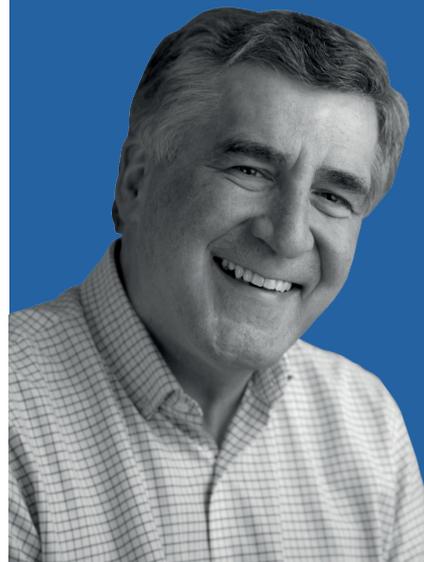


Licenciado en Ciencias Biológicas por la Universidad de Granada. Doctor en Ciencias Biológicas por la Universidad Complutense de Madrid.

En la Universidad de Alcalá ha sido secretario general, secretario del Consejo Social, vicerrector de Investigación y director del Departamento de Biología Vegetal. Es también director de la Cátedra de Medio Ambiente de la Fundación General de la Universidad de Alcalá. Es especialista en el estudio de la vegetación del oeste de Norteamérica, donde ha llevado a cabo su investigación desde 1989. Entre sus últimas investigaciones destacan los temas relacionados con el Cambio Climático y el *Fracking*. Colabora asiduamente en el blog Diálogo Atlántico.

Manuel Peinado Lorca

Catedrático de la Universidad de Alcalá. Departamento de Biología Vegetal.



Twitter: @mpeinadorca

EL CAMBIO QUE NO CESA

Manuel Peinado Lorca

“Formamos parte de la generación que tiene toda la información. Hoy tenemos esa información en nuestras manos [...] Los datos son los que son. No se trata de una exageración de defensores comprometidos. La historia será implacable con aquellos que, conociendo hoy el alcance de la amenaza climática, no fueron capaces de enfrentar el mayor reto de nuestra era.”

Teresa Ribera, ministra para la Transición Ecológica.

El País (8/10/2018).

A finales del pasado mes de septiembre, la Agencia de la Atmósfera y los Océanos de Estados Unidos (NOAA) publicó los datos que confirmaban que durante más de 400 meses consecutivos el planeta ha superado la media de temperatura desde que hay registros¹. En contraposición a 1816, el año del verano que nunca llegó, estamos viviendo veranos eternos en los que continúa la tendencia denunciada en 2016 y 2017, los años más calurosos desde que comenzaron los registros en 1880². El último informe presentado por el IPCC el pasado 8 de octubre³ y el de la NASA⁴ reiteran que hay más del 95 % de probabilidad de que las actividades humanas, traducidas en la emisión de gases de efecto invernadero

(GEI), especialmente reflejadas en el aumento del CO₂ (Figura 1), sean la causa del aumento del calentamiento global del planeta.

Desde el comienzo de la Revolución Industrial cada vez hay más evidencias de un calentamiento global, esto es, de una tendencia ascendente de la temperatura en toda la Tierra, motivada por las actividades humanas, que está provocando un efecto inducido en el cambio climático natural⁵. Algunas consecuencias de cambiar el efecto invernadero natural son difíciles de predecir, pero sabemos a ciencia cierta que acusarán ciertos efectos de que ya son perceptibles por varias pruebas y evidencias que resumo en los siguientes apartados.

