temperaturas por encima de los 30 °C del 23 de julio al 9 de agosto. Más al suroeste, una breve

ola de calor, aunque de gran intensidad, afectó a España y Portugal a principios de agosto. En Portugal, el 4 de agosto fue el día más caluroso vivido en el país durante el siglo XXI, y el 40 % de las estaciones registraron valores récord, incluida la de Lisboa – Gago Coutinho (44,0 °C). Según se desprende de los registros, Armenia experimentó su mes de julio más cálido, y en Ereván se registraron 43,7 °C, la temperatura más alta en ese país de la que se tengan datos.

Los incendios forestales alcanzaron una extensión sin precedentes en Suecia, al calcinarse más de 25 000 hectáreas, y Letonia, Noruega, Alemania, el Reino Unido e Irlanda sufrieron una inusual ola de incendios forestales. Las condiciones secas también entrañaron caudales muy reducidos en algunos ríos de Europa central, y a ese respecto cabe destacar el Rin, cuyo caudal se acercó a su mínimo a mediados de octubre, antes de experimentar una ligera recuperación durante el mes de diciembre. Esas circunstancias alteraron gravemente el transporte fluvial y supusieron una disminución del 20 % al 25 % en el tonelaje de mercancías transportadas con respecto a 2017. El transporte fluvial también se vio trastocado en la parte serbia del Danubio.

Una importante sequía azotó Australia oriental durante 2018. El área más ampliamente afectada fue la zona interior del este de Australia, en particular en Nueva Gales del Sur y el sur de Queensland, dado que en gran parte de la región la pluviosidad fue inferior a la mitad del promedio del período de enero a septiembre. En la cuenca del Murray-Darling, la precipitación acumulada de enero a septiembre fue la menor desde 1902. Las condiciones anormalmente secas también llegaron a zonas costeras del este de Victoria, donde se produjo el segundo año más seco de forma consecutiva, y a la costa oriental alrededor de Sídney y al sur de esa ciudad. En gran parte de la zona meridional del interior de Queensland, así como al noroeste de Victoria y al sur de la zona interior de Nueva Gales del Sur, la precipitación se situó muy por debajo de la media durante la mayor parte del período iniciado a comienzos de 2012; solo las intensas lluvias del invierno y la primavera de 2016 pusieron un breve paréntesis a esas condiciones secas. Asimismo, el centro de Australia vivió un año seco incluso para sus estándares habituales, y cabe destacar los 160 días consecutivos sin lluvia que se produjeron en Alice Springs. Esas condiciones secas llegaron a partes de Indonesia a mediados de año, y entre julio y octubre una grave sequía afectó a la isla de Java antes de que los valores de precipitación volvieran a estar cerca de la media a partir de noviembre.

La sequía afectó considerablemente al Afganistán, dado que la escasa pluviosidad de principios de año tuvo una notable incidencia en la plantación de los cultivos, aunque algunas zonas del país se vieron afectadas por intensas lluvias en mayo. En la zona occidental del Pakistán persistió una prolongada sequía, y la precipitación en Baluchistán fue por lo menos un 28 % inferior a la media en cada uno de los cinco años de 2014 a 2018. El año 2018 fue especialmente seco —un 62 % por debajo de la media—, en concreto el cuarto más seco desde que se empezaron a contabilizar registros regionales en 1961. También se notificaron condiciones de sequía en partes del Irán. A finales de 2017 y principios de 2018, una grave sequía afectó al Uruguay y al norte y centro de la Argentina, y su máxima intensidad se concentró en el período de octubre de 2017 a marzo de 2018. Durante el período de seis meses, la precipitación en las cinco provincias argentinas más afectadas (Entre Ríos, Santa Fe, Córdoba, Buenos Aires y La Pampa) fue un 43 % inferior a la media de 1981-2010, el porcentaje más bajo jamás registrado, mientras que algunos puntos concretos experimentaron su período de octubre a marzo más seco del que se tienen datos, incluidas las ciudades de Buenos Aires (364,7 mm) y Córdoba (329,2 mm). La sequía se atenuó hacia el mes de abril, y mayo fue el mes más lluvioso en la Argentina desde que se tienen registros. Como consecuencia de las condiciones secas, las pérdidas en los cultivos estivales, en especial de soja y maíz, fueron cuantiosas, y se estima que las pérdidas en la agricultura ascendieron a 5 900 millones de dólares. En meses posteriores de ese año, un diciembre seco propició pérdidas en los cultivos de soja en el estado de Paraná (Brasil) que se estimaron en el 30 %.

Una histórica ola de calor de gran intensidad castigó partes de Asia oriental a finales de julio y comienzos de agosto. El Japón fue el lugar más afectado, después de las graves inundaciones que tuvieron lugar a principios de mes. El 23 de julio se estableció un récord nacional en Kumagaya al registrarse 41,1 °C. En total, en el Japón se atribuyeron 153 víctimas mortales al calor. Fue el verano más caluroso del que se tienen datos en el Japón oriental. Asimismo, la península de Corea se vio sumamente afectada, dado que también se estableció un nuevo récord nacional en la República de Corea (41,0 °C en Hongcheon el 1 de agosto), así como un récord en la ciudad de Seúl (39,6 °C), sin olvidar las enfermedades provocadas por el calor y las pérdidas en la agricultura declaradas en la República Popular Democrática de Corea.

Las olas de calor hostigaron América del Norte durante el verano de 2018. Las consecuencias más significativas se produjeron en el Canadá

oriental, región que experimentó el período de calor más prolongado e intenso en años. Temperaturas superiores a los 35 °C, combinadas con puntos de rocío de entre 20 °C y 25 °C, afectaron a Montreal a principios de julio. Al mismo tiempo, en otras partes del sur de Quebec y del este de Ontario también se experimentaron condiciones extremas. En Montreal se estableció un récord al tener cinco días consecutivos con temperaturas de 33 °C o superiores. En el conjunto de Quebec se produjeron 86 muertes adicionales, que se atribuyeron a la ola de calor<sup>8</sup>. En fechas posteriores del verano, Calgary vivió el día más caluroso desde que se tienen registros, al alcanzar 36,5 °C el 10 de agosto.

A finales de junio y principios de julio, en muchas partes de Oriente Medio y del Norte de África las temperaturas fueron excepcionalmente elevadas. El 26 de junio, la temperatura nocturna más baja registrada en Quriyat (Omán) fue de 42,6 °C, una de las temperaturas mínimas más elevadas de las que se tiene constancia en todo el mundo. A principios de julio, el calor se extendió al Norte de África, y se establecieron diversos valores máximos sin precedentes en varios puntos de Argelia, el mayor de los cuales correspondió a los 51,3 °C registrados en Ouargla, un nuevo récord nacional.

## FRÍO Y NIEVE

Una de las olas de frío más importantes de los últimos años afectó a Europa a finales de febrero y comienzos de marzo. Las condiciones frías se instauraron inicialmente en el noreste de Europa a finales de febrero, y en Estonia el período del 21 al 28 de febrero fue el segundo más frío del que se tienen datos. En Irlanda y el sur de Francia la nieve hizo acto de presencia de forma inusual, al dejar espesores de 15 a 30 cm alrededor de Nîmes y Montpellier, y lo mismo sucedió en el sur de Italia, en las inmediaciones de Nápoles, mientras que en algunos puntos de Irlanda oriental se acumularon más de 50 cm de nieve. También se produjeron precipitaciones inusualmente intensas en forma de nieve en cotas elevadas de Argelia. Se produjo, asimismo, un infrecuente fenómeno de lluvia engelante en Portugal. En Tredegar (Gales) se registró una temperatura máxima de -4,7 °C el 1 de marzo, que supuso un récord para ese mes en el Reino Unido.

Algo antes, ese invierno, tuvieron lugar nevadas excepcionales en algunas zonas desérticas

<sup>8</sup> Lebel, G., M. Dubé y R. Bustinza, 2019: « Surveillance des impacts des vagues de chaleur extrême sur la santé au Québec à l'été 2018 ». Instituto Nacional de la Salud Pública de Quebec, Bulletin d'information en santé environnementale (en imprenta).

de Marruecos, entre las que cabe destacar el episodio de Zagora, donde el 30 de enero nevó por primera vez desde 1960. Las condiciones húmedas del invierno generaron acumulaciones de nieve muy importantes en cotas altas de los Alpes europeos, y en Arosa (Suiza) cayeron 530 cm de nieve en el conjunto de la estación, la segunda acumulación estacional más elevada de los últimos 50 años.

