

El cambio climático está aquí y no debería sorprendernos

Ricardo García Herrera*

Catedrático de Física de la Atmósfera. Universidad Complutense de Madrid e Instituto de Geociencias (CSIC-UCM).

* Autor de contacto: rgarciah@fis.ucm.es

Los hechos más recientes

La primavera y el mes de julio de 2018 se han caracterizados por elevadas precipitaciones y temperaturas bajas o moderadas en la mayor parte de España. Esto nos ha proporcionado un importante alivio cuando los comparamos con 2017, que se caracterizó por temperaturas extremadamente elevadas. Febrero y marzo de 2017 fueron *cálidos*, abril y julio *muy cálidos*, y mayo y junio *extremadamente cálidos*. Destacó sobre todo junio, que fue el más caluroso desde 1965, con una temperatura media 3 °C superior al promedio climático del periodo 1981-2010. En algunas zonas como el centro peninsular esta anomalía llegó a los 4 °C. Merece la pena destacar la ola de calor que tuvo lugar en la tercera semana de ese mes y afectó, junto con la Península Ibérica, a Francia, Suiza, Bélgica, Holanda y el Reino Unido. En este último país se registró el día de junio más cálido desde 1976. En España se alcanzaron valores típicos de julio y agosto. De hecho, en 11 observatorios principales de AEMET se batió el anterior record de temperatura máxima de junio, llegando a los 44,5 °C en Córdoba y los 43 °C en Sevilla y Badajoz. En paralelo se registró una sequía histórica que perduró hasta marzo de este año, lo que ocasionó graves pérdidas agrícolas y disparó el precio de la luz.

La 'normalidad' del verano de 2018 en nuestro país contrasta con la situación en Escandinavia, donde la temperatura ha batido records absolutos y se han superado los 30 °C en muchos lugares. De hecho, en el faro de Makkaur, Noruega, localizado a 70,7° N, es decir centenas de km dentro del Círculo Polar Ártico, la temperatura mínima fue de 25,2 °C durante la noche del 18 al 19 de julio. En otras palabras, se batieron todos los records y el Ártico registró una noche tropical. Además, el Báltico se encuentra muy caliente, unos 8 °C por encima de la media en la zona entre Finlandia y Suecia. Estas temperaturas estuvieron asociadas a la inusual persistencia de un anticiclón en niveles medios de la atmósfera que también afectó al Reino Unido, donde se han vuelto a batir records históricos, con la mayor ola de calor desde 1976 y el verano más seco desde 1961. En Alemania el gobierno federal ha decretado la sequía como catástrofe natural, estimando las ayudas a los agricultores en 340 millones de euros. Por otra parte, Japón y Corea han experimentado importantes olas de calor en las que se han batido records históricos de temperatura en diversas localidades.

Todos estos datos no son anecdóticos, sino que, en buena parte, son un reflejo del cambio climático. Según el Quinto Informe del Panel Intergubernamental del Cambio Climático, IPCC, que data de 2013,

es altamente probable que las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) debidas a la actividad humana hayan contribuido al aumento en la frecuencia de días cálidos y olas de calor registrados en las últimas décadas. Además, el informe considera que ambos fenómenos seguirán aumentando de aquí a final de siglo debido a la misma causa. Simultáneamente, al analizar las megaolas de calor (aquellas de mayor intensidad y extensión, como los dos eventos sin precedentes ocurridos en Europa durante los veranos de 2003 y 2010), se extraen similares conclusiones: su frecuencia ha aumentado significativamente en el actual siglo y los modelos climáticos coinciden en que seguirá en aumento. Por otra parte, desde hace más de 10 años se ha podido identificar que el Mediterráneo es, junto con otras áreas del globo como el Ártico, un 'hot spot' climático. Esto quiere decir que en esta parte de la Tierra, la señal de calentamiento es superior al promedio global, es decir, se espera que se caliente más rápidamente que el conjunto del planeta. De hecho, existen evidencias recientes de que en la Península Ibérica el verano se está alargando de manera continuada desde 1980 debido a la superposición de causas naturales, como la oscilación a largo plazo de las temperaturas del océano Atlántico, y al calentamiento global de origen antropogénico. La duración del verano ha aumentado a un ritmo de 1 día por año, principalmente como consecuencia de su adelantamiento. Simultáneamente, la temperatura promedio del mes de junio se ha incrementado alrededor de 1 °C durante el mismo periodo.

