

# El efecto hammam

## MEJORAS EN LA PREDICCIÓN METEOROLÓGICA A LARGO PLAZO

JOSÉ MIGUEL VIÑAS CONSULTOR OMM  
WWW.DIVULGAMETEO.ES

**E**scribo estas líneas al inicio de la Semana Santa y no falla; tal y como ocurre todos los años, cuando se acercan estos días festivos, la demanda de predicciones meteorológicas se dispara y lo hace desde muchos días antes de lo que es razonable, dadas las condiciones meteorológicas tan cambiantes (alta variabilidad) que caracterizan al tiempo primaveral en nuestras latitudes, lo que imposibilita disponer de un pronóstico local medianamente fiable a más allá de unos pocos días vista. Predecir el tiempo a medio y largo plazo, aparte de ser un reto para los meteorólogos, tiene un límite natural impuesto por la propia naturaleza caótica de la atmósfera. Ahora bien, en el contexto del cambio climático actual, ¿puede cambiar la predecibilidad meteorológica? ¿Es posible que, por tal motivo, logre reducirse la incertidumbre en la predicción a largo plazo? Un equipo de científicos se ha planteado estas preguntas y las ha intentado responder en

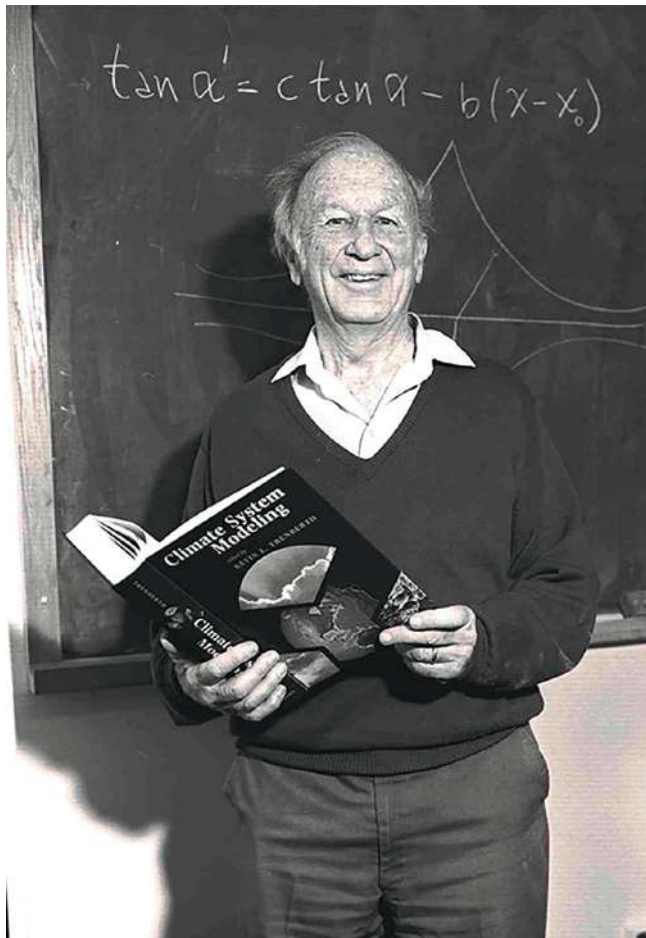


Figura 1.- El meteorólogo Edward Norton Lorenz (1917-2008). Autor de la fotografía: Curt Zukowsky

un reciente artículo que, tal y como expondremos en el presente reportaje, abre una interesante línea de investigación.

### El comportamiento caótico de la atmósfera

Fue el meteorólogo estadounidense Edward N. Lorenz (1917-2008) el que, a principios de la década de 1960, descubrió de manera fortuita que el comportamiento atmosférico es caótico, de manera que su evolución depende fuertemente de las condiciones iniciales de las que parte el pronóstico, lo que explica por qué a medida que aumenta el horizonte de predicción, es menos predecible el tiempo. En palabras del propio Lorenz: *“La dependencia sensible de las condiciones iniciales en sistemas dinámicos no lineales [como la atmósfera] es la responsable de la aparente aleatoriedad en los procesos observados”*.