En el África Meridional, en Lesotho, se produjo un episodio inusual de nevadas a mediados de agosto en el que se acumularon entre 5 y 30 cm de nieve en la nación. Los mayores espesores totales se concentraron en las montañas Maluti. Recientemente, en 2016, ya se produjeron nevadas intensas en Lesotho, pero ese tipo de precipitaciones solían ser episodios invernales más habituales en el pasado, que se observaban en la mayoría de los inviernos del siglo XIX y la primera mitad del siglo XX.

En enero, una ola de frío afectó a partes del subcontinente indio. Entre el 3 y el 13 de enero se produjeron 135 víctimas mortales, que se atribuyeron a las bajas temperaturas en Uttar Pradesh.

En América del Sur, dos episodios de nevadas poco frecuentes tuvieron lugar en diversas partes del continente. En junio, un intenso frente frío trajo la nieve al distrito central de Santiago (Chile). El sistema tormentoso también hizo bajar los termómetros hasta -14 °C en partes del Estado Plurinacional de Bolivia, y espesores de hasta 40 cm blanquearon grandes extensiones del Perú. En agosto, un insólito episodio de nevadas afectó a partes del Uruguay cuando un potente frente frío atravesó la región y llevó la nieve al sureste del país. Además, la nieve granulada (nieve con un frágil recubrimiento de hielo, en ocasiones denominada granizo blando) hizo acto de presencia en la Argentina.

## INCENDIOS FORESTALES

Grandes incendios forestales devastaron la región circundante de Atenas el 23 de julio. Su rápida propagación se debió a los fuertes vientos, inusuales para esa época del año, con ráfagas máximas de 124 km/h al norte de Atenas. Causaron, al menos, 99 víctimas mortales, el peor balance de muertes provocadas por un incendio en todo el mundo desde los fuegos del sábado negro de 2009 en Australia.

El 8 de noviembre se declaró en los Estados Unidos un incendio forestal, alimentado por vientos fuertes en un contexto de condiciones secas persistentes, que se propagó por la localidad de Paradise y zonas adyacentes de California. El fuego devastó la mayor parte de la ciudad,

se contabilizaron 85 víctimas mortales —la pérdida de vidas humanas más importante a causa de un incendio forestal en los Estados Unidos desde hace más de 100 años— y más de 18 000 estructuras fueron destruidas.

También se produjeron importantes incendios en California en julio y agosto. El incendio del Complejo Mendocino fue el mayor en la historia de California, al afectar a una superficie total de 185 800 hectáreas, mientras que el incendio de Carr supuso la destrucción de 1 604 estructuras, 8 víctimas mortales y pérdidas aseguradas por valor de 1 500 millones de dólares, siendo Redding la ciudad más afectada. La zona occidental del Canadá también sufrió una devastadora temporada de incendios. En la Columbia Británica se batió su récord de mayor superficie quemada en una temporada de incendios por segundo año consecutivo al registrarse un total de 1,35 millones de hectáreas quemadas. Las pérdidas materiales fueron modestas, si se tiene en cuenta la magnitud de los incendios, y no se registraron víctimas mortales, pero las intensas columnas de humo afectaron al interior de la provincia y ciudades de la costa oeste, como Vancouver y Seattle, durante períodos prolongados. Las pérdidas totales por la temporada de incendios forestales de 2018 en los Estados Unidos se estimaron en 24 000 millones de dólares, una cifra sin precedentes para cualquier temporada.

## TORMENTAS VIOLENTAS

El ventarrón más importante que se produjo en Europa durante el invierno 2017/2018 fue Friederike (conocido como David en Francia). Del 17 al 19 de enero, este sistema de baja presión cruzó Irlanda y el Reino Unido antes de atravesar los Países Bajos, el norte de Alemania y Polonia. Las consecuencias más notables de la tormenta se manifestaron en Alemania. Las ráfagas de viento alcanzaron los 203 km/h en el Brocken (el valor más elevado desde 1990) y superaron los 140 km/h en algunos puntos de baja altitud. Las repercusiones también fueron destacadas en los Países Bajos (se cerró el aeropuerto de Ámsterdam) y Bélgica. Se atribuyeron 13 víctimas mortales al ventarrón.

Una tormenta con características análogas a las de un ciclón tropical cruzó el Mediterráneo oriental a finales de septiembre. En las primeras fases del sistema, se produjeron lluvias fuertes y crecidas repentinas en Túnez y Libia, y en Nabeul (Túnez) se acumularon 205 mm de lluvia en 24 horas. Ulteriormente, la tormenta se intensificó a medida que se desplazaba hacia el este y tocó tierra en la zona occidental de Grecia el 29 de septiembre, con una presión

de tan solo 989 hPa, provocando daños generalizados en la zona.

La temporada de fenómenos meteorológicos extremos en los Estados Unidos presentó niveles de actividad inferiores a la media: hasta finales de noviembre se contabilizaron 1 102 tornados, una cifra aproximadamente un 10 % inferior a la media del período 1991-2010. El año 2018 fue el primero desde 1950, cuando empezaron a mantenerse registros exhaustivos, sin tornados confirmados de intensidad 4 o 5 en la escala de Fujita mejorada. Sin embargo, el 6 de junio la región de Dallas-Fort Worth se vio afectada por tempestades de granizo con gran poder destructivo, y el 18 y 19 de junio asolaron el corredor Denver-Boulder-Fort Collins, generando daños que se estimaron en 1 300 y en 2 200 millones de dólares, respectivamente.

A finales de octubre, un intenso sistema de baja presión formado en el Mediterráneo provocó inundaciones y vientos fuertes en diversos países, siendo Italia el más castigado. Las ráfagas de viento máximas del 29 de octubre llegaron a 179 km/h en el monte Cimone, mientras que en Kredarica (Eslovenia) se registró una racha de 161 km/h. También se produjeron precipitaciones extremadamente intensas, con acumulados totales en 24 horas de 406 mm en Casera Pradut, en las laderas alpinas del noreste de Italia, y de 308 mm en Cabane, en Liguria. Asimismo, después de tres días se acumularon totales superiores a los 400 mm en la zona sur de Suiza y Austria, y también en la parte occidental de Eslovenia, mientras que en Chequia, Córcega y el sur de Polonia se registraron además vientos devastadores. En Italia, se atribuyeron 30 víctimas mortales a la tormenta. Otros fenómenos con lluvias fuertes y crecidas repentinas hostigaron diversas zonas de la región mediterránea en la parte final de 2018, incluidas las graves inundaciones acaecidas el 13 y 14 de octubre en la región del Languedoc, al suroeste de Francia, con acumulados de hasta 400 mm en 6 horas. Al final del año, tuvieron lugar diversos episodios de lluvias fuertes en Turquía y Chipre, incluido un récord nacional de precipitación diaria en Turquía por los 490,8 mm registrados el 18 de diciembre en Ovacik, cerca de Antalya.

#### ATRIBUCIÓN DE LAS CAUSAS DE LOS FENÓMENOS DE GRAVEDAD EXTREMA

La determinación de los factores causales, comprendidos los forzamientos antropógenos, que contribuyeron a la probabilidad de que se produjeran fenómenos de gravedad extrema o influyeron en ella es una esfera en la que la investigación es constante. Desde 2012, se ha publicado cada año una selección de artículos revisados por homólogos a modo de complemento del Bulletin

of the American Meteorological Society con el título "Explaining Extreme Events from a Climate Perspective" (Explicación de los fenómenos de gravedad extrema desde una perspectiva climática). El número más reciente, "Explaining Extreme Events in 2017 from a Climate Perspective", contiene 18 análisis de fenómenos de ese tipo ocurridos entre finales de 2016 y principios de 2018.

En el caso de fenómenos relacionados con el calor, como las olas de calor que afectaron a Europa y China en 2017, el inicio prematuro del verano en la República de Corea en 2017 y la ola de calor marina ocurrida en el mar de Tasmania en 2017/2018, se observó que los factores antropógenos habían aumentado la probabilidad de que se produjeran esos fenómenos. En cuanto a los fenómenos hidrológicos, como sequías y episodios de lluvias fuertes, en todos los casos se constató un aumento de naturaleza antropógena, aunque en algunos estudios también se incidió en mayor medida en la función de la variabilidad interna en esos fenómenos. En un artículo se examinaron dos estudios de casos, el desbordamiento de la presa de Oroville en California y el huracán Harvey en Texas. Se hizo hincapié en la complejidad de esos episodios y se sugirieron modos de proporcionar, en contextos decisorios reales, información útil sobre la atribución de las causas.