El sistema climático: cómo es y cómo lo estamos alterando

Para entender lo que está ocurriendo es necesario tener en cuenta las características del sistema climático. Se trata de un sistema complejo formado por la atmósfera, los océanos, la criosfera (cubierta de nieve y hielo de las diferentes partes del globo) y la biosfera o cubierta vegetal de la superficie terrestre. Además de estos elementos propios del sistema climático, hay otros externos (frecuentemente denominados forzamientos) que tienen gran influencia en el mismo. Los principales son las erupciones volcánicas, que en algunos casos pueden llegar a inyectar enormes cantidades de gases y aerosoles en la estratosfera, modificando al balance radiativo de la atmósfera, y las variaciones en los parámetros de la órbita de la Tierra con respecto al Sol (el ángulo de rotación o la precesión por ejemplo). Según se puede observar en la figura 1, todos estos componentes actúan entre sí y lo hacen de manera muy compleja. Así por ejemplo, los cambios en la cubierta de hielo afectan a la temperatura del aire y a velocidad del viento. Por su parte, el viento transmite energía mecánica al océano, el cual, a su vez, altera la temperatura de las masas de aire.

Se pueden destacar tres características principales en estas interacciones que explican la complejidad del

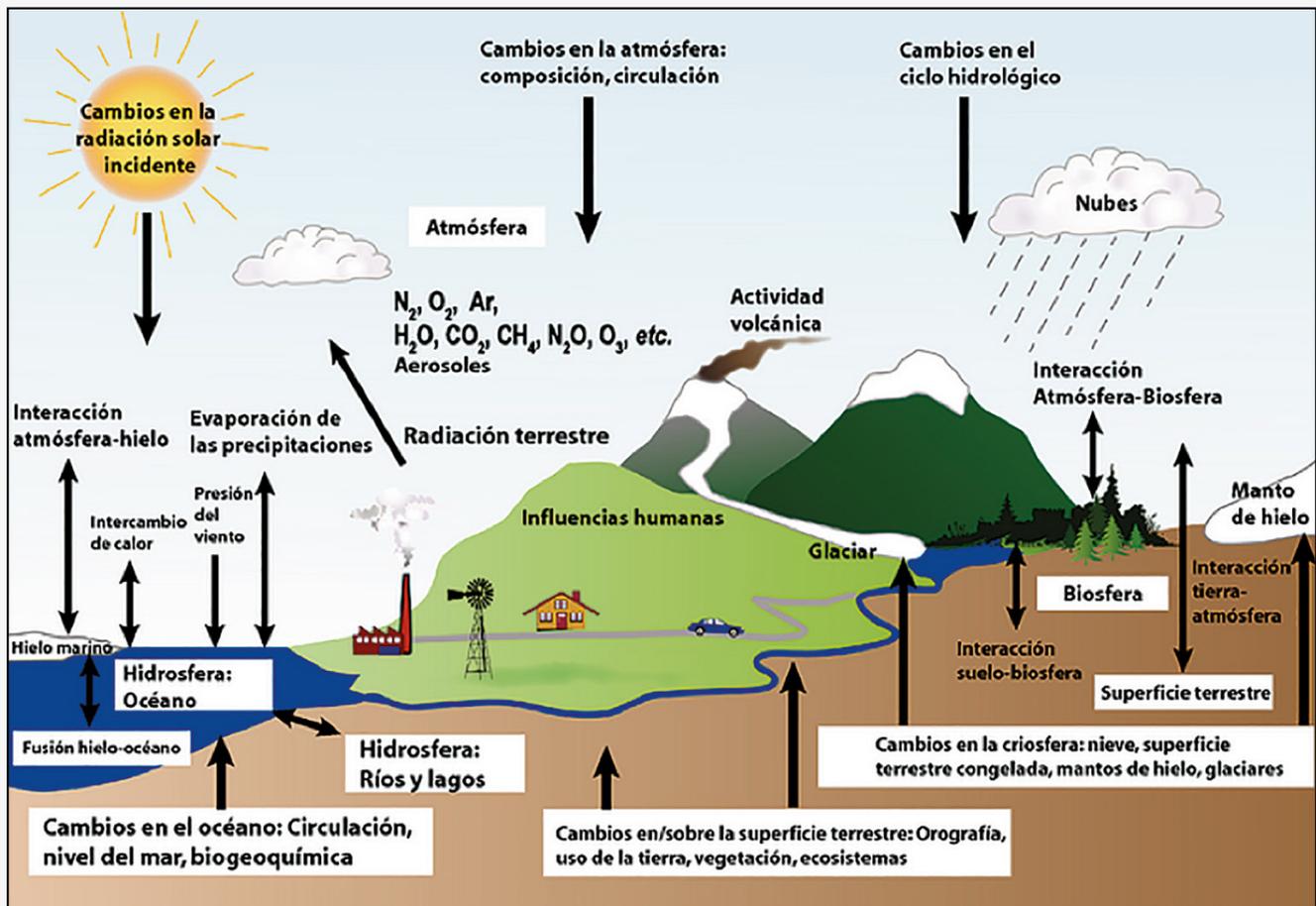


Figura 1. Componentes del sistema climático (Fuente: IPCC). En: https://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/es/faq-1-2-figure-1.html

sistema: retroalimentación, variedad de escalas temporales y no linealidad. Cuando hablamos de retroalimentación nos referimos a que las relaciones entre los diferentes componentes no son en general unidireccionales. Así, por ejemplo, los cambios en la extensión del hielo ártico alteran la temperatura y trayectoria de las masas de aire que, atravesando el Atlántico, llegan a Europa, pero, a su vez estos cambios en la circulación atmosférica afectan a