La historia del hallazgo de Lorenz que dio origen al famoso “efecto mariposa” es bastante conocida. No lo es tanto el hecho de que fue el aleteo de una gaviota en lugar del de una mariposa lo que le vino a la cabeza a Lorenz como metáfora, para ilustrar la amplificación con el paso del tiempo de las perturbaciones a pequeña escala en la atmósfera. Uno de los organizadores de la 139ª reunión de la Asociación Americana para el Avance de las Ciencias, celebrada en EE.UU. en 1972, en la que participó Lorenz, fue el encargado de poner el sugerente título de la conferencia que impartió el célebre meteorólogo: “Predecibilidad ¿el aleteo de una mariposa en Brasil puede provocar un tornado en Texas?”. Seguramente, se refirió al lepidóptero en lugar de al pájaro por la forma de mariposa que tiene el atractor de Lorenz.

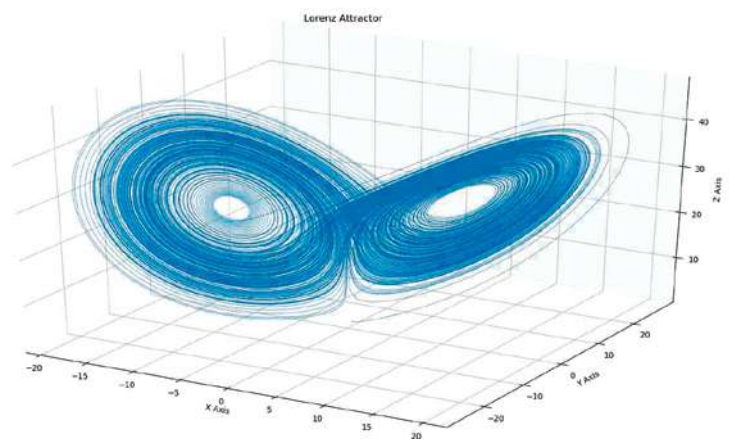


Figura 2.- El atractor de Lorenz

Una década antes de aquella histórica conferencia, se encontraba Lorenz en su laboratorio del MIT (Instituto Tecnológico de Massachusetts) enfrascado en la resolución de un modelo

# El efecto hammam

MEJORAS EN LA PREDICCIÓN METEOROLÓGICA A LARGO PLAZO

simple hidrodinámico de atmósfera, definido por el siguiente sistema no lineal de ecuaciones:

$$\begin{aligned}\dot{X} &= 10(y - x) \\ \dot{Y} &= 28x - y - xz \\ \dot{Z} &= xy - 8/3z\end{aligned}$$

Para efectuar los cálculos, utilizó una computadora digital de la época y cada simulación la llevó a cabo introduciendo unos datos de partida ( $x_0, y_0, z_0$ ), correspondientes a un estado inicial del fluido (el aire en el caso que nos ocupa). Un día, Lorenz estaba efectuando una simulación rutinaria de control, repitiendo los mismos cálculos que había efectuado con anterioridad. Mientras la computadora estaba trabajando, salió de su despacho a tomarse un café. A la vuelta, ya estaba hecha la simulación, pero al compararla con la primera comprobó, para su sorpresa, que la solución era muy distinta y poco o nada tenía que ver. Extrañado por el resultado, se puso a pensar dónde podía estar el fallo. Inicialmente, no dio con él, ya que había usado “los mismos” datos de partida en las dos simulaciones. Solo después de repasar con detenimiento la manera de proceder, cayó en la cuenta de que la computadora trabajaba con seis decimales, pero que al imprimir los resultados solo sacaba tres. En esa simulación de control, para reducir algo el tiempo de cálculo, Lorenz había partido de una secuencia ya iniciada, para lo cual introdujo los datos impresos que le había proporcionado el propio ordenador, por lo que solo consideró las tres cifras decimales en lugar de las seis. El meteorólogo entendió que la divergencia en los resultados era debida a que en ese punto de la secuencia había partido en cada caso de unas condiciones iniciales ligeramente distintas. El caos había llamado a su puerta y la naturaleza caótica de la atmósfera había sido desvelada.

## Los límites de la predicibilidad

A pesar de la limitación que tiene predecir el tiempo de forma fiable a más de unos pocos días vista, no todas las situa-