Debe extremarse la precaución al tratar de resumir los estudios sobre atribución de las causas de los fenómenos de gravedad extrema. Diversos factores influyen en el proceso de selección de los fenómenos para someterlos a estudio. Son, entre otros, la disponibilidad de datos y otros recursos, la visibilidad del fenómeno, y la fiabilidad que, según se percibe, tienen ciertos modelos para simular con exactitud los procesos necesarios. Asimismo, conviene recordar en todo momento que aquellos factores que aumentan la probabilidad de que se produzcan determinados fenómenos de gravedad extrema también pueden reducir la probabilidad de que tengan lugar otros fenómenos; además, la ausencia de fenómenos de gravedad extrema también debe tenerse en cuenta si se quiere adoptar una perspectiva equilibrada.

Puesto que la selección de fenómenos para fines de estudio, la recopilación de datos, la ejecución de modelos, el análisis de resultados, y la redacción y revisión de artículos precisa de una determinada cantidad de tiempo, con frecuencia existe un notable desfase entre un fenómeno y la publicación de un análisis de la atribución de causas revisado por homólogos. Diversos fenómenos acaecidos en 2018 fueron objeto de rápidas atribuciones de sus causas,

pero todavía no se han sometido al correspondiente proceso de revisión.

## RIESGOS CLIMÁTICOS E IMPACTOS CONEXOS GLOBALES

En 2018 los fenómenos meteorológicos y climáticos estuvieron detrás de la mayoría de los casi 62 millones de personas afectadas por peligros naturales, según un análisis de 281 fenómenos registrados por el Centro de Investigación de la Epidemiología de los Desastres (CRED)<sup>9</sup>. Las crecidas siguieron siendo el fenómeno con mayor número de afectados, siendo en 2018 de más de 35 millones de personas. Las estadísticas del CRED también pusieron de manifiesto que la sequía afectó a más de nueve millones de personas en todo el mundo, en particular en Kenya, el Afganistán y América Central, así como en los epicentros de la migración como El Salvador, Guatemala, Honduras y Nicaragua. Todavía deben abordarse algunas cuestiones a fin de poder cuantificar de mejor modo el impacto de los desastres y su asociación con categorías determinadas de fenómenos hidrometeorológicos, también desde el punto de vista de la elaboración de informes relativos a las metas de los Objetivos de Desarrollo Sostenible con indicadores específicos y de la supervisión del Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres (2015-2030). Iniciativas y métodos recientes proporcionan los datos más actualizados sobre el impacto de los desastres naturales y las crisis en los sectores

agrícolas, combinados con análisis rigurosos<sup>10</sup>. No obstante, nuevos esfuerzos, de carácter urgente, encaminados a elaborar y consolidar enfoques, herramientas y métodos innovadores que permitan caracterizar los fenómenos de fuerte impacto y cuantificar pérdidas y daños y determinar su vinculación con los fenómenos extremos relacionados con el tiempo, el agua y el clima servirán para respaldar, en última instancia, la agenda internacional en materia de reducción de riesgos de desastre.

En el momento de redactarse la presente publicación, las estadísticas mundiales sobre pérdidas económicas atribuidas a los desastres ocurridos en 2018 no se habían ultimado. De las estadísticas disponibles se desprende que las pérdidas más importantes se concentraron en los Estados Unidos como consecuencia de la llegada a tierra de dos huracanes de gran intensidad (Florence y Michael), cuyas pérdidas totales se estimaron en prácticamente 50 000 millones de dólares. Esa cifra queda muy lejos de los 300 000 millones de pérdidas estimadas en 2017, uno de los años recientes en el que mayores pérdidas se han producido debido a los tres huracanes de primer orden que azotaron los Estados Unidos y el Caribe.

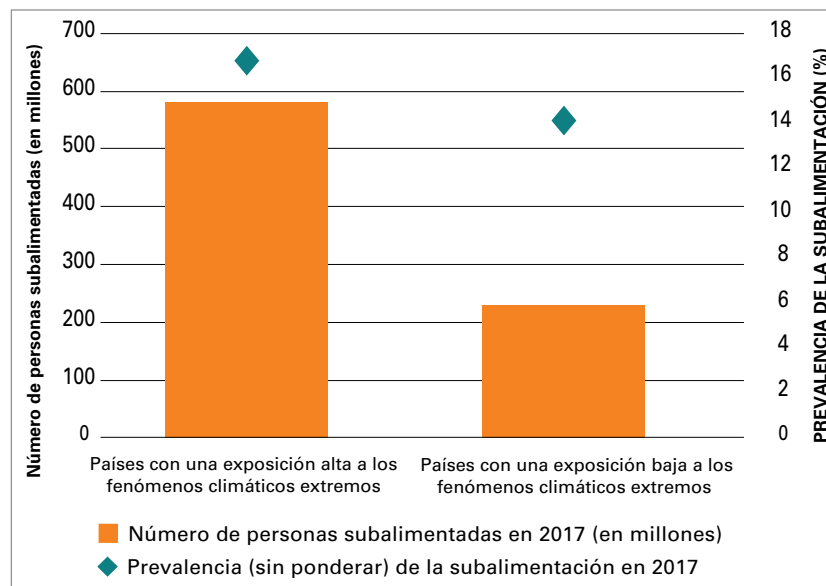
## AGRICULTURA Y SEGURIDAD ALIMENTARIA

La exposición del sector agrícola a los fenómenos climáticos extremos amenaza con echar por tierra los avances realizados en la lucha contra el hambre y la malnutrición. Nuevos indicios apuntan a un aumento continuado del hambre en el mundo tras un período prolongado de disminución<sup>11</sup>. Se estima que el número de personas subalimentadas se incrementó hasta los 821 millones en 2017. Las graves sequías asociadas con el intenso episodio de El Niño de 2015/2016 y diversos fenómenos meteorológicos y climáticos extremos localizados contribuyeron al reciente aumento en las tasas de subalimentación<sup>12</sup>.

La variabilidad climática y los fenómenos climáticos extremos son un factor decisivo

**Figura 17.** Prevalencia de la subalimentación (sin ponderar) y número de personas subalimentadas en países de ingresos bajos y medianos con una exposición alta y baja a los fenómenos climáticos extremos durante el período 2011-2016. Por países con una exposición alta se entienden aquellos que están expuestos a fenómenos climáticos extremos (calor, sequías, inundaciones y tormentas) durante más del 66 % del tiempo, lo que equivaldría a más de tres años en el período 2011-2016; una exposición baja es de tres años o menos. Fuente: FAO, Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola (FIDA), Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF), PMA y OMS

<sup>9</sup> CRED, 2019: 2018 Review of Disaster Events. Universidad Católica de Lovaina (Bélgica), [www.emdat.be](http://www.emdat.be)



<sup>10</sup> FAO, 2017: The Impact of Disasters and Crises on Agriculture and Food Security. Roma, <http://www.fao.org/3/I8656EN/I8656en.pdf>.

<sup>11</sup> FAO, FIDA, UNICEF, PMA y OMS, 2018: El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo 2018. Fomentando la resiliencia climática en aras de la seguridad alimentaria y la nutrición. Roma, FAO. Los datos proceden del período 2005-2017.

<sup>12</sup> FAO, FIDA, OIM y PMA, 2018: The Linkages between Migration, Agriculture, Food Security and Rural Development. Roma, <http://www.fao.org/3/CA0922EN/CA0922EN.pdf>.

que impulsa el reciente repunte del hambre en el mundo y una de las principales causas de severas crisis alimentarias. El hambre es marcadamente más grave en aquellos países con sistemas agrícolas sumamente sensibles a la variabilidad en las precipitaciones y la temperatura y a las sequías graves, así como también allí donde un elevado porcentaje de la población depende de la agricultura para su subsistencia. La población subalimentada es más del doble en los países con una alta exposición a fenómenos climáticos extremos que en aquellos países en los que no se da ese alto nivel de exposición (figura 17).