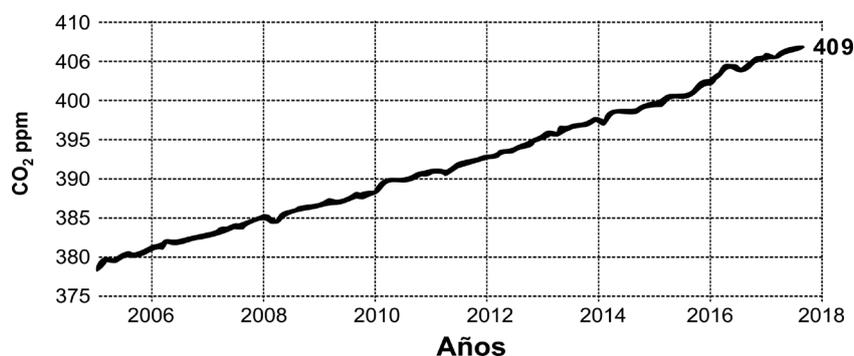
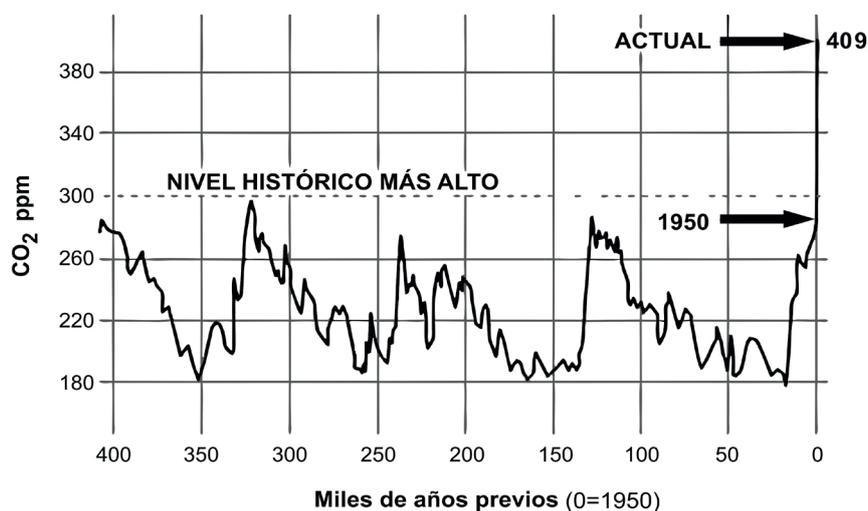
¹ NOAA (September 2018). “Global Climate Report”. <https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/2018/09/supplemental/page-1>.

² NASA (2017). GISS Surface Temperature Analysis. <https://data.giss.nasa.gov/gistemp/>.

³ IPCC (2018). *Climate Change 2018. Synthesis Report. Summary for Policymakers*. http://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/sr15/sr15_spm_final.pdf.

⁴ NASA (2017). “Scientific consensus: Earth’s climate is warming”. <https://climate.nasa.gov/scientific-consensus/>.

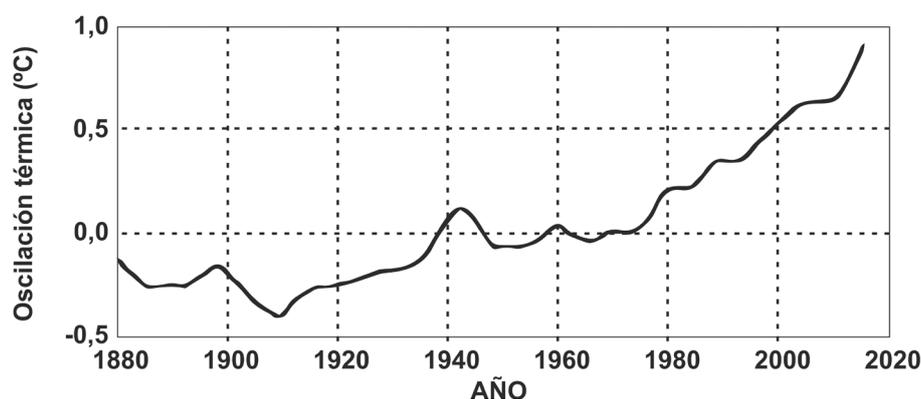
⁵ Peinado, M. (2016). “Cambio climático y Revolución Industrial”. <http://www.sobrestoyaquello.com/2016/08/cambio-climatico-y-revolucion-industrial.html>.



