

## LAS NUEVAS CLIMATOLOGIAS

Andrés Sáez Rivilla\*  
Meteorólogo

Hemos tenido un año agrícola 1992 lleno de percances climatológicos modulados por una larga sequía iniciada en la primavera anterior (abril de 1991 estuvo al 50% de su valor normal de lluvia, y la sequía fue casi absoluta en los meses siguientes, desde mayo hasta agosto)<sup>1</sup>. La principal causa de los mismos ha radicado en las situaciones de bloqueo atmosférico que una y otra vez han tenido lugar, y tanto los períodos de prolongada sequía como las abundantísimas lluvias del mes de junio han supuesto un continuado desafío para la climatología y los métodos de predicción numérica del tiempo atmosférico. Para la climatología, porque la presencia en la atmósfera de mecanismos que hacen casi estacionarios los valores de las variables durante períodos muy largos, del orden de los 30 días por término medio, han hecho que tanto los valores medios como los momentos de orden superior de los distintos elementos meteorológicos se hayan alejado de los obtenidos en el período normal 1961-90. Para los métodos de predicción, porque tales situaciones quedan fuera de su alcance, y no permiten en el pronóstico determinar ni la formación, ni la preferencia de localización geográfica, ni la duración de tales situaciones de bloqueo. Es más, ni siquiera hay esperanzas de que en un futuro tales técnicas de predicción numérica puedan alcanzar a resolver cierto límite, hoy día todavía muy mal definido, pero que podemos fijar sin mucho error en diez días; esto es, de una escala muy inferior a la del problema que necesitamos abordar<sup>2,3</sup>.

La Organización Meteorológica Mundial (O.M.M) recomendó inicialmente elegir un período de 30 años para obtener los valores climatológicos de referencia, período suficientemente largo para con ello estabilizar las distribuciones de las variables meteorológicas. Posteriormente se vio la necesidad de recomendar el cambio al período siguiente de 30 años, una vez finalizado este (1931-60; 1961-90; etc.). El criterio ahora recomendado es actualizar tales valores normales cada diez años, al principio de cada década (1951-80; 1961-90; 1971-2000; etc.). Es decir, se pretende con ello mejorar la estimación de la distribución de las variables meteorológicas, o, en otras palabras, se admite que la mejor estimación de los valores presentes la proporciona la serie de 30 años más reciente. Para obtener la mejor estimación posible de la temperatura media del año próximo, Panofsky<sup>4</sup> llega a recomendar que se acorte incluso la serie de temperaturas medias a los 15 años más recientes, e igual recomendación hace para la precipitación. La razón es que en los promedios de 30 años intervienen fenómenos de longitud de onda muy larga, los cuales pueden corresponder a mecanismos ya inexistentes en la atmósfera, por lo que, a los efectos, hacen las veces de una especie de «ruido» en la serie climatológica.

A la vista de estos problemas, lo más apropiado sería reconocer que cada vez es más difícil poder sostener la hipótesis de una atmósfera estacionaria. Hay que tomar pues como premisa esencial el que el clima de una localidad no puede fijarse de una vez por todas, ni siquiera durante estos períodos de 30 años o en otros más largos.

---

<sup>1</sup> Boletín Mensual Climatológico de Andalucía Occidental, agosto 1992.

<sup>2</sup> Boletín Mensual Climatológico de la Cuenca del Guadalquivir, diciembre 1991.

<sup>3</sup> Boletín Mensual Climatológico de Andalucía Occidental, junio 1992.

<sup>4</sup> H. A. Panofsky and G. W. Brier, «Some Applications of Statistics to Meteorology», Universidad Park, Pennsylvania, 1968.