África fue la región en la que los fenómenos climáticos tuvieron las mayores repercusiones en términos de inseguridad alimentaria y malnutrición agudas en 2017: afectaron a 59 millones de personas en 24 países, que requirieron de ayuda humanitaria urgente<sup>13</sup>. Gran parte de la vulnerabilidad ante la variabilidad climática se deriva de los sistemas de cultivo de secano y los sistemas de pastizales para la cría de ganado, que son los principales medios de subsistencia de entre el 70 % y el 80 % de la población rural del continente.

En todo el mundo 40 países, de los cuales 31 en África, siguieron necesitando asistencia externa para conseguir alimentos<sup>14</sup>. Los conflictos enquistados, junto con las mermas en la producción provocadas por el clima, han incidido negativamente en la disponibilidad de alimentos. En 2018, las condiciones meteorológicas adversas limitaron la producción de cereales en África Meridional y, por tanto, agudizaron la inseguridad alimentaria, mientras que las extensas lluvias que cayeron en África Oriental potenciaron las perspectivas de producción, pero, al mismo tiempo, también ocasionaron inundaciones localizadas que fueron en detrimento de la seguridad alimentaria. Unas condiciones meteorológicas propicias durante la primavera incrementaron la producción en el Norte de África, mientras que las previsiones apuntaban a un retorno de las cosechas a valores medios en África Occidental.

En Asia, las cosechas de cereales de 2018 se redujeron hasta niveles inferiores a la media

en países del Cercano Oriente<sup>15</sup> y de la Comunidad de Estados Independientes a causa de los déficits de precipitación y los conflictos. En cuanto a la producción de cereales en América Latina y el Caribe, se estimó que en 2018 fue de 248 millones de toneladas, lo que supone una reducción del 8 % respecto de la producción récord de 2017. Esa disminución se debió fundamentalmente a las reducidas cosechas de maíz, a causa de la sequía, de los principales productores de América del Sur, especialmente de la Argentina y el Brasil. En América Central y el Caribe, las condiciones de sequía no fueron tan extremas como se preveía, particularmente en Guatemala y Nicaragua, por lo que la producción agregada se redujo en un 2 %<sup>16</sup>.

En Somalia, se estima que unos 2,7 millones de personas necesitaron ayuda de emergencia. Fueron, principalmente, desplazados internos y comunidades dedicadas a la agricultura y el pastoreo que se vieron afectados por la sequía entre mediados de 2016 y finales de 2017<sup>17</sup>. En el sur de África, en especial en Madagascar, el número de personas afectadas por la inseguridad alimentaria se incrementó hasta alcanzar los 1,3 millones en las zonas meridionales, una circunstancia vinculada con los períodos de sequía y los ciclones tropicales que mantuvieron la producción de cereales de 2018 por debajo de la media<sup>18</sup>.

El tifón Manghkut (Ompong), que atravesó Filipinas a mediados de septiembre, se asoció a pérdidas en cultivos y pesquerías que pusieron en jaque la seguridad alimentaria de la población. La alteración de la producción agrícola comprometió el suministro de alimentos del país durante los meses posteriores, mientras que la pérdida de medios de subsistencia de los agricultores y pescadores durante el período de cosecha de septiembre a octubre no hizo más que agravar la inseguridad alimentaria y la malnutrición<sup>19</sup>.

<sup>15</sup> El Cercano Oriente es la zona que se extiende desde el este de Turquía hasta el Afganistán, incluida la península arábiga al sur.

<sup>16</sup> FAO, 2018: Perspectivas de cosechas y situación alimentaria. Informe trimestral mundial, diciembre. <http://www.fao.org/documents/card/en/c/CA2726ES>.

<sup>17</sup> FAO, 2018: Perspectivas de cosechas y situación alimentaria. Informe trimestral mundial, junio. <http://www.fao.org/policy-support/resources/resources-details/es/c/1039827/>

<sup>18</sup> FAO, 2018: Perspectivas de cosechas y situación alimentaria. Informe trimestral mundial, septiembre. <http://www.fao.org/3/CA1487ES/ca1487es.pdf>.

<sup>19</sup> Consejo Nacional de Reducción y Gestión del Riesgo de Desastres, 2018. NDRRMC Update on preparedness measures and effects for Typhoon "OMPONG" (I.N. "MANGKHUT"), Filipinas, 27 de septiembre.

<sup>13</sup> FAO, FIDA, UNICEF, PMA y OMS, 2018: El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo 2018. Fomentando la resiliencia climática en aras de la seguridad alimentaria y la nutrición. Roma, FAO. Tabla 7.

<sup>14</sup> FAO, 2018: Perspectivas de cosechas y situación alimentaria. Informe trimestral mundial, diciembre. <http://www.fao.org/documents/card/es/c/CA2726ES>.

## DESPLAZAMIENTO DE POBLACIONES Y MOVILIDAD HUMANA

De los 17,7 millones de desplazados internos que la OIM tiene registrados por medio de su Matriz de Seguimiento de Desplazamiento (DTM, del inglés Data Tracking Matrix)<sup>20</sup>, en septiembre de 2018 se contaban más de 2 millones de personas en situación de desplazamiento debido a desastres relacionados con fenómenos meteorológicos y climáticos<sup>21</sup>. Sequías, inundaciones y tormentas (incluidos huracanes y ciclones) fueron los fenómenos que ocasionaron la mayor cantidad de desplazamientos por desastres en 2018. En todos los casos, las poblaciones desplazadas son vulnerables y necesitan protección. En Madagascar, una larga concatenación de fenómenos climáticos interconectados causó desplazamientos de población<sup>22</sup>. De los aproximadamente 5 700 desplazados internos de los que la OIM hizo un seguimiento en los diez municipios del sur entre 2009 y 2018, el desplazamiento de un 42 % de ellos se debió a la sequía de agosto de 2018. Los mayores desplazamientos en los municipios evaluados se registraron entre 2013 y 2016, un período que coincidió con la pertinaz sequía de 2015 y 2016. La cantidad de personas desplazadas se redujo notablemente en 2017 a raíz de un período de más lluvias y de llegada de ayuda humanitaria a la región. Se dio seguimiento a los primeros desplazados de Madagascar en 2018 a causa de la falta de lluvias durante el ciclo de cultivo de diciembre de 2017 a mayo de 2018. Además de la sequía, que castigó ampliamente el sur de Madagascar, más de 250 000 desplazados internos fueron objeto de seguimiento en 2017 como consecuencia del ciclón *Enawo*.

En algunas partes del mundo, la movilidad humana puede entenderse como una circunstancia en la que convergen conflicto y fenómenos climáticos, y tales fenómenos son un “multiplicador de amenazas”. Somalia se

encuentra en ese contexto<sup>23</sup>. En 2018, una combinación de fenómenos de aparición repentina y lenta, agravados por el prolongado conflicto en el que se encuentra sumido el país, acarrió desplazamientos continuados de población tanto internamente como hacia otros países<sup>24</sup>. Se estima que, en diciembre de 2018, había 1,1 millones de personas en situación de desplazamiento interno prolongado en Somalia a fin de luchar contra una coyuntura de conflictos multidimensionales y competencia acentuada por los recursos a causa de fenómenos de naturaleza climática<sup>25</sup>. Según la Red de Vigilancia y Protección de los Repatriados de la Oficina del Alto Comisionado de las Naciones Unidas para los Refugiados (ACNUR), entre enero y diciembre de 2018 se registraron unos 883 000 nuevos desplazamientos internos, siendo el conflicto el motivo principal (36 %), seguido por las inundaciones (32 %) y la sequía (29 %)<sup>26</sup>. Además, las inundaciones contaminaron el agua potable, y ello supuso un aumento de los casos de “diarrea acuosa aguda” y cólera<sup>27</sup>. Durante el mismo período de 2017, la inmensa mayoría de los desplazados internos (79 %) esgrimió motivos relacionados con la sequía para desplazarse, en comparación con solo el 0,6 % que señaló las inundaciones como causa de su desplazamiento.

Los campos de refugiados y desplazados internos pueden ser particularmente vulnerables a los fenómenos climáticos y meteorológicos como, por ejemplo, las tormentas. En 2018, cientos de miles de refugiados rohinyás se vieron obligados a efectuar desplazamientos secundarios a causa de fenómenos meteorológicos extremos<sup>28,29</sup>. Las lluvias monzónicas

<sup>20</sup> La DTM de la OIM es un sistema para supervisar y vigilar los desplazamientos y la movilidad de las poblaciones. Constituye la mayor fuente de datos primarios sobre desplazamientos internos en el mundo y numerosas organizaciones humanitarias la utilizan en sus operaciones a fin de respaldar la prestación de una respuesta optimizada a las poblaciones afectadas. Véase: <https://displacement.iom.int/>.