Fuente: climate.nasa.gov

Figura 1. El gráfico de arriba muestra los niveles de CO₂ durante los últimos tres ciclos glaciares, obtenidos analizando núcleos de hielo. El gráfico de abajo muestra los niveles atmosféricos de CO₂ medidos en el Observatorio Mauna Loa, Hawái, en los últimos doce años. Los gráficos, basados en la comparación de muestras atmosféricas contenidas en núcleos de hielo y mediciones directas más recientes, proporcionan la evidencia de que el CO₂ atmosférico ha aumentado desde la Revolución Industrial. Las medidas actuales (409 ppm) son de octubre de 2018. Fuente⁶

⁶ NASA (2018). "Carbon dioxide". *Global Climate Change. Vital Signs of the Planet*. <https://climate.nasa.gov/vital-signs/carbon-dioxide/>.



Fuente: climate.nasa.gov

Figura 2. Cambio en la temperatura superficial global en relación con las temperaturas promedio de 1951-1980. Con la excepción de 1998, 16 de los 17 años más cálidos registrados durante 136 años se han producido desde 2001. El año 2016 es, por el momento, el más cálido registrado. El segundo fue 2017.

1

Aumento de la temperatura global

La temperatura media de la superficie terrestre en todo el mundo ha aumentado aproximadamente unos 1,1°C desde finales del siglo XIX (Figura 2). Cuando se analizan los registros disponibles desde hace 136 años, se observa que la mayor parte del calentamiento ocurrió en los últimos 35 años; si se exceptúa 1998, desde 2001 se han registrado 16 de los 17 años más calurosos de ese período⁷. El año 2016 no solo fue el año más cálido jamás registrado, sino que ocho de sus meses –de enero a septiembre, con excepción de junio– fueron los más calurosos registrados en dicho intervalo².

Los registros paleoclimáticos obtenidos a partir de núcleos de hielo, sedimentos oceánicos, arrecifes de coral, estratos de rocas sedimentarias y anillos de crecimiento de árboles, revelan que el calentamiento actual está ocurriendo a un ritmo diez veces más rápido que la tasa promedio de calentamiento que caracterizó a los períodos cálidos que siguieron a las edades glaciares. Las temperaturas seguirán aumentando y, hacia 2050, la media global será entre uno y dos grados más alta que ahora, dependiendo de cuántos GEI se emitan⁸.

2

Aumento de la temperatura del Ártico

Las capas de hielo terrestre en la Antártida y Groenlandia han estado perdiendo masa desde 2002⁹. Groenlandia perdió entre 150 y 250 km³ de hielo por año entre 2002 y 2006, mientras que la Antártida perdió cerca de 152 km³ entre 2002 y 2005¹⁰. En 2012, el área de Groenlandia afectada por el deshielo de la superficie de los glaciares se extendió desde el 40%-50% habitual hasta el 95%. Si esa gran isla perdiera todo su hielo, el nivel del mar global subiría hasta siete metros en los próximos 300 años.

Tanto la extensión como el espesor del hielo marino del Ártico han disminuido rápidamente en las últimas décadas y alcanzan su mínimo cada septiembre. En el verano de 2012, el hielo ártico alcanzó un mínimo histórico, equivalente al nivel de superficie helada marina que los climatólogos, con sus modelos de proyección, no esperaban hasta 2080. Actualmente, el hielo de septiembre está disminuyendo cada década a una tasa del 13,3 % en relación con el promedio de 1981 a 2010¹¹. Se prevé que a mediados de este siglo los hielos árticos habrán desaparecido completamente durante el verano¹².

⁷ NASA (2017). "Global Temperature". <https://climate.nasa.gov/vital-signs/global-temperature/>

⁸ NASA (2017). "Earth Observatory. How is Today's Warming Different from the Past?" <https://earthobservatory.nasa.gov/Features/GlobalWarming/page3.php>.

⁹ NASA (2017). "Land Ice". <https://climate.nasa.gov/vital-signs/land-ice/>.

¹⁰ NASA (2017). "Global Ice Viewer". <https://climate.nasa.gov/interactives/global-ice-viewer/#/>.