la formación del hielo ártico. Estos mecanismos de retroalimentación pueden ser positivos o negativos. Por otra parte, las escalas de variabilidad de los diferentes elementos son muy distintas. Por ejemplo, el océano tiene una gran inercia térmica y los cambios de sus variables como temperatura o salinidad son mucho más lentos que en la atmósfera, donde las variaciones pueden ocurrir en escalas de minutos o incluso segundos. Además, los efectos de algunos forzamientos, como es el caso de las erupciones volcánicas, se manifiestan en el clima durante unos pocos años, mientras que los ciclos climáticos debidos a las variaciones orbitales son de decenas y centenas de miles de años. La no linealidad implica que los efectos no son proporcionales a las causas, es decir, pequeños cambios en una de las variables o elementos del clima pueden dar lugar a alteraciones muy grandes en otros, y viceversa. Además, si se sobrepasan ciertos umbrales, los cambios pueden ser irreversibles y originarse procesos de histéresis.

Todas estas interacciones se han venido produciendo desde que la Tierra se conformó como tal y son responsables de lo que se denomina variabilidad natural del clima. Estas oscilaciones han sido muy grandes durante la

historia del planeta, que se puede considerar como una sucesión de periodos glaciares e interglaciares que ocurrieron de manera natural y cuya amplitud térmica fue muy superior al actual calentamiento. A estas causas naturales hay que añadir las relacionadas con la actividad humana, sobre todo a raíz del uso intensivo de combustibles fósiles, cuyos efectos en el clima se han manifestado de forma significativa a partir de la segunda mitad del siglo XX. Las emisiones procedentes de la industria y los medios de transporte, junto con la explosión demográfica, explican que el hombre haya pasado a ser un elemento importante del sistema climático, más allá de las alteraciones que sobre la cubierta vegetal pudo producir en los siglos pasados.