<sup>21</sup> Véanse las cifras mundiales de la DTM de la OIM en <https://displacement.iom.int/>.

<sup>22</sup> Véase el perfil de Madagascar en la DTM de la OIM en <https://displacement.iom.int/madagascar>, incluido el informe sobre desplazamientos en <https://displacement.iom.int/reports/madagascar-%E2%80%94rapport-de-suivi-des-d%C3%A9placements-ao%C3%BBt-2018?close=true>.

<sup>23</sup> Equipo humanitario en el país (Somalia), <https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/Somalia%20Revised%20HRP%20July%202018-FINAL.pdf>, pág. 4.

<sup>24</sup> ACNUR, <https://data2.unhcr.org/es/documents/download/65450>.

<sup>25</sup> ACNUR, <https://data2.unhcr.org/es/situations/horn>.

<sup>26</sup> ACNUR, <https://unhcr.github.io/dataviz-somalia-prmn/index.html#reason=&month=2018-01-01%2C2018-07-31&pregion=&pregionmap=&pdistrictmap=&cregion=&cregionmap=&cdistrictmap>

<sup>27</sup> Oficina de Coordinación de Asuntos Humanitarios de las Naciones Unidas, <https://reliefweb.int/report/somalia/ocha-somalia-flash-update-5-humanitarian-impact-heavy-rains-15-may-2018-enso>.

<sup>28</sup> ACNUR, [www.unhcr.org/rohingya-emergency.html](http://www.unhcr.org/rohingya-emergency.html).

<sup>29</sup> Véase el Seguimiento de las Necesidades y Poblaciones de Bangladesh durante la temporada del monzón, según la DTM de la OIM, en: <http://iom.maps.arcgis.com/apps/MapSeries/index.html?appid=1eec7ad29df742938b6470d77c26575a> y <https://displacement.iom.int/reports/bangladesh-%E2%80%94npm-acaps-analysis-hub-report-%E2%80%94rohingya-crisis-impact-cyclones-report-april?close=true>.

que se produjeron en Bangladesh entre mayo y septiembre incrementaron el riesgo de que esos refugiados sufrieran las consecuencias de deslizamientos de tierra e inundaciones, en particular en el distrito Bazaar de Cox, donde viven la mayoría de los refugiados rohinyás. En septiembre de 2018, hasta 200 000 refugiados rohinyás, del total estimado de 900 000, estuvieron expuestos a esos peligros naturales. El ACNUR proporcionó refugio de emergencia a los más vulnerables, y dispuso todo lo necesario para reubicarlos de forma provisional, con carácter de urgencia, además de hacer extensivo su apoyo a las comunidades de Bangladesh afectadas por las lluvias del monzón mediante la distribución de kits para familias<sup>30</sup>.

## CALOR Y SALUD

Se estimó que, entre 2000 y 2016, el número de personas expuestas a olas de calor<sup>31</sup> había aumentado en aproximadamente 125 millones (figura 18), dado que las olas de calor eran, de media, 0,37 días más largas que en el período de 1986 a 2008. Solo en 2015, 175 millones de personas estuvieron expuestas a 627 olas de calor, un nuevo récord. Cada episodio a nivel local entraña consecuencias significativas y heterogéneas; por ejemplo, en Karachi (Pakistán), ese mismo año 65 000 personas acudieron a los hospitales por síntomas provocados por el calor.

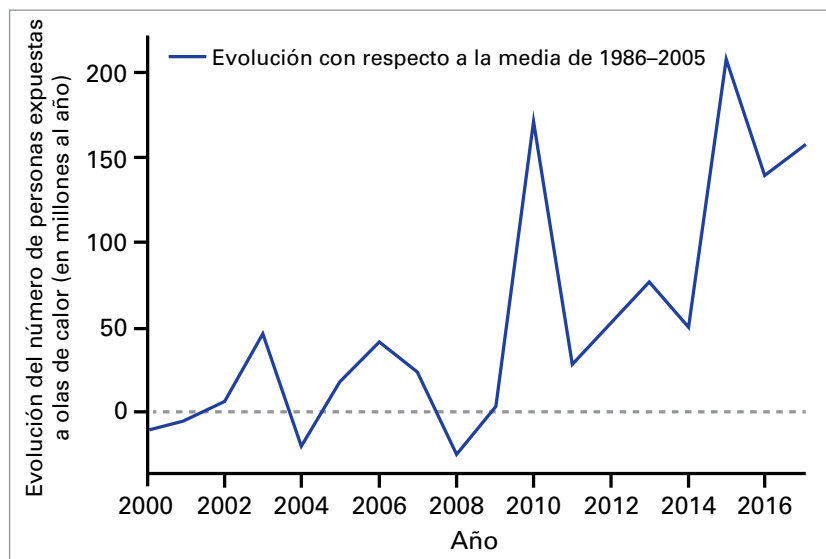
## EFFECTOS MEDIOAMBIENTALES

Además de las consecuencias socioeconómicas directas para la salud y el bienestar de las personas, los organismos de las Naciones Unidas también vigilan los efectos medioambientales asociados con el cambio climático<sup>32</sup>. Entre otros aspectos, prestan una especial atención a la decoloración del coral y la reducción de la concentración de oxígeno en los océanos. Otros —como la pérdida de “carbono azul” asociada con los ecosistemas costeros, como los manglares, las praderas marinas y las marismas; y los ecosistemas que engloban diversos paisajes— constituyen importantes componentes costeros, oceánicos y terrestres del ciclo del carbono.

<sup>30</sup> ACNUR, <https://data2.unhcr.org/es/documents/download/65468>.

<sup>31</sup> Por ola de calor se entiende todo período de más de tres días durante el cual la temperatura mínima es superior al percentil 99 de las mínimas históricas (media del período 1986-2008). (De Jacob D., y otros, 2014: "EURO-CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research", en *Regional Environmental Change*, 14:563-578).

<sup>32</sup> PNUMA y COI de la UNESCO.



**Figura 18.** Evolución del número de personas expuestas a olas de calor (o "episodios de exposición a olas de calor") en millones por año de 2000 a 2017 (línea azul) con respecto a la media del período 1986-2005. Fuente: Watts, N. y otros, 2018: "The 2018 report of The Lancet Countdown on health and climate change: shaping the health of nations for centuries to come", en *Lancet*, 392(10163):2 479-2 514)

Las turberas revisten gran importancia para las sociedades humanas de todo el mundo. Contribuyen de forma significativa a la adaptación al cambio climático y la mitigación de sus efectos mediante el secuestro y el almacenamiento de carbono, la conservación de la diversidad biológica, la regulación del régimen hidrológico y la calidad del agua, y otros beneficios para los ecosistemas que repercuten positivamente en los medios de subsistencia. El cambio climático se ha erigido en una importante amenaza para los ecosistemas de turbera, porque agudiza los efectos del drenaje y aumenta el riesgo de incendio. Además, expone al deshielo aquellas turberas actualmente protegidas por el permafrost, lo que puede conllevar un aumento de las emisiones de CH<sub>4</sub> y una pérdida de carbono. Por su parte, la elevación del nivel del mar incrementa el riesgo de erosión costera y de salinización de las turberas de agua dulce.

Las tierras de pastoreo cubren 5 000 millones de hectáreas en todo el mundo y secuestran entre 200 y 500 kg de carbono por hectárea y año, por lo que desempeñan una importante función en la mitigación del cambio climático. Además de contener el grueso del carbono inorgánico terrestre de todo el mundo, los pastizales almacenan carbono orgánico tanto en el suelo como en forma de biomasa. Habida cuenta de las características climáticas singulares de los pastizales, en numerosos lugares la mayoría del carbono se encuentra bajo tierra. La restauración de las tierras de pastoreo no solo contribuye a la mitigación del cambio climático, sino que, además, conlleva otros beneficios para los ecosistemas, como la protección de las cuencas hidrográficas, la preservación de hábitats en aras de la diversidad biológica y la reducción de las tempestades de polvo.