¹¹ Polyak, L. et al. (2009). "History of Sea Ice in the Arctic. In Past Climate Variability and Change in the Arctic and at High Latitudes", U.S. Geological Survey, Climate Change Science Program Synthesis and Assessment Product 1.2.¹² NASA (2017). "Vital Signs". <https://climate.nasa.gov/vital-signs/arctic-sea-ice/>.

¹² NASA (2017). "Vital Signs". <https://climate.nasa.gov/vital-signs/arctic-sea-ice/>.

Pero los riesgos del calentamiento del Ártico van más allá de sus efectos locales. Un factor esencial en la regulación de la temperatura terrestre es el albedo, o razón entre la radiación reflejada por una superficie respecto a la radiación que recibe. El albedo global de la Tierra oscila entre el 30 y el 35 %, que es bastante alto gracias a la nubosidad, pero las variaciones de una región a otra son enormes. En el Ártico, el albedo depende críticamente de la superficie cubierta de hielo o nieve: la nieve fresca refleja el 70 % de la radiación que recibe; el hielo, cerca del 35 %; pero el agua líquida, menos del 10 %. A más deshielo, por tanto, menos albedo, más calentamiento del Ártico y más deshielo, un efecto de retroalimentación positiva que, según calculan los científicos, acelerará el calentamiento de todo el planeta.

El Ártico se está calentando aproximadamente el doble de rápido que otras partes del planeta, y, además de en la fusión de los casquetes polares, sus efectos se dejan sentir en las áreas subárticas que yacen sobre *permafrost*, el subsuelo siempre congelado. En Alaska septentrional, donde el *permafrost* en algunas partes de la vertiente norte se extiende hasta más de 600 metros debajo de la superficie, los científicos están observando que las temperaturas a una profundidad de veinte metros han aumentado en 3° C durante décadas. Los cambios en la superficie han sido aún mayores. En algunos lugares septentrionales, las temperaturas del *permafrost* profundo han pasado de -8 a -3° C. Si las emisiones y el calentamiento continúan a la misma velocidad, las temperaturas cercanas a la superficie se elevarán por encima del punto de congelación a mediados de este siglo¹³.

El problema es que el *permafrost* contiene grandes cantidades de carbono en forma de materia orgánica acumulada principalmente a partir de plantas que tomaron CO₂ de la atmósfera hace siglos, murieron y se congelaron antes de que pudieran descomponerse. En todo el mundo, se cree que el *permafrost* contiene aproximadamente el doble de carbono del que hay en la actualidad en toda la atmósfera. Una vez que este material orgánico antiguo se deshace, los microbios convierten parte del mismo en dos de los más potentes GEI, CO₂ y CH₄, que pueden fluir a la atmósfera y causar aún más calentamiento. Los científicos han estimado que el proceso de descongelación del *permafrost* podría contribuir hasta 1,7 grados

Fahrenheit al calentamiento global en los próximos siglos, independientemente de lo que hagamos para reducir las emisiones de la quema de combustibles fósiles y otras actividades.