Para entender este efecto antropogénico es necesario recordar que la energía procedente del Sol es el motor de la atmósfera. En la cima de la atmósfera se reciben unos 341 W/m², en su mayoría en la longitud de onda del visible; aproximadamente un tercio es reflejada por nubes, aerosoles y la superficie terrestre, algo menos de un quinto es absorbido por la atmósfera y el resto es absorbida por la superficie terrestre. A su vez ésta se calienta y emite energía en longitudes de onda más largas que es absorbida por los GEI presentes en la atmósfera e irradiada hacia el espacio y hacia la superficie de la tierra. Este proceso, que ocurre de manera natural, es el denominado efecto invernadero y lleva consigo un calentamiento de la atmósfera. Sin él la temperatura promedio en la superficie terrestre sería de unos -18 °C y no de 15 °C como ocurre realmente; en otras palabras, no sería posible la vida como la conocemos. Más allá de las pequeñas

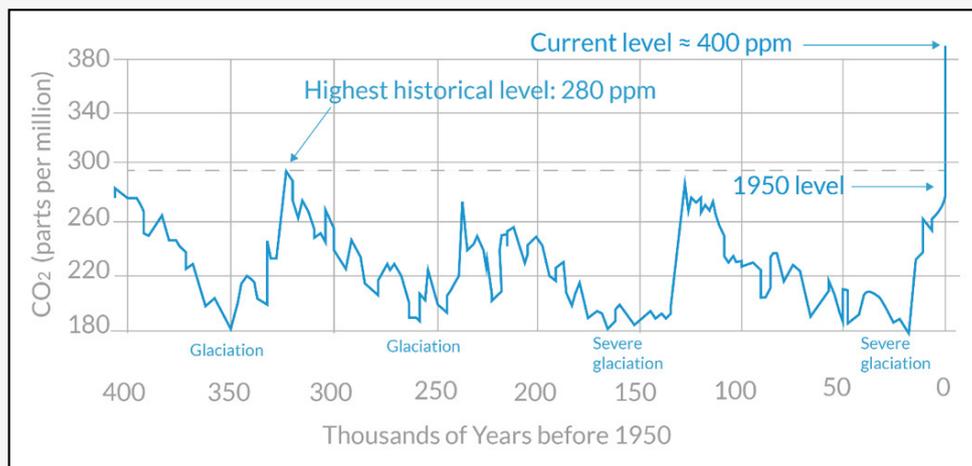


Figura 2. Evolución de la concentración atmosférica promedio de CO₂ en los últimos 400.000 años (Fuente: IPCC).

oscilaciones en la cantidad de energía solar que llega a la cima de la atmósfera, la clave de este proceso radica en la composición de la misma, ya que ésta es la que condiciona su tasa de calentamiento y, por tanto, la temperatura de equilibrio entre la radiación solar, la atmósfera y el suelo. Los principales GEI son el dióxido de carbono (CO₂) y el metano (CH₄). Cuanto más abundantes son los GEI, más se eleva la temperatura de la atmósfera, lo que altera los procesos de intercambio de energía entre los elementos del sistema climático. Mediante diferentes técnicas palaeoclimáticas se ha podido determinar la concentración atmosférica de CO₂ en los últimos 400.000 años. La figura 2 muestra esta evolución y en ella se observan dos hechos muy relevantes.

Por una parte, en la actualidad nos encontramos por encima de los 400 ppm, lo que constituye un máximo de todo el registro; por otra parte, el ritmo de aumento en los últimos 70 años no tiene parangón en ningún otro periodo. En otras palabras, la variabilidad natural del clima nunca fue tan rápida como el cambio inducido por el hombre. El forzamiento radiativo (variación neta del flujo de radiación entrante o saliente del sistema climático entre 1750 y 2011) es una medida habitual de la intensidad del cambio climático producido por un cierto agente. Según el IV Informe del US Global Change Research, de noviembre de 2017, el forzamiento radiativo correspondiente a la actividad humana estaría alrededor de + 2,2 W/m² (calentamiento), el debido a la actividad solar sería inferior a +0,1 W/m², mientras que el debido a los volcanes estaría alrededor de -0,1 W/m² (enfriamiento).