# Efectos del calor en la salud

Joy Shumake-Guillemot<sup>1</sup>, Virginia Murray<sup>2</sup>, Sari Kovats<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Oficina Conjunta para el Clima y la Salud de la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Organización Meteorológica Mundial (OMM)

<sup>2</sup> Public Health England

<sup>3</sup> Escuela de Higiene y Medicina Tropical de Londres

El estrés térmico representa una grave amenaza para la salud de las personas. El calor es una de las principales causas de muertes relacionadas con las condiciones meteorológicas y puede exacerbar morbilidades subyacentes, entre ellas enfermedades cardiovasculares, diabetes, angustia psicológica, asma, etc., así como aumentar el riesgo de accidentes y enfermedades infecciosas. Los análisis realizados durante los últimos años en los seis continentes con población demuestran claramente que las altas temperaturas interiores y al aire libre repercuten en la mortalidad<sup>1</sup>. Por ejemplo, se pueden observar claramente picos en la tasa de mortalidad diaria durante los días de ola de calor que se registraron en Inglaterra en el verano de 2016 (véase la figura)<sup>2</sup>. Las olas de calor pueden durar semanas, ocurrir de forma consecutiva y redundar en un exceso de mortalidad significativo. En 2003, 70 000 personas fallecieron en Europa debido al calor que hubo entre junio y septiembre<sup>3</sup>. En 2010, una ola de calor que duró 44 días causó 55 000 muertes adicionales en la Federación de Rusia<sup>4,5</sup>.

## MECANISMOS DE LOS EFECTOS DEL CALOR EN LA SALUD

La exposición al calor conlleva numerosas consecuencias fisiológicas en las personas, y la exposición extrema puede desencadenar una serie de enfermedades o dolencias, como calambres, agotamiento, golpes de calor e hipertermia. El aumento de temperatura del cuerpo humano puede deberse a una combinación de calor externo del medioambiente y de calor interno generado por la actividad física; de ahí que las personas que trabajan al aire libre se encuentren expuestas a un riesgo mayor y es posible que no tengan la opción de dejar de trabajar, ni acceso a una refrigeración apropiada. Las altas temperaturas también pueden agravar un amplio

abanico de trastornos de salud previos, lo que aumenta el riesgo de mortalidad prematura y de ingresos hospitalarios. Las olas de calor también pueden repercutir en la salud de forma indirecta, alterando el comportamiento humano, la transmisión de las enfermedades, la capacidad de suministro de servicios sanitarios, la calidad del aire y el funcionamiento de infraestructuras sociales esenciales como la energía, el transporte y el agua. La escala y la naturaleza de los efectos negativos en la salud provocados por el calor dependen del momento, la intensidad y la duración del fenómeno térmico, y de que los edificios y el comportamiento de las personas estén bien adaptados al clima imperante. El umbral exacto al que la temperatura representa un peligro varía según la región y a lo largo del tiempo.

## TIPOS DE EFECTOS

El estrés térmico se sitúa entre las principales amenazas medioambientales para la salud humana debido a la combinación de fallecimientos directos y de efectos derivados en los grupos vulnerables durante las olas de calor y los periodos prolongados de calor estacional. Las olas de calor pueden repercutir gravemente en grandes grupos de población durante periodos de tiempo breves, a menudo provocando emergencias sanitarias que resultan en un exceso de mortalidad y desencadenan efectos socioeconómicos en cascada (por ejemplo, la pérdida de capacidad de trabajo y de productividad laboral) y la reducción de la capacidad de prestación de servicios sanitarios. La escasez de energía que suele acompañar a las olas de calor puede alterar el funcionamiento de los establecimientos de salud, los sistemas energéticos, los transportes y la infraestructura hídrica, provocando así riesgos sanitarios secundarios debido a una falta de acceso a los servicios esenciales. Por ejemplo, en Australia y en los Estados Unidos, los cortes en el suministro de electricidad afectaron a decenas de miles de personas durante las olas de calor de 2018, dado que la demanda de energía para refrigeración excedió la capacidad de la red eléctrica<sup>6</sup>. Las olas de calor pueden aumentar el riesgo de que se produzcan incendios forestales, con la consiguiente agravación de los riesgos para la salud y la seguridad, como se observó en los incendios ocurridos en 2018 en Escandinavia y California, y en la Federación de Rusia en 2010. Los periodos prolongados de altas temperaturas diurnas y nocturnas provocan un estrés fisiológico acumulado en el cuerpo humano que exacerba las principales causas de muerte en todo el mundo, incluidas las enfermedades respiratorias y cardiovasculares, la diabetes mellitus y la nefropatía. Los trabajadores en interiores y al aire libre son especialmente propensos a una exposición excesiva al calor crónica, y el aumento de las temperaturas a menudo hace que la actividad laboral resulte insoportable o peligrosa<sup>7</sup>.

<sup>1</sup> Gasparrini, A., y otros, 2015: Mortality risk attributable to high and low ambient temperature: a multicountry observational study. *Lancet*, 386(9991):369–375.

<sup>2</sup> Public Health England, 2016: Heatwave Mortality Monitoring Summer 2016. London, PHE, [https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/714933/PHE\\_heatwave\\_mortality\\_monitoring\\_report\\_2016.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/714933/PHE_heatwave_mortality_monitoring_report_2016.pdf).

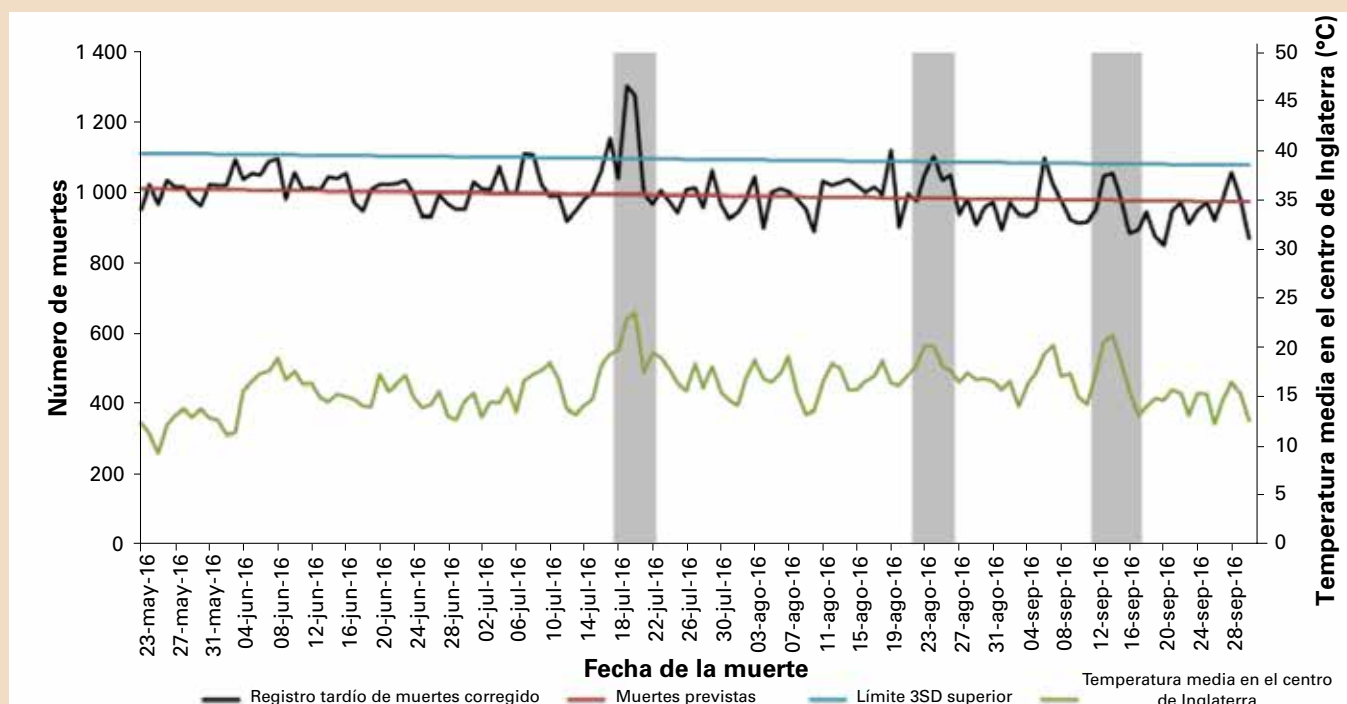
<sup>3</sup> Robine, J.-M., S. L. K. Cheung, S. Le Roy, H. van Oyen, C. Griffiths, J.-P. Michel y F. R. Herrmann, 2008: Death toll exceeded 70,000 in Europe during the summer of 2003. *Comptes rendus biologies*, 331(2):171–178.

