CAMBIO CLIMÁTICO: UN PROBLEMA GLOBAL, MEDITERRÁNEO Y BALEAR

Dr. Romualdo Romero March (Profesor Titular del Grupo de Meteorología de la UIB)

Cambio climático, tema recurrente en los medios de comunicación y de discusión ya habitual en nuestras relaciones. Siempre nos envuelve, a veces con manifiesta presencia o, cuando menos, en un estado latente dispuesto a emerger de nuestras conciencias cada vez que nos azota un gran temporal, una nevada histórica o una ola de calor sofocante. Nada más erróneo e injusto que esto último. El clima es estadística, y en consecuencia, el cambio climático se manifiesta como la variación de alguno de los indicadores estadísticos que lo definen. En cambio, la ocurrencia de un evento meteorológico particular no tiene ningún significado estadístico fuera de su contexto temporal. Es la sucesión en el tiempo de las variables o eventos meteorológicos la que define la información climática, especialmente para fenómenos extremos por ser éstos poco frecuentes. El número de aguaceros intensos en la ciudad de Barcelona en los últimos 50 años es indicativo de su clima, pero la tormenta que produjo 140 litros por metro cuadrado el 1 de agosto de 2002 no nos informa por sí misma del clima de la ciudad y mucho menos de su cambio. A lo sumo podría recordarnos que, respecto al pasado, hay que esperar más –o menos– eventos de ese tipo en consistencia con el signo y magnitud de las tendencias climáticas observadas o calculadas para el futuro. Es decir, el clima lleva asociada una simple noción probabilística de lo que potencialmente “puede ocurrir”. Una precipitación diaria superior a 100 litros por metro cuadrado es más probable en Barcelona que en La Coruña por ser el clima mediterráneo más propenso a ello que el atlántico, y sin embargo puede suceder que durante un decenio concreto nuestra caprichosa atmósfera haya ofrecido alguna precipitación de tal magnitud a La Coruña y ninguna a Barcelona. O que el año que viene llueva más en Barcelona que en La Coruña. En ningún caso nos atreveríamos seriamente a afirmar que se han invertido los climas del país.

Esencialmente, pues, el clima contiene los rasgos característicos de las condiciones ambientales que impone la atmósfera cuando éstas se consideran en intervalos de tiempo largos. Afortunadamente se dispone de series instrumentales muy largas de las variables meteorológicas que más nos afectan, como la temperatura y precipitación. Un tratamiento estadístico de las series permite caracterizar muy bien el clima de una región y los cambios que éste ha sufrido. Para épocas anteriores a la era instrumental, existen métodos indirectos paleoclimáticos que permiten reconstruir los climas que había entonces. Las variables meteorológicas, muy lejos de tener un comportamiento monótono, poseen una variabilidad propia que hace del tiempo “meteorológico” un aspecto del máximo interés para nuestras vidas. Cambian durante el día, de un día a otro, entre las estaciones del año, de un año a otro y entre diferentes localidades del globo o de una misma región, en respuesta a la incesante actividad del flujo atmosférico y oceánico por corregir los desequilibrios energéticos que continuamente genera el Sol entre diferentes latitudes y niveles de la atmósfera y los océanos. Entre los indicadores estadísticos que definen el clima deben por lo tanto incluirse no sólo los valores medios de las variables sino información sobre su variabilidad y sobre la frecuencia y magnitud de los extremos. Solamente los cambios en esos indicadores que ocurran en escalas de tiempo claramente superiores a las antes mencionadas pueden catalogarse como una señal de cambio climático.