Por otra parte, la Organización Meteorológica Mundial, perteneciente a la Organización de las Naciones Unidas (ONU) que reúne a todos los servicios Meteorológicos del mundo, mantiene una vigilancia constante sobre lo que denomina 'los signos vitales del planeta'. El resultado en su última versión es el siguiente:

- Los niveles atmosféricos de CO₂ siguen aumentando, habiendo alcanzado un valor de 406,94 ppm en septiembre de 2017.
- La temperatura atmosférica en la proximidad a la superficie del globo sigue aumentando (en promedio 1,1 °C desde finales del siglo XIX). Además,

16 de los 17 años más cálidos registrados han ocurrido desde 2001.

- El hielo marino en el Ártico está disminuyendo a un ritmo de 13,2% por década en septiembre (mes en el que registra su extensión mínima).
- Groenlandia y la Antártida pierden hielo desde 2002.
- El nivel del mar está aumentando a una tasa de 3,4 mm/año.
- El contenido calorífico del océano se encuentra en niveles record.

Todo ello no debe sorprendernos, ya que nos encontramos dentro de los escenarios anticipados por el conocimiento científico mediante el uso de modelos climáticos. Éstos permiten resolver las ecuaciones que gobiernan el sistema climático mediante métodos numéricos y aplicando diferentes condiciones de contorno, fundamentalmente las referidas a las emisiones de los GEI esperables en el futuro.

¿Qué debemos esperar?

El consenso científico, expresado mediante los sucesivos informes del IPCC, ha ido aquilatando las proyecciones de clima futuro, cifrando el abanico del calentamiento esperable de aquí a finales de siglo en un intervalo entre 1,5 °C y 4 °C, según el escenario de emisiones de GEI considerado. Hay que tener en cuenta que estas cifras se refieren a la temperatura media global del planeta, debiendo ser cuidadosos en su interpretación por distintos factores. En primer lugar, tal y como se puede ver en la figura 3, los cambios en la temperatura pueden ocurrir de diferentes maneras: un simple desplazamiento de la media, un aumento de la variabilidad, o bien ambos a la vez.

En cualquier caso, el resultado es un aumento de los extremos, por lo que el impacto es mucho mayor que lo que cabría esperar de un mero incremento de la temperatura local promedio. Por otra parte, tal y como hemos señalado anteriormente, el aumento de temperaturas lleva asociado cambios muy relevantes en la circulación de la atmósfera. Por tanto, estamos hablando no sólo de un clima más caliente, sino de un clima alterado

en el que los extremos de otras variables como la precipitación, también se verán modificados. Por último, es necesario señalar que los cambios no serán uniformes espacialmente, sino que se distribuirán de manera heterogénea. De ahí que se hayan identificado algunas regiones 'hot spot', como es el caso del Mediterráneo. Por ello, para nuestro entorno más inmediato debemos esperar un aumento de olas de calor y, con menor grado de certidumbre, de los extremos del ciclo hidrológico, es decir, de la recurrencia de sequías y precipitaciones intensas.

Una característica importante de los GEI es su alto tiempo de residencia en la atmósfera, que depende del gas en cuestión pero suele rondar las decenas de años. En otras palabras, una vez que se han emitido permanecen circulando en la atmósfera durante décadas antes de ser eliminados. Esto hace que el problema del cambio climático sea global, ya que los GEI emitidos en un cierto lugar terminan afectando al conjunto del sistema. Por ello, a diferencia de los problemas de calidad del aire urbano, que están originados por gases y aerosoles cuyo tiempo de residencia es de unos pocos días en la mayoría de los casos, y que pueden ser en gran medida abordados localmente, las estrategias para la reducción de los GEI deben ser a escala global. Esto se ha venido intentando mediante diferentes acuerdos internacionales

auspiciados por la ONU. La gran diversidad en el nivel tecnológico, político y de desarrollo de las distintas naciones ha hecho que la adopción de los mismos haya sido siempre difícil y su aplicación práctica escasa. El último acuerdo alcanzado en París establece como objeto global de aquí a final de siglo un aumento de la temperatura promedio del planeta de 2 °C, así como los mecanismos de aplicación a nivel nacional. Seguramente se trata del mejor acuerdo posible que se ha podido alcanzar. Sin embargo, mientras se aplica en la práctica, las cifras nos indican que las emisiones globales han venido aumentando desde 1990, año que se toma de referencia. Excepto en la Unión Europea, que experimentó un descenso de un 22% hasta 2015, todas las regiones han incrementado sus emisiones, especialmente Asia. En España las emisiones no han seguido la tendencia europea, sino que han aumentado el 19% durante el mismo periodo. Dicho aumento ha continuado, con un incremento del 4,4% en 2017 con respecto a 2016.