Esto nos llevaría a una climatología donde sus promedios sólo acabarían la escala dominante en la atmósfera en un momento dado, aunque estos períodos sean mucho más cortos o mucho más largos que los referidos 30 años. Habría pues tantas climatologías como escalas y por ello, al referirnos a una zona sería mejor hablar de sus climatologías, en lugar de emplear el singular. Sin embargo, los promedios sobre períodos muy cortos pierden su sentido estadístico, el cual sólo se manifiesta cuando el número de casos tratados es muy elevado; luego habría que buscar un equilibrio, o incluso tal circunstancia podría obligar en el estudio a cambiar de método. Dado que ahora los climas de una zona se sucederían en su curso normal, cuando hablásemos de la existencia de un *cambio climático* dejaríamos sin sentido nuestra afirmación si a continuación no indicáramos la escala o escalas en las que se van a experimentar tales cambios, o sea, que distribuciones de las variables a determinada o determinadas escalas van a experimentar un cambio cronológico, debido a forzamientos naturales o externos, y deberemos indicárlas explícitamente.

Históricamente, la tremenda complejidad del problema climático no se ha dejado nunca reducir al ámbito o las técnicas y reglas empíricas de la predicción, comparativamente mucho más sencillas que las que se necesitan en la descripción o pronóstico del sistema climático. Como consecuencia de ello, ambas ciencias caminaron secularmente por separado, limitándose en esencia la climatología a ser meramente descriptiva, y en su desarrollo han participado, junto a los meteorólogos, notables geógrafos, ingenieros, médicos, etc., cada uno con el enfoque propio de su profesión. A pesar de su interés, ya se ha dicho que esta climatología no cubre las necesidades de crecimiento actual, ni las repercusiones de este desarrollo, de manera que los responsables de las economías o de la sanidad de cada país por separado, o incluso como hemos visto en la reciente Reunión sobre Biodiversidad de Río de Janeiro (Brasil), celebrada en el mes de junio de 1992, y en la que han participado los jefes de gobierno de los numerosos estados que pueblan la Tierra, todos dudan a la hora de tener que tomar decisiones importantes sobre planificación, algunas de carácter tan urgente que quizá no deberían esperar más. Tales planificaciones afectan a cuestiones como el aumento del «agujero» de ozono en la Antártida; el efecto invernadero, incrementado por las emisiones industriales; la lluvia ácida que deteriora nuestros bosques; la deforestación de las tierras con fines agrícolas u otras; el envenenamiento progresivo de las cadenas alimentarias; o bien, la modificación del ciclo hidrológico por la alteración de la escorrentía de las aguas superficiales, lo que da origen a cambios trascendentes en la vegetación.

El clima (los climas) de cada localidad lo determina el tipo de interacción existente en cada época entre el terreno y la atmósfera, mediante el intercambio de calor y vapor de agua principalmente. Por tratarse de un sistema abierto (con influencias externas) ya hemos indicado antes, al comienzo de este estudio, la dificultad de suponer un estado atmosférico estacionario (siempre con la misma distribución en las variables meteorológicas). Cuando ampliamos el estudio del clima a todo el planeta, esta hipótesis de considerar el clima bajo condiciones estacionarias se vuelve más plausible, sólo perturbada por las posibles influencias planetarias, las cuales parecen inducir en la atmósfera frecuencias de cientos o miles de años, o bien algunas otras que citaremos más tarde. Lo que sucede ahora con el caso global es que hay que aumentar el número de interacciones en la configuración del clima, antes únicamente limitada al terreno y la atmósfera. Hay que añadir en el sistema climático global las alteraciones *criosfera-océano-atmósfera*. Todos los componentes del sistema climático están acoplados entre sí, siendo la atmósfera la que oscila más rápidamente. Podemos figurarnos un sistema de tres masas, cada una de ellas representando uno de estos componentes del sistema climático, unidas en serie mediante resortes: la masa más pequeña es la asociada a la atmósfera, unida por un muelle de cierta rigidez a otra

masa mucho mayor que representa el océano, el cual, a su vez, a través de un muelle de una rigidez todavía mayor, se une a la masa que representa la criosfera. Nuestra dificultad como profesionales de la meteorología radica en determinar si algunos de los cambios climáticos que se observan son debidos a las vibraciones internas de este sistema, esto es, a la redistribución de energía entre estos tres depósitos principales, o bien si son debidas a los factores externos al sistema climático (erupciones volcánicas, el CO<sub>2</sub> de las actividades industriales o a variaciones en la actividad del sol). Intuitivamente, cabe pensar que las fluctuaciones de escala temporal menor son las de origen interno, y que son las de onda más larga las que tienen un forzamiento externo, pero no hay teorías actuales que confirmen este razonamiento.