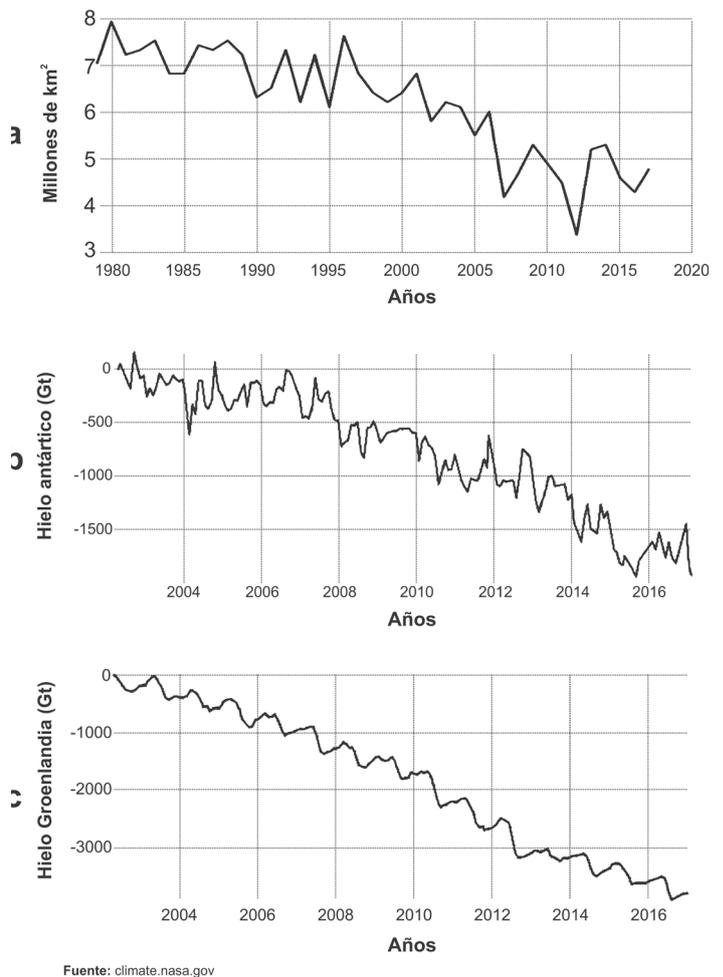


Figura 3. (a) El hielo marino ártico alcanza su mínimo cada septiembre y está disminuyendo a una tasa del 13,2 % por década, en relación con el promedio 1981-2010. El gráfico muestra la extensión promedio mensual del hielo marino ártico cada mes de septiembre desde 1979. Los datos de los satélites GRACE de la NASA muestran que las masas de hielo en la Antártida (b) y Groenlandia (c) han estado perdiendo masa desde 2002. Ambas han visto una aceleración de la pérdida de masa de hielo desde 2009. Las masas de hielo en gigatoneladas (Gt). Fuente¹²

¹³ Fountain, H. (2017). "Alaska's permafrost is thawing". https://www.nytimes.com/interactive/2017/08/23/climate/alaska-permafrost-thawing.html?te=1&nl=&emc=edit_clim_20171018

3

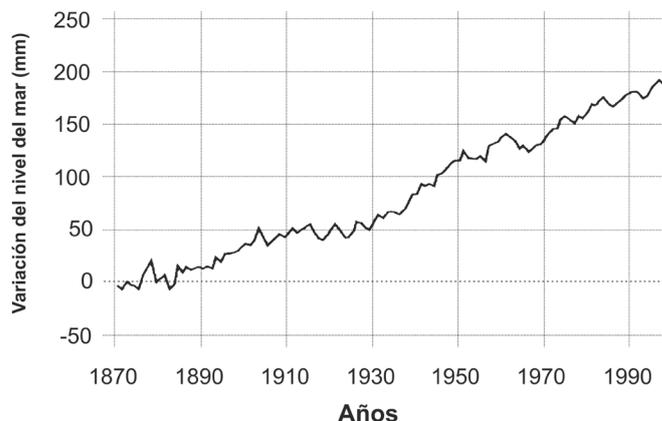
Retirada de los glaciares de montaña y disminución de las capas de nieve

Un estudio publicado en septiembre de 2016¹⁴ sugiere que hasta el 65 % de la masa de los glaciares de alta montaña de Asia podría perderse bajo un escenario de altas tasas continuas de producción de GEI. El continente se enfrentaría así a pérdidas masivas de hielo con graves consecuencias para el abastecimiento de agua potable, tierras de cultivo y presas hidroeléctricas. No es el único caso. En casi todas partes del mundo, incluidos los Alpes, los Pirineos, el Himalaya, los Andes, las Rocosas, Alaska y África, los glaciares se están retirando a tasas sin precedentes en el último siglo. Algunas capas de hielo, glaciares y mantos helados han desaparecido por completo. Muchos más se están retirando tan rápido que pueden desaparecer en décadas¹⁵, mientras que las imágenes de satélite revelan que la cubierta de nieve primaveral en todo el hemisferio norte ha disminuido en las últimas cinco décadas y que la nieve se está derritiendo antes¹⁶.