<sup>4</sup> Shaposhnikov, D., B. Revich, T. Bellander, G. Bero Bedada, M. Bottai, T. Kharkova, E. Kvasha, E. Lezina, T. Lind, E. Semutnikova y G. Pershagen, 2014: Mortality related to air pollution with the Moscow heat wave and wildfire of 2010. *Epidemiology* (Cambridge, Mass.), 25(3):359–364.

<sup>5</sup> Véase <http://origin.who.int/globalchange/publications/heat-and-health/en/>.

<sup>6</sup> Véase <https://www.reuters.com/article/us-australia-power/heat-wave-leaves-thousands-of-australian-homes-without-power-idUSKBN1FI0CO> y <https://www.cnn.com/2018/07/07/us/heat-wave-los-angeles-wxc/index.html>.

<sup>7</sup> Sherwood, S. C. y M. Huber, 2010: An adaptability limit to climate change due to heat stress. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 107(21):9552–9555, DOI:10.1073/pnas.0913352107.



Mortalidad diaria de la población de 65 años o más en Inglaterra durante el verano de 2016. Fuente: Public Health England

El estrés térmico ocupacional incide de forma directa en la salud de los trabajadores, aumentando el riesgo de nefropatías y accidentes laborales. Asimismo, deben tenerse en cuenta los efectos socioeconómicos derivados de la pérdida de productividad, pues hay que tener presente que la capacidad individual de vivir una vida sana y productiva es fundamental para la reducción de la pobreza y la mejora de la salud mundial.

## AUMENTO DE LA EXPOSICIÓN AL CALOR DEBIDO AL CAMBIO CLIMÁTICO

Ningún sector de la población está a salvo del aumento de la temperatura ambiente. Sin embargo, algunos grupos de población están más expuestos o son más vulnerables a nivel fisiológico o socioeconómico al estrés fisiológico, al agravamiento de las enfermedades y al aumento del riesgo de muerte debido a una exposición al calor excesivo. Estos grupos incluyen a las personas de edad avanzada, los lactantes y niños pequeños, las mujeres embarazadas, los trabajadores, los atletas, las personas que participan en actividades recreativas al aire libre (por ejemplo, eventos religiosos o festivales de música) y los pobres. En diciembre de 2018, expertos de los seis continentes informaron a la Global Heat Health Information Network (Red mundial de información sobre el calor y los riesgos para la salud) de que se habían observado cambios significativos en las climatologías regionales, con una clara tendencia al alza de la frecuencia, la intensidad y la duración de los episodios de calor, lo que conlleva amplias repercusiones en la salud<sup>8</sup>.

La exposición de la población al calor está aumentando de forma previsible a causa del “cambio climático asegurado”; es decir, el calentamiento previsto que se producirá a consecuencia de los niveles actuales de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera. Los problemas relacionados con el calor que afectan a la sociedad se verán agravados por un calentamiento del clima durante el resto del siglo XXI, independientemente de las vías de mitigación del cambio climático. Estas tendencias levantan la voz de alarma en la comunidad de la salud pública, dado que se observa que está aumentando la intensidad, frecuencia y duración de los episodios de temperaturas extremas.

Los efectos perjudiciales para la salud asociados a una exposición excesiva al calor se pueden reducir notablemente si se ponen en funcionamiento sistemas de alerta temprana apropiados y se llevan a cabo las actividades de preparación del público e intervenciones sanitarias pertinentes. Por ejemplo, en Europa se ha demostrado que la existencia de un sistema de aviso de olas de calor y riesgos para la salud sirve para reducir el impacto de las olas de calor en numerosas poblaciones. La Global Heat Health Information Network (Red mundial de información sobre el calor y los riesgos para la salud) se creó en 2018 con el fin de fomentar la colaboración entre las disciplinas pertinentes y así acelerar el intercambio de pruebas científicas y herramientas de decisión para mejorar la gestión de los riesgos del calor en la salud pública.

<sup>8</sup> Global Heat Health Information Network First Global Forum on Heat and Health (Primer Foro Mundial de la Red mundial de información sobre el calor y los riesgos para la salud), véase [www.ghhn.org](http://www.ghhn.org).

# La contaminación del aire y el cambio climático

**Oksana Tarasova (OMM)**









































Si bien el cambio climático y la contaminación del aire están estrechamente relacionados, ambos desafíos medioambientales todavía se consideran como dos cuestiones distintas y de ellas se encargan diferentes comunidades científicas y se abordan dentro de marcos políticos diferentes. Sin embargo, no es posible clasificar las emisiones antropógenas en dos categorías distintas –contaminantes atmosféricos y sustancias que afectan al clima– dado que muchos contaminantes del aire, como el ozono troposférico y los aerosoles, repercuten de forma directa o indirecta en el clima. La contaminación del aire tiene efectos perjudiciales para la salud humana y el medio ambiente (véase la figura a continuación). Según un informe elaborado por la Organización Mundial de la Salud (OMS)<sup>1</sup>, más del 90 % de la población urbana mundial respira un aire exterior cuyos niveles de contaminantes exceden a los indicados en las directrices de la OMM. La contaminación del aire dentro y fuera de los hogares es la segunda causa de muerte por enfermedades no transmisibles en el mundo.

La calidad del aire y el cambio climático no solo están condicionados por elementos comunes, sino que también están estrechamente relacionados a través de diversos procesos atmosféricos. La segunda figura, a continuación, ilustra la complejidad de estas interacciones. Los efectos, tanto directos como indirectos, de la calidad del aire

en el cambio climático se derivan de la interacción de los contaminantes atmosféricos con la radiación solar. El forzamiento radiativo medio del ozono a nivel mundial es similar al del metano ( $\text{CH}_4$ ) y cerca de un cuarto del que se atribuye al dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ )<sup>3</sup>. El ozono troposférico ( $\text{O}_3$ ) afecta negativamente a los ecosistemas y reduce su capacidad de absorber  $\text{CO}_2$ . Además, tiene otro efecto indirecto en el forzamiento radiativo, que tiene el resultado opuesto: al aumentar la concentración de ozono aumenta también la producción del radical hidroxilo, lo que conduce a una reducción del tiempo de vida del metano en la atmósfera. Las partículas en suspensión, que tienen efectos adversos en la salud humana, también influyen de forma directa e indirecta en el forzamiento radiativo. Dependiendo de su composición, pueden dispersar o absorber directamente la radiación, pero también pueden actuar como núcleos de condensación de nubes, afectando por lo tanto indirectamente al forzamiento radiativo y a las pautas meteorológicas. Asimismo, el depósito de estas partículas sobre la nieve y el hielo altera su albedo.

El cambio climático también afecta a la calidad del aire debido a los cambios que provoca en la meteorología (especialmente en la temperatura, las precipitaciones, la dinámica de la capa límite, la humedad y la nubosidad) y a su impacto en las emisiones naturales. La subida de las temperaturas conlleva un aumento de las emisiones de compuestos orgánicos volátiles, que son los precursores del ozono y los aerosoles

Impacto de los contaminantes del aire más comunes y de los gases de efecto invernadero en el clima, la salud humana y los ecosistemas, incluida la agricultura. Fuente: (véase la referencia 2)

Contaminante del aire / GEI	Período de vida / Escala	Impacto climático	Impacto en la salud y en los ecosistemas	
Dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ )				 Período de vida atmosférico = días/semanas Escala del impacto = local/regional
Gases fluorados (gases-F)				 Período de vida atmosférico = años Escala del impacto = global
Metano ( $\text{CH}_4$ )			 	 Calentamiento
Óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ )			 	 Enfriamiento
Óxidos nitrosos ( $\text{N}_2\text{O}$ )				 Impacto en la salud humana
Partículas en suspensión (PM)			 	 Impacto en los ecosistemas
Dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ )			 	 Sin impacto directo en la salud humana o en los ecosistemas*
Ozono troposférico ( $\text{O}_3$ )			 	
Compuestos orgánicos volátiles (COV)/ Monóxido de carbono (CO)			 	

\*La falta de impacto directo implica que la sustancia en cuestión no provoca consecuencias directas en la salud de las personas ni en los ecosistemas o que no experimenta ningún proceso químico que genere sustancias que afecten directamente a la salud humana o los ecosistemas.