Cabe ahora preguntarse si el clima es una característica regular de cada zona o si, como su hermano pequeño el tiempo, posee también una cierta variabilidad natural. Si

recordamos que los climas de la Tierra -aunque fuertemente modulados por la distribución de tierras y mares, la presencia de orografía y otras muchas características superficiales- son en definitiva consecuencia de los desequilibrios energéticos que se generan en el seno del planeta, se puede examinar la cuestión a través de los factores que pueden hacer variar la cantidad de radiación solar que llega a las diferentes zonas de la Tierra o que afectan al balance de energía del sistema. Entre tales factores, puede destacarse la irregular actividad solar (incluyendo el efecto de manchas solares), las variaciones que con períodos de miles de años afectan a las pautas del movimiento de la Tierra alrededor del Sol (o ciclos de Milankovitch), impacto de meteoritos o cometas, actividad volcánica o cambios en la composición atmosférica. Esos y otros muchos factores han actuado desde la génesis misma del planeta, y tal como prueban los registros paleoclimáticos, el clima es una característica que siempre ha cambiado. Además se puede afirmar que considerando únicamente causas naturales, lo seguirá haciendo en el futuro.

Entonces, ¿por qué hablamos del “problema” del cambio climático si éste siempre ha existido? La respuesta es simple: Superpuestos a las causas naturales, se han introducido forzamientos antropogénicos sobre el sistema climático, significativos desde la Revolución Industrial en el siglo XIX y mucho más acusados hacia la actualidad, que han supuesto un cambio repentino de las variables climáticas. Con gran probabilidad, dicho cambio será mucho más amplio en las próximas décadas. Tanto como para sacar a relucir la vulnerabilidad de muchos territorios y comprometer seriamente su capacidad de adaptación.

El mecanismo físico principal por el que la especie humana ha hecho ya notar su influencia sobre el clima es la capacidad que tienen algunos gases de la atmósfera de atrapar en el entorno de la superficie terrestre una fracción de la radiación infrarroja que emite la Tierra hacia el espacio. A esos gases se les denomina de efecto invernadero ya que, aunque por mecanismos físicos distintos a los que operan en un invernadero, consiguen mantener una temperatura sensiblemente mayor en la superficie terrestre (15°C de media) que la que se tendría sin su presencia (-18°C). Claramente, son unos agentes imprescindibles para hacer de la mayoría de las regiones del globo entornos habitables, pero la concentración de algunos de ellos ha aumentado notablemente por efecto del consumo de combustibles fósiles, la agricultura y cambios en el uso de las tierras respecto a los valores naturales o de equilibrio que existían en la época preindustrial: La concentración de dióxido de carbono aumentó de 288 ppm^1 durante el período 1000-1750 a 368 ppm en el año 2000; la del metano de 700 ppb^2 a 1750 ppb ; la del óxido nitroso de 270 ppb a 316 ppb ; y la concentración del ozono troposférico, dependiendo de las regiones, aumentó aproximadamente un 35% entre los años 1750-2000. La concentración de aerosoles también aumentó, y aunque su efecto directo es un enfriamiento de la superficie terrestre, dicho efecto se ve ampliamente superado por el calentamiento inducido por los gases de efecto invernadero. Conviene recordar que algunos de esos componentes poseen tiempos de vida muy prolongados, y que su inyección creciente a la atmósfera ha superado ampliamente la capacidad de absorción de los sumideros naturales (por ejemplo los océanos en el caso del dióxido de carbono).

La consecuencia esperable del aumento de la concentración de los gases de efecto invernadero ha sido el incremento de la temperatura media mundial de la superficie o calentamiento global ($0,6^{\circ}\text{C}$ durante el siglo XX). En el Hemisferio Norte dicho aumento ha sido superior que en cualquier otro siglo de los últimos 1.000 años, y el decenio de 1990 fue el más cálido del milenio. La temperatura aumentó más sobre tierra que sobre los océanos y

¹ ppm: partes por millón.

² ppb: partes por billón.