4

Subida del nivel del mar

El aumento del nivel del mar es causado principalmente por dos factores relacionados con el calentamiento global: el agua agregada por la fusión de las capas de hielo y los glaciares, y la expansión del agua a medida que se calienta. El nivel global del mar aumentó aproximadamente 120 metros desde el final de la última Edad de Hielo (hace aproximadamente 21.000 años), y se estabilizó entre hace 3.000 y 2.000 años. Los análisis sugieren que el nivel global del mar no cambió significativamente desde entonces hasta finales del siglo XIX, cuando los registros muestran evidencias de un aumento de nivel. A mediados del siglo XIX, la tasa de aumento del nivel del mar probablemente comenzó a exceder la tasa media de los 2.000 años anteriores. Mientras



Fuente: climate.nasa.gov

Figura 4. Variación en el nivel del mar desde 1870 elaborada con datos de mareógrafos costeros. Desde 1995, la tasa media de subida anual es de 3,4 mm.

que la subida del nivel medio del mar desde 1900 ha sido de unos 20 centímetros, las observaciones de altimetría satelital, disponibles desde principios de la década de 1990, indican que la tasa de subida casi se ha duplicado en las dos últimas décadas (3). Las distintas previsiones anuncian que para 2050 los valores proyectados están entre 24 y 29 centímetros más, y que en 2100 habrá aumentado entre 30 y 120 cm¹⁷.

El aumento del nivel del mar continuará más allá de 2100 porque los océanos tardan mucho tiempo en responder a las condiciones más cálidas en la superficie de la Tierra. Por lo tanto, las aguas oceánicas continuarán calentándose y el nivel del mar continuará aumentando durante muchos siglos a tasas iguales o superiores a las del siglo actual. Muchos países no tendrán capacidad económica para poner en marcha medidas de adaptación que eviten los impactos más adversos. En algunas provincias españolas, por ejemplo, solo la subida del nivel del mar hacia 2050 puede suponer un coste equivalente a entre el 0,5 % y el 3 % de su PIB, que llegaría al 10 % a finales de siglo. En España, el aumento del nivel del mar será notable en el delta del Ebro o en zonas bajas como la desembocadura del Guadalquivir o Huelva y se perderá gran parte de las playas encajadas en las costas del Cantábrico y de la Costa Brava; el impacto será destacable también en puertos e infraestructuras costeras, incluso con pérdida de operatividad en muchos casos¹⁸.

¹⁴ Kraaijenbrink, P.D.A. et al. (2017). Impact of a global temperature rise of 1.5 degrees Celsius on Asia's glaciers. *Nature* 549: 257–260.

¹⁵ National Snow & Ice Data Center (2017). SOTC: Mountain Glaciers. http://nsidc.org/cryosphere/sotc/glacier_balance.html.

¹⁶ National Snow & Ice Data Center (2017). SOTC: Northern Hemisphere Snow http://nsidc.org/cryosphere/sotc/snow_extent.html.

¹⁷ National Snow & Ice Data Center (2017). SOTC: Contribution of the Cryosphere to Changes in Sea Level. http://nsidc.org/cryosphere/sotc/sea_level.html.

¹⁸ Losada, I. et al. (2014). Cambio climático en la costa española. Oficina Española de Cambio Climático, Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. http://www.mapama.gob.es/es/cambio-climatico/temas/impactos-vulnerabilidad-y-adaptacion/2014_INFORME_C3E_final_tcm7-352338.pdf.

5

Cambios en la circulación oceánica

El pasado mes de julio se publicó un estudio que exponía las primeras pruebas de que la pérdida de hielo en el Ártico está afectando negativamente al sistema de circulación oceánica más grande del planeta. Desde hace algún tiempo, se conoce una zona anómala del Atlántico norte que es inmune al calentamiento que soporta el resto de los océanos de la Tierra. Esta zona fría parece estar asociada con una desaceleración en la corriente del Atlántico sur (AMOC), una de las principales impulsoras de la circulación oceánica mundial. Los cambios en la circulación de la AMOC podrían tener un profundo impacto en el sistema climático global, porque ese mecanismo de transferencia es una de las maneras más eficientes para el transporte de calor desde los trópicos a las latitudes septentrionales. El agua caliente transportada desde los trópicos al Atlántico norte libera calor a la atmósfera, jugando un papel clave en el calentamiento de Europa occidental.