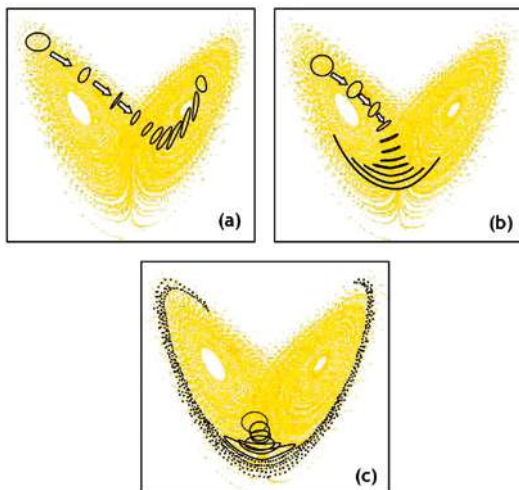


Figura 3.- Evolución del conjunto de condiciones iniciales de un modelo meteorológico (círculo negro) partiendo de tres regiones distintas del atractor de Lorenz. En cada caso la dispersión de las soluciones es distinta, siendo la predicibilidad alta (a), media (b) o baja (c). (Palmer, 2016)

ciones atmosféricas son igual de predecibles. El conjunto de posibles soluciones de un modelo numérico de predicción (todos los posibles estados futuros de atmósfera) caen dentro del atractor de Lorenz, pero dependiendo de la región del espacio de fases dónde se sitúen los estados iniciales, la dispersión de las soluciones será mayor o menor; de ahí que a veces una predicción del tiempo para dentro de 3 días pueda ser más arriesgada (menos predecible) que una a 5-6 días vista.

Los límites de la predicibilidad a corto y medio plazo se han ido reduciendo sensiblemente desde la época en que Lorenz trabajaba con su computadora –una Royal McBee LGP 130– hasta la actualidad, con los superordenadores. El aumento de la potencia de cálculo computacional ha ido permitiendo la ingestión, cada vez mayor, de datos meteorológicos en los modelos de circulación general, aparte de ir aumentando su resolución espacial hasta unos tamaños de rejilla que de centenas de kilómetros bajaron a decenas y que ahora empiezan a estar por debajo de los 10 km. A pesar del espectacular desarrollo experimentado por la predicción numérica del tiempo, el aleteo de la mariposa sigue trastocando nuestros intentos por predecir el tiempo a largo plazo (a partir de 10-15 días), aunque también en ese terreno puede que se progrese en los próximos años. La clave parece estar en el calentamiento que están experimentando las aguas oceánicas superficiales y que irá a más, según apuntan las proyecciones climáticas.

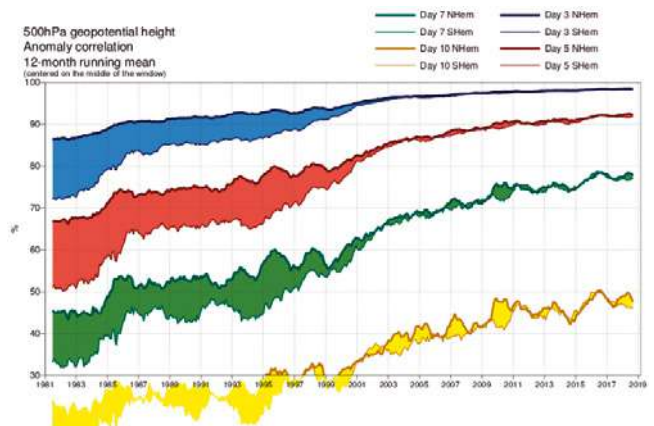


Figura 4.- Evolución de la fiabilidad (%) del campo de altura geopotencial a 500 hPa del modelo global del Centro Europeo entre 1980 y 2019. Crédito: ECMWF

## El calentamiento de los océanos y el efecto hammam

Partiendo de la premisa de que los cambios en la circulación atmosférica –y por ende en las propiedades intrínsecas (caóticas) de la atmósfera– inducidos por el calentamiento global que está aconteciendo en la Tierra, pueden modificar el límite de predicibilidad meteorológica, un equipo europeo de científicos liderado por el investigador francés Davide Faranda, del Laboratorio de Ciencias del Clima y del Medio Ambiente de nuestro país vecino, y al que pertenece la investigadora española María del Carmen Álvarez-Castro, actualmente en la División de simulaciones y predicciones climáticas del Centro

Euro-Mediterráneo sobre el Cambio Climático, en Italia, han publicado recientemente (marzo de 2019) un artículo en la revista *Nature Communications*, titulado: “*The hamman effect or how a warm ocean enhances large scale atmospheric predictability*” (El efecto Hamman o cómo un océano cálido mejora la predecibilidad a largo plazo), cuya principal conclusión es que con unas aguas superficiales oceánicas significativamente más cálidas, los cambios en las propiedades caóticas de la atmósfera harán que las predicciones meteorológicas a largo plazo sean más fiables.