las temperaturas mínimas nocturnas lo hicieron el doble que las máximas diurnas. Otras manifestaciones del cambio climático durante el siglo XX han sido las siguientes: aumento de días calurosos y olas de calor y disminución de días de frío y heladas en las zonas terrestres; aumento de las precipitaciones continentales en un 5-10% en el Hemisferio Norte aunque han disminuido en África del Norte y occidental y partes del Mediterráneo; aumento de precipitaciones fuertes en latitudes medias y altas; aumento del clima seco estival y las consiguientes sequías, particularmente en partes de Asia y África; aumento de la media mundial del nivel del mar a una velocidad de 1-2 mm por año por efecto de la expansión térmica de los océanos y la fusión generalizada de los hielos terrestres; disminución de unas 2 semanas en la duración de las capas de hielo en ríos y lagos de latitudes medias y altas; disminución notable de la extensión y espesor del hielo marino en el Ártico; retiro generalizado de los glaciares no polares; disminución de la extensión de las zonas nevadas en un 10% desde 1960; fusión, calentamiento y degradación del permafrost en las zonas polares, subpolares y regiones montañosas; mayor frecuencia, persistencia e intensidad durante los últimos 20-30 años de los fenómenos asociados con El Niño; aumento de 1 a 4 días por decenio de la época de crecimiento de cultivos y bosques durante los últimos 20-30 años en relación con los últimos 100 años; desplazamiento de plantas, insectos, pájaros y peces hacia los polos o hacia altitudes más altas; adelanto de la floración, la llegada de las primeras aves, la época de cría y la aparición de los insectos en el Hemisferio Norte; aumento de la frecuencia de decoloración de los arrecifes de coral, especialmente durante los fenómenos asociados con El Niño; aumento de hasta un orden de magnitud de las pérdidas económicas mundiales relacionadas con fenómenos meteorológicos durante los últimos 50 años, una vez ajustadas a la inflación.

Mediante la aplicación de sofisticados y realistas modelos físico-matemáticos que incorporan representaciones de los principales procesos que interactúan en el sistema climático (Atmósfera, Hidrosfera, Litosfera, Criósfera y Biosfera), se ha podido simular satisfactoriamente la evolución del clima terrestre desde la época preindustrial y concluir que los cambios anteriores son debidos fundamentalmente a las causas antropogénicas. Lógicamente, los cambios observados para las variables climáticas no son homogéneos sobre el planeta sino que pueden mostrar grandes irregularidades y hasta signos opuestos entre regiones distintas, lo cual pone de manifiesto la gran complejidad del sistema climático. En los países mediterráneos el calentamiento observado ha sido ampliamente superior al promedio del globo (unos $0,8^{\circ}\text{C}$ durante el último cuarto del siglo XX). En las Islas Baleares ha sido todavía mayor: 1,5 y $1,75^{\circ}\text{C}$ para las máximas y las mínimas, respectivamente, durante el mismo período. Si se atiende a la precipitación, variable muy crítica en el arco mediterráneo y sobre todo en sus islas por la escasez de recursos hídricos abundantes y estables, los cambios detectados no son precisamente alentadores: una disminución del 20% de la precipitación anual durante el siglo XX para el conjunto del Mediterráneo y una disminución similar para las Islas Baleares solamente durante el período 1950-2000. Además parece haberse producido una modificación del régimen pluviométrico mediterráneo, con una tendencia hacia una mayor contribución de las precipitaciones débiles e intensas a los totales anuales y un menor peso de las moderadas. Es decir, una extremización de las lluvias.

Parece lógico pensar que una simple extrapolación de las tendencias observadas durante el siglo XX hacia el futuro no es el método más correcto para estimar la evolución posterior del clima. Con todo el rigor científico, dicha estimación se fundamenta en la aplicación de los modelos de simulación climática antes mencionados bajo la influencia de toda una gama de escenarios socioeconómicos probables que regularán las emisiones futuras de los gases de efecto invernadero y aerosoles. Para los seis escenarios principales la

concentración proyectada de dióxido de carbono en el año 2100 oscila entre 540 y 970 ppm (compárese con los 280 ppm en la época preindustrial y los cerca de 368 ppm en el año 2000). En definitiva, las simulaciones climáticas realizadas por diferentes modelos y según los distintos escenarios permiten obtener un abanico de proyecciones futuras del clima que con gran probabilidad comprenderá la evolución real. El aumento de la temperatura media de la superficie del planeta será de 1,5-6,0 °C en el período 1990-2100, una velocidad de calentamiento sin precedentes durante, al menos, los últimos 10.000 años si se atiende a los datos del paleoclima. Se proyecta que durante el siglo XXI se incremente la precipitación media anual en el globo, aunque con aumentos y disminuciones a la vez sobre diferentes zonas y una tendencia hacia mayores variaciones de las precipitaciones de un año a otro. Se proyecta que los glaciares y las capas de hielo continúen su retirada generalizada durante el siglo XXI y que el nivel medio mundial del mar se eleve entre 10 y 90 cm, si bien con importantes variaciones regionales.