Según el estudio, están aumentando las pruebas de que la zona fría “inmune” del Atlántico norte podría deberse a una desaceleración de la AMOC y, por tanto, de la capacidad del planeta para transferir calor de los trópicos a las latitudes del norte. Eso reduciría la circulación mundial y dificultaría el transporte de aguas tropicales cálidas hacia el norte. Dada la progresiva fusión del hielo marino del Ártico, todo indica que veremos un debilitamiento progresivo del sistema global de circulación oceánica¹⁹.

6

Acidificación de los océanos

De la misma manera que el CO₂ se acumula en la atmósfera y causa el calentamiento global, también se acumula en los océanos, donde cambia la química del agua al formar ácido carbónico (CO³H²). Desde el comienzo de la Revolución Industrial, el mar ha absorbido aproximadamente una cuarta parte de todo el

dióxido de carbono proveniente de combustibles fósiles, el equivalente a 500.000 millones de toneladas, que han provocado que, por el aumento del CO₃H₂, la acidez de las aguas superficiales de los océanos haya aumentado en un 30%. La cantidad de CO₂ absorbida por la capa superior de los océanos está aumentando en alrededor de 2.000 millones de toneladas por año²⁰.

Mientras que la absorción natural de CO₂ por los océanos mundiales ayuda a mitigar los efectos climáticos de las emisiones antropogénicas de ese GEI, el descenso resultante en el pH tiene consecuencias negativas, principalmente para los organismos calcáreos que usan carbonato cálcico para construir cubiertas celulares o esqueletos, que se malforman por la reducción de la calcificación y el incremento de la disolución cuando son expuestos a concentraciones elevadas de CO₂²¹. La acidificación es la principal causa de la pérdida de los grandes arrecifes de coral que albergan la mayor biodiversidad de la Tierra.

7

Fenómenos meteorológicos extremos

Los estudios de los fenómenos meteorológicos extremos provocados por el cambio climático han sido objeto de una publicación de consenso entre científicos²². Fuertes olas de calor, inundaciones o sequías son algunos de los fenómenos cada vez más habituales en nuestro planeta, cuya voracidad y frecuencia se estima que se ha duplicado en los últimos treinta años. Los trópicos se están ampliando hacia latitudes cada vez más altas y el proceso continuará. Desde 1979, el cinturón atmosférico tropical, arrastrando sus condiciones de vientos secos y desiertos, se ha ensanchado entre 225 y 530 kilómetros, sumando el efecto en ambos hemisferios. Además, la fase más intensa de los ciclones tropicales, como huracanes y tifones, se desplaza igualmente con el ensanchamiento del trópico.

Desde 1950, el número de registros de temperaturas máximas extremas el hemisferio norte ha ido en aumento, mientras que el número de temperaturas mínimas extremas ha ido disminuyendo. El incremento de temperatura del agua de los océanos conlleva un ascenso

¹⁹ Peinado, M. (2017). La circulación oceánica se colapsa debido al calentamiento global. <https://www.ultimahoramadrid.com/actualidad/la-circulacion-oceanica-se-colapsa-debido-al-calentamiento-global/>.

²⁰ NOAA (2017). PMEL Carbon Program. Ocean acidification. <https://www.pmel.noaa.gov/co2/story/Ocean+Acidification>.

²¹ Sabine et al. (2004). The Oceanic Sink for Anthropogenic CO₂. *Science* 305: 367-371.

²² National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine (2016). Attribution of Extreme Weather Events in the Context of Climate Change. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/21852>.

Los expertos de la NASA pronostican que en Europa aumentará notablemente el riesgo de inundaciones catastróficas en el interior

del nivel de evaporación del agua y del índice de nubosidad, lo que provoca el aumento de la frecuencia e intensidad de las tormentas, tornados y huracanes. Tradicionalmente esto solo pasaba en el Caribe, pero la tropicalización de los mares provoca que estos fenómenos se den hoy por hoy en casi cualquier lugar del planeta.