Current Opinion in Environmental Sustainability

troposféricos, y favorece también que el ozono se forme más rápidamente. A medida que avanza el cambio climático, se prevé que aumenten las concentraciones de ozono durante los episodios pico, lo que se conoce como “sanción climática”. El cambio climático también se asocia con el cambio de los modelos de transporte y de la mezcla atmosférica y puede aumentar la frecuencia de los episodios de contaminación extrema debido al estancamiento del aire. Por otra parte, una mayor ocurrencia de incendios forestales podría acarrear un aumento de los niveles de contaminación, especialmente de aerosoles. Los cambios en las pautas de precipitación afectan al depósito de contaminantes.

A pesar del creciente reconocimiento de la estrecha relación que existe entre ambas cuestiones, los vínculos entre las políticas que abordan la contaminación del aire y las que se centran en el cambio climático siguen siendo débiles. El desafío más importante es determinar políticas que proporcionen soluciones beneficiosas para los dos ámbitos, puesto que no todas las políticas sobre el clima contribuyen a la reducción de la contaminación del aire, y viceversa. Un ejemplo de ello es el uso de biocombustibles, que conlleva una reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub>, pero contribuye al aumento de los niveles de ozono troposférico. Por lo tanto, se necesita un enfoque integrado para evaluar qué políticas sobre el clima y la calidad del aire tienen en cuenta los factores mencionados anteriormente. Es probable que ese

enfoque integrado permita adoptar las mejores estrategias políticas medioambientales en lo que se refiere a los costes sociales y económicos.

- 1 Organización Mundial de la Salud, 2018: COP24 Special Report: Health and Climate Change. Ginebra, OMS, <https://www.who.int/globalchange/publications/COP24-report-health-climate-change/en/>.
- 2 Melamed, M. L., J. Schmale y E. von Schneidmesser, 2016: “Sustainable policy – key considerations for air quality and climate change. Current Opinion in Environmental Sustainability, 23:85–91”, <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1877343516301087>.
- 3 Organización Meteorológica Mundial, 2018: Boletín de la OMM sobre los gases reactivos: Aspectos más destacados del Programa de la Vigilancia de la Atmósfera Global. N° 2. Ginebra.
- 4 von Schneidmesser, E., y otros, 2015: “Chemistry and the linkages between air quality and climate change”. Chemical Reviews, 115(10):3856–3897.

Esquema general de las principales categorías de interacción entre la calidad del aire y el cambio climático, con la descripción de un ejemplo de interacción o de retroalimentación para cada categoría. Las fuentes de emisiones que aparecen son meros ejemplos y no constituyen una representación exhaustiva de todas las fuentes pertinentes para cada interacción descrita. Los elementos más importantes aparecen entre paréntesis después de cada categoría. Las PM (partículas en suspensión) indican todas las fuentes de aerosoles: los aerosoles orgánicos, el CN (carbono negro) y el SO<sub>2</sub> (dióxido de azufre); el O<sub>3</sub> (ozono), que incluye el O<sub>3</sub> y sus precursores, los NO<sub>x</sub> (óxidos de nitrógeno), los compuestos orgánicos volátiles que no contienen metano y el CO (monóxido de carbono).  
Fuente: figura extraída de la referencia 4



# La aviación civil internacional y la adaptación al cambio climático

**Chrystelle Damar<sup>1</sup>, Neil Dickson<sup>1</sup>,  
Jane Hupe<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> OACI, Medio Ambiente

La Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) dedica especiales esfuerzos a reducir el impacto de la aviación civil internacional en el clima mundial, pero, a su vez, los efectos del cambio climático entrañan riesgos significativos para el sector aeronáutico, y la labor de la OACI en materia de adaptación al clima conforma la base de la preparación ante esos riesgos<sup>1</sup>. Una cuestión clave es la forma en la que deben diseñarse y construirse las infraestructuras aeronáuticas para limitar las emisiones de CO<sub>2</sub> y poder soportar fenómenos meteorológicos cada vez más extremos, la escasez de agua, tormentas de arena o cualquier otro impacto que se pueda atribuir al cambio climático.

La OACI ha elaborado recientemente un informe<sup>2</sup> en el que se sintetiza la información existente sobre el abanico de impactos climáticos que se prevén en el sector de la aviación, con el fin de entender mejor los

riesgos que entrañan para las operaciones y las infraestructuras aeronáuticas. El informe incluye un examen de las publicaciones existentes y una encuesta que se envió a todos los Estados miembros de la OACI para recopilar información acerca del nivel de concienciación sobre los efectos del cambio climático, la naturaleza de estos efectos y sus repercusiones en la aviación internacional, así como una autoevaluación del nivel de preparación de las diferentes partes interesadas del sector de la aviación internacional.

Una de las conclusiones principales de la encuesta ha sido que el 74 % de los encuestados considera que el sector de la aviación de su país ya está experimentando algunos de los efectos del cambio climático, mientras que el 17 % prevé que experimentarán esos efectos de aquí a 2030. Se han establecido ocho categorías de posibles impactos climáticos en el sector de la aviación: la elevación del nivel del mar, la intensificación de las tormentas, los cambios de la temperatura, los cambios de las pautas de precipitación, los cambios de las condiciones de engelamiento, los cambios de la dirección del viento, la desertificación y los cambios de la diversidad biológica. También se han examinado las posibles consecuencias del cambio climático en las empresas y en la economía, así como la evaluación de los riesgos derivados del cambio climático y la planificación de la adaptación.

Se estableció cuáles eran los efectos del cambio climático en el sistema de aviación a escala mundial y, posteriormente, se recogieron en un mapa mundial de los riesgos asociados al cambio climático de la OACI (véase la figura). La encuesta mostró que el 30 % de los participantes ya aplica medidas de adaptación al

<sup>1</sup> La Asamblea de la OACI, mediante su Resolución A39-2, "Declaración consolidada de las políticas y prácticas permanentes de la OACI relativas a la protección del medio ambiente – Cambio climático", pide (al Consejo) que "determine las posibles repercusiones del cambio climático en las operaciones de la aviación internacional y la infraestructura conexa y determine medidas de adaptación para hacer frente a dichas posibles repercusiones, en cooperación con otras organizaciones internacionales pertinentes y la industria".

<sup>2</sup> Organización de Aviación Civil Internacional, 2019: Climate change: Adaptation. Climate adaptation synthesis analysis, <https://www.icao.int/environmental-protection/Pages/adaptation.aspx>.

Sobre la base de las respuestas de los Estados miembros de la OACI, el mapa de los riesgos asociados a la adaptación al cambio climático muestra la naturaleza de los efectos previstos del cambio climático en la aviación internacional. Fuente: basado en datos del análisis de síntesis climático de la OACI, véase la referencia 2



clima, el 25 % prevé hacerlo en los próximos 5 a 10 años, mientras que el 6 % señala que no ha planeado ninguna medida. Es necesario llevar a cabo una evaluación de los riesgos derivados del cambio climático para determinar las vulnerabilidades antes de desarrollar una estrategia de adaptación.

En cuanto al grado de preparación del sector de la aviación mundial para hacer frente a los efectos del cambio climático, la mayoría de los encuestados afirmó que, si bien el sector se ha empeñado activamente en la mitigación del cambio climático, se deberían redoblar los esfuerzos orientados a la adaptación al cambio climático; entre otras cosas, es necesaria una mayor coordinación a nivel mundial. En muchas de las respuestas se señaló la necesidad de ampliar el alcance, la formación y la creación de

capacidad, así como la comprensión de las vulnerabilidades específicas del sector. Asimismo, los encuestados opinaron que también podría ser necesario realizar evaluaciones de los riesgos de adaptación, preparar políticas y planificar la resiliencia a nivel mundial.

La Organización de Aviación Civil Internacional tiene previsto cooperar con expertos internacionales para establecer el primer método de evaluación de riesgos del cambio climático reconocido mundialmente. La piedra angular de este método serán la determinación, la caracterización y la visualización de los efectos del cambio climático en la aviación internacional, así como la recopilación de los riesgos a los que pueden estar expuestas las operaciones y las infraestructuras sobre la base de las proyecciones y los escenarios sobre el cambio climático.

Para más información, diríjase a:

## **Organización Meteorológica Mundial**

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

**Oficina de Comunicación y de Relaciones Públicas**

Tel.: +41 (0) 22 730 83 14/15 – Fax: +41 (0) 22 730 80 27

Correo electrónico: [cpa@wmo.int](mailto:cpa@wmo.int)

[www.wmo.int](http://www.wmo.int)