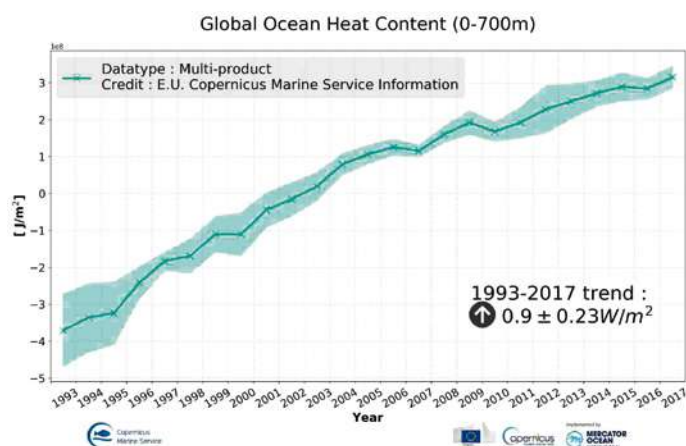


Figura 5.- Evolución del Contenido de Calor del Océano (OHC) en su capa superficial (0-700 m) entre 60°S y 60°N, obtenida a partir de la integración de las diferencias entre las observaciones (sondeos) y la climatología, para el período comprendido entre 1993 y 2017. En dicho período se observa una tasa de calentamiento de  $0.9 \pm 0.2 \text{ W/m}^2$ .

Crédito: E.U. Copernicus Marine Service Information

*Hamman* es el nombre con el que se conoce al baño turco o de vapor y significa literalmente “difusor de calor”, por ser justamente eso lo que ocurre sobre las zonas oceánicas cuyas aguas están a una temperatura particularmente alta, lo que aporta grandes cantidades de vapor de agua al aire y condiciona sobremanera la dinámica atmosférica, alterando los patrones meteorológicos.

Para llevar a cabo esta investigación, los autores del artículo aplicaron una técnica matemática ya empleada por Lorenz en sus estudios de sistemas dinámicos no lineales, usando como variables dinámicas tanto la presión a nivel de la superficie (SLP) como la temperatura del agua superficial del océano (SST), representando en cada caso un atractor, lo que permite estudiar para diferentes condiciones iniciales cómo evoluciona una partícula en el espacio de fases. Por un lado, se tomaron las configuraciones de la SLP diaria en el Atlántico Norte en el período 1850-2100. Esta variable es un indicador de la circulación atmosférica en latitudes medias y contamos con observaciones de ella de estaciones meteorológicas desde hace mucho tiempo. Se usaron tanto series de observaciones como los resultados de los modelos climáticos utilizados en el último informe del IPCC (grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático).

Se calcularon para cada caso de estudio dos indicadores del atractor: la dimensión local ( $d$ ) y la inversa de la persistencia ( $\theta$ ).  $d$  representa el número de grados de libertad que tiene un determinado sistema de presión (borrasca o anticiclón); o lo que es lo mismo: el número de configuraciones distintas que tendrán ma-

ñana ( $t+1$ ) las borrascas y los anticiclones que aparecen hoy en el campo de presión y el que tuvieron ayer ( $t-1$ ), mientras que  $\theta$  indica el grado de persistencia de las citadas borrascas y los anticiclones. Cada día, la circulación atmosférica puede evolucionar según un número finito de posibilidades, de manera que si  $d$  es pequeña, la atmósfera es más predecible.

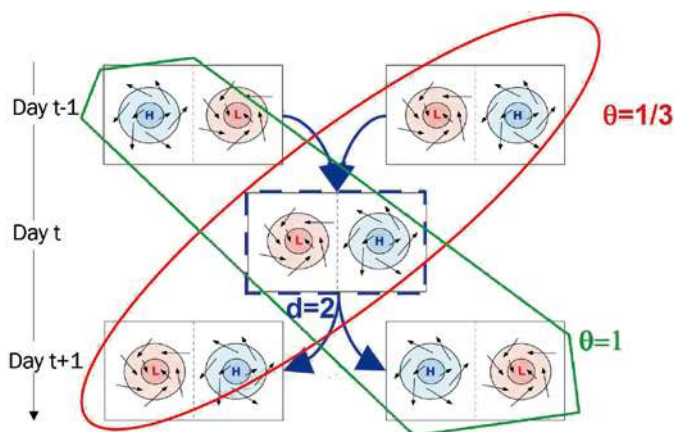


Figura 6.- Ejemplo en el que la dimensión local es 2, al ser ese el número de configuraciones posibles los días  $t-1$  y  $t+1$ . Mientras que en el caso señalado en rojo  $\theta=1/3$ , ya que la misma configuración persiste durante tres días, en el caso verde  $\theta=1$ , ya que solo persiste un día.