El estudio del cambio climático más en boga en los países que disponen de conocimientos y requisitos de cálculo suficientes, es lanzar la integración de un conjunto de ecuaciones diferenciales de evolución, el mismo conjunto de Navier-Stokes empleado en la predicción numérica del tiempo, haciendo intervenir en el problema todos los forzamientos climáticos conocidos, y dejándoles trabajar a los superordenadores un tiempo variable, de días, semanas, meses o inclusive varios años, según el tipo de estudio, hasta que nos den una salida con la misma semblanza de la atmósfera en su comportamiento climático. Los mapas climatológicos medios resultantes tienen no obstante una difícil interpretación, no tan directa y sencilla como la de los mapas del tiempo habituales, y la interpretación correcta de sus formas sólo puede venir a través del conocimiento de los mecanismos que participan en su formación.

Para la integración climática se parte de un estado inicial arbitrario, por lo que suele elegirse el más sencillo posible. Ello es debido, y esto no deja de ser paradójico, a haber empleado un método de investigación inicialmente ideado para la predicción numérica del tiempo, el cual destruye todo conocimiento del sistema atmosférico más allá de los diez días del estado inicial de partida. La causa de esto último es, como ya se indicó anteriormente, el crecimiento y propagación de los errores inherentes a la determinación de dicho estado inicial de partida. La última palabra sobre todo esto nos tiene que llegar, evidentemente, de los centros creados en muchos países para la investigación del clima, de lo que es un ejemplo reciente el Centro Hadley de Bracknell en el Reino Unido, oficialmente inaugurado el 25 de mayo de 1990 por la Jefe de Gobierno Sra. Thatcher. Por el momento las conclusiones que se alcanzan con tales modelos climáticos no parecen muy precisos y carecen del significado estadístico necesario para su aplicación en la toma de decisiones.

Un mecanismo poco conocido en climatología, pero que en un futuro próximo puede llegar a ser determinante en el estudio de los climas en diferentes escalas, es la cuantificación de los movimientos atmosféricos a las escalas sinóptica y planetaria. Esta característica considerada hasta no hace mucho propia solamente de los sistemas subatómicos, se ha podido demostrar que también es propia, bajo determinadas circunstancias, de los sistemas macroscópicos. En el caso que nos concierne del clima, se ha demostrado teóricamente que es posible obtener la famosa ecuación (diferencial parcial no lineal) de los físicos holandeses Kortweg y deVries (ecuación KdV) a partir de la ecuación de vorticidad no lineal en el plano  $-\beta$ , mediante un procedimiento de perturbación reductivo<sup>5</sup>. Dicha ecuación tiene sorprendentemente una solución analítica (exacta) con propiedades muy notables, conocida como la *onda solitaria de Rossby*. En realidad la investigación de las ondas solitarias en hidrodinámica

---

<sup>5</sup> L. G. Redekopp, «On the theory of solitary Rossby waves», J. Fluid Mech. (1977), vol. 82, part. 4, pp. 725-745.

tiene una larga historia, pues su descubrimiento por el ingeniero victoria Scott-Russell se remonta a hace 148 años, en 1844, cuando ni siquiera todavía se habían publicado las ecuaciones de Navier-Stokes. Su verdadera significación no fue comprendida, sin embargo, hasta 51 años más tarde, cuando en 1895 se descubrió la ecuación KdV a la que antes nos hemos referido, que describía la propagación en un medio dispersivo de las ondas largas de gravedad en la superficie líquida de aguas someras. Se necesitó todavía que tuvieran que transcurrir otros 70 años más para que, en 1965, Zabusky y Kruskal resolvieran numéricamente la ecuación KdV y diera a las ondas solitarias que cumplían ciertas condiciones en la interacción entre ellas el nombre de *solitones*, que en nuestro caso son los *solitones de Rossby*<sup>6</sup>. Con estas «partículas» se explica también actualmente la presencia de la gran Mancha Roja de la atmósfera de Júpiter: un gigantesco solitón bidimensional de escala planetaria con una persistencia que puede llegar a rebasar los 100 años. Sin embargo, los datos empíricos actuales no son todavía lo suficientemente concluyentes como para que nos confirmen, sin lugar a dudas, la presencia real de solitones en la atmósfera a las escalas climáticas que estamos considerando.