Los expertos de la NASA pronostican que en Europa aumentará notablemente el riesgo de inundaciones catastróficas en el interior. En las costas también habrá inundaciones más frecuentes y la erosión se agudizará por las tormentas y la subida del nivel del mar, se reducirán los glaciares en las áreas montañosas, así como la cubierta de nieve en las latitudes altas. La pérdida de especies animales y vegetales será importante y se reducirá la productividad de las cosechas en el sur del continente.

Al Gore aprovechó hace diez años la presentación en Barcelona de su documental *Una verdad incómoda* para dar un toque de atención sobre el cambio climático y repasar los territorios del planeta especialmente expuestos al calentamiento global. Entre esas zonas enfatizó que España está incluida en las áreas donde el calor será más intenso. Pronóstico certero y válido una década después. Las altas temperaturas, y sobre todo la falta de lluvias, han hecho que los campos de España estén resecos. Al cierre de 2017²³, la reserva hidráulica peninsular se situaba en torno al 37,9 %, notablemente inferior a la media de los últimos cinco años (55,9 %) y a la de los últimos 10 años (53,26 %) que de por sí fueron anormalmente secos. Las adversidades climáticas se han agudizado en los tres últimos meses como consecuencia de una doble sequía: hidrológica y

meteorológica. Una situación que ha disparado el secular saqueo, a través de un enjambre de pozos ilegales, que esquilma los acuíferos en zonas protegidas y de gran valor ecológico como las Tablas de Daimiel o Doñana.

8

Impactos geopolíticos y económicos

El clima cada vez más inestable ya no se considera una cuestión eminentemente medioambiental porque el cambio climático global está transformando nuestro concepto de la seguridad y se ha convertido en una de las principales amenazas para el futuro de la humanidad. La perspectiva a que nos enfrentamos es muy alarmante. La escasez de recursos, ya sea energía, agua o tierra cultivable, puede llevar al derrumbe de los códigos de conducta establecidos e incluso al conflicto abierto²⁴.

La evidencia científica reciente ha confirmado –y en algunos casos excedido– nuestros peores temores sobre el impacto a que nos enfrentamos. Cada vez resulta más evidente que el cambio global tiene consecuencias que afectan a las cuestiones capitales de seguridad: inundaciones, enfermedades y hambrunas que ocasionan migraciones a una escala sin precedentes en zonas sometidas ya a gran tensión; sequías y pérdida de cosechas que llevan a una competición más intensa por los alimentos, el agua y la energía en regiones en las que los recursos ya están explotados hasta el límite; y un descalabro económico a escala no vista desde el final de la Segunda Guerra Mundial. Las principales conclusiones del informe Stern, que analiza el impacto del cambio climático y el calentamiento global sobre la economía mundial, afirman que se necesita una inversión equivalente al 1 % del PIB mundial para mitigar los efectos del cambio climático y que de no hacerse dicha inversión el mundo se expondría a una recesión que podría alcanzar el 20 % del PIB global. El informe también sugiere la imposición de ecotasas para minimizar los desequilibrios socioeconómicos, afirmando que: “Nuestras acciones en las décadas inmediatamente venideras pueden implicar el riesgo de una interrupción de la actividad económica y social durante el resto de este siglo y el siguiente, de una escala parecida a la de las grandes guerras y la Gran Depresión”²⁵.

²³ Boletín Hidrológico Semanal (Semana 42). Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. <http://www.mapama.gob.es/es/agua/temas/evaluacion-de-los-recursos-hidricos/boletin-hidrologico/>.

²⁴ National Intelligence Council (2016). Implications for US National Security of Anticipated Climate Change. https://www.dni.gov/files/documents/Newsroom/Reports%20and%20Pubs/Implications_for_US_National_Security_of_Anticipated_Climate_Change.pdf.

²⁵ Stern, N. (2006). Stern Review: The Economics of Climate Change. https://www.wwf.se/source.php/1169157/Stern%20REport_Exec%20Summary.pdf.