Los estudios anteriores también indican un aumento en la variabilidad climática y algunos fenómenos extremos: temperaturas máximas más altas, más días calurosos y olas de calor en casi todas las zonas terrestres; aumento cada vez mayor de las temperaturas mínimas, con menos días fríos, días con heladas y olas de frío en casi todas las zonas terrestres; aumento de las precipitaciones intensas en muchas zonas; aumento del clima seco estival en la mayoría de las zonas interiores continentales de latitud media, y del riesgo asociado de sequías; aumento de la intensidad máxima de los ciclones tropicales y de la intensidad media y máxima de las precipitaciones en algunas zonas; aumento de las sequías e inundaciones asociadas con el fenómeno de El Niño en varias zonas; aumento de la variabilidad en precipitaciones monzónicas en Asia; aumento de la intensidad de tormentas en latitudes medias.

En las regiones mediterráneas se proyecta un calentamiento notablemente superior al calentamiento medio planetario, por lo general durante todo el año pero que será más acusado en los meses de verano. Respecto a las precipitaciones en esa zona, los modelos climáticos indican una notable disminución en los meses más cálidos y una tendencia poco definida durante el resto del año. La adaptación de los resultados climáticos a zonas tan concretas como el Mediterráneo, o más aún, las Baleares, continúa siendo un gran reto en el campo de la investigación del cambio climático. Especialmente para una variable tan compleja como la precipitación, la cual posee una gran variabilidad espacial y temporal, se hace necesaria la aplicación de las llamadas “técnicas de regionalización” de las simulaciones climáticas globales. Una de tales técnicas ha permitido estimar una cierta disminución de las precipitaciones anuales medias en el conjunto de las Islas Baleares durante el siglo XXI (aunque con aumentos en las Pitiusas) y una mayor incidencia de temporales de levante que como bien es sabido suelen acarrear lluvias muy intensas en las islas. Además, en concordancia con los resultados globales, se espera una mayor variabilidad de las precipitaciones entre unos años y otros. Es decir, una acentuación de la irregularidad que de un modo natural ya caracteriza a nuestro régimen pluviométrico mediterráneo.

Finalmente, debe mencionarse que la mayoría de los cambios proyectados a nivel global, mediterráneo y balear resultan mayores para los escenarios socioeconómicos que dan como resultado emisiones más importantes, tal como cabría esperar. También parece lógico que el cambio climático proyectado puede tener consecuencias ambientales y socioeconómicas positivas y negativas, pero existe consenso en que cuanto mayores sean los cambios climáticos y su ritmo, predominarán los efectos negativos, particularmente en los países en desarrollo y las poblaciones más desfavorecidas. Las estrategias de adaptación

pueden reducir los efectos adversos del cambio climático y, a menudo, producir efectos beneficiosos secundarios, pero no podrán evitar todos los daños. Igualmente aparente es la única receta posible para retrasar y reducir los daños causados por el cambio climático: reducir las emisiones de gases de efecto invernadero para estabilizar algún día su concentración atmosférica.

Bibliografía recomendada en la web

1) *Encyclopedia of the Atmospheric Environment*, con conceptos y fundamentos físicos sobre clima y cambio climático:

<http://www.ace.mmu.ac.uk/eae/>

2) *Intergovernmental Panel on Climate Change*, con los últimos estudios y conclusiones sobre el cambio climático alcanzados por el grupo de expertos del IPCC, establecido por Naciones Unidas y la Organización Meteorológica Mundial:

<http://www.ipcc.ch/>

3) *Página web del autor*, con publicaciones específicas elaboradas por el Grupo de Meteorología de la UIB relativas al Mediterráneo y las Baleares:

<http://www.uib.es/depart/dfs/meteorologia/ROMU>