Como consecuencia de este análisis se nos hace más evidente que los conceptos de clima y de tiempo no volverán a darse la espalda en el futuro. Sus respectivas definiciones no podrán establecerse de manera independiente entre sí: no se puede definir el clima sin hacer referencia al tiempo atmosférico, ni recíprocamente, definir el tiempo atmosférico sin una referencia al clima del lugar. En otras palabras, las respectivas definiciones forman lo que se denomina un *sistema cerrado de conceptos*. Y se puede avanzar más, pues cabe establecer un cierto principio de complementariedad entre tiempo y clima: se pierde todo el significado estadístico del clima cuando la escala temporal que se analiza (hasta los 10 días) queda dentro del dominio de estudio de la predicción numérica del tiempo. Y, recíprocamente, al querer penetrar en el dominio del clima (escalas situadas más allá de los 10 días) con las técnicas de estudio usadas en la predicción numérica del tiempo, se destruye todo tipo de conocimiento del sistema atmosférico.

Finalizamos haciéndonos eco de una de las conclusiones principales de la reunión de Madrid de los miembros del Instituto Mundial de las Ciencias, que aparecen en la prensa del día 16 de octubre de 1992. Participan en la misma dos eminentes investigadores de la atmósfera, Sres. Lindzen (M.I.T., Estados Unidos) y Schatzman (Francia), quienes afirman que «no existen actualmente datos científicos que justifiquen el catastrofismo del efecto invernadero», y tildan de «pura fantasmagoría» las previsiones que se suelen hacer al respecto de la futura elevación del nivel de los océanos. Esto constata fuertemente con lo que se piensa en otros ambientes científicos, donde se cree que tales manifestaciones ya se han iniciado y que hay que tomar medidas restrictivas urgentes en el crecimiento económico, antes de que la atmósfera llegue a un estado de no retorno.

Sea lo que fuere, todo parece indicar que se le han terminado al «homo sapiens» los buenos tiempos de considerar la Tierra (atmósfera, tierra, ríos, lagos y mares) como un gigantesco basurero, al mismo tiempo que una fuente inagotable de recursos. Progresivamente tendremos que ir cobrando una conciencia colectiva de nuestra situación real, que no es otra que la de viajeros involuntarios de un pequeño planeta del que ni siquiera sabemos a dónde nos lleva por el espacio: según palabras de los

---

<sup>6</sup> A. Sáez Rivilla «Clima y cuantificación atmosférica», Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Cuad. 2-3, 1991, págs. 507 a 514.

propios astronautas (ya sean éstos rusos o americanos), se trata de un planeta muy bello que resplandece como un zafiro, y sólo está rodeado por el silencio, la oscuridad y la ausencia de vida del resto del Universo a nuestro alcance. En consecuencia, a sus habitantes del siglo XXI y sucesivos, si es que llegan a existir, no les va a quedar más remedio que vivir en él, por lo que el mejor legado de los habitantes del planeta de esta época sería el extremar hacia La Tierra que, como todo lo que tiene vida, es muy frágil, todas las atenciones y mimos que precise, no en vano nos solemos referir a ella como nuestra madre La Tierra. Tantos retos tiene la Humanidad para remontar los peligros climáticos naturales que le acecharán en el futuro, que no puede propiciar otros peligros añadidos como los agujeros de ozono (no sólo existe el de la Antártida) y el calentamiento climático, ambos de proporciones y consecuencias hoy desconocidas<sup>7</sup>.

---

<sup>7</sup> A. Sáez Rivilla «La atmósfera de La Tierra, planeta viviente», Conferencia del Día Meteorológico Mundial, 1991, Sevilla.