Cabe señalar que el cambio climático está aquí para quedarse durante varias generaciones. En efecto, al ser el tiempo de residencia de los GEI tan elevado, su concentración no disminuiría significativamente hasta dentro de varias décadas aunque cesasen sus emisiones de manera inmediata. Se trata por tanto de un legado intergeneracional que hay que afrontar. Para ello es necesario emprender acciones de mitigación destinadas a reducir y limitar las emisiones de estos gases, así como adoptar medidas de adaptación que reduzcan los efectos derivados del cambio climático.

Finalmente, es preciso tener en cuenta la desigualdad con la que se afronta el problema del Cambio Climático, que hace que sean los más pobres los más vulnerables. Así, dentro de los países desarrollados, se producen desigualdades relevantes. Por ejemplo, no toda la población dispone de los recursos necesarios para la adquisición de equipos de aire acondicionado y, a veces, para pagar la factura de la luz para su funcionamiento. A escala internacional, los países menos desarrollados no cuentan con recursos suficientes para adoptar políticas de mitigación y adaptación al cambio climático. En otras palabras, no pueden, por ejemplo, adaptar sus infraestructuras (abastecimiento de aguas, carreteras, protección costera, etc.) a los efectos del cambio climático, por lo que deben ser apoyados para que puedan desarrollar políticas de adaptación eficaces.

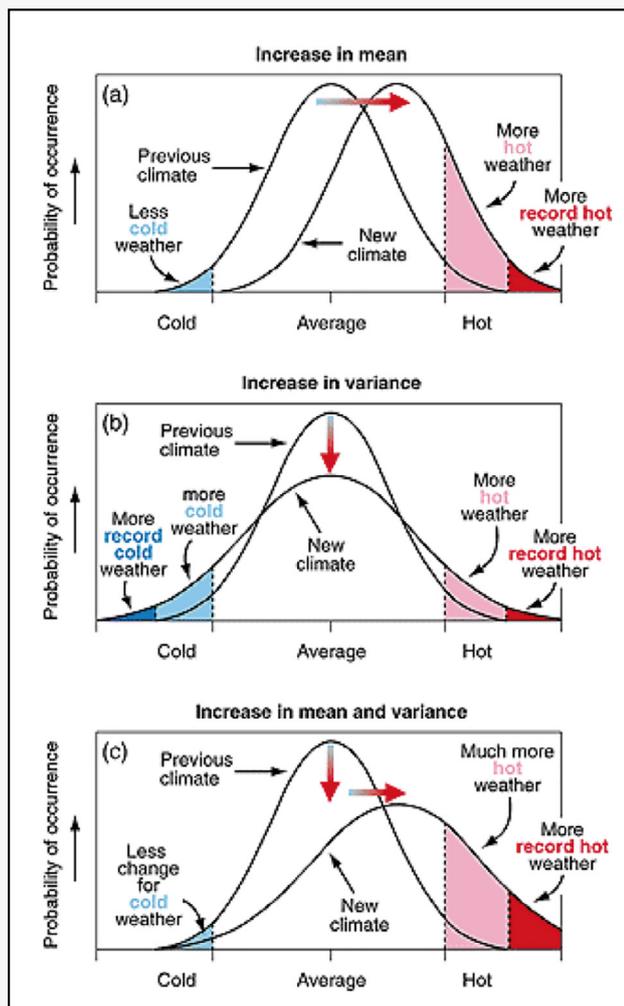


Figura 3. Efecto del aumento de la temperatura media y de la varianza sobre las temperaturas extremas para una distribución normal de la temperatura. Fuente IPCC (<https://www.ipcc.ch/ipccreports/tar/wg1/088.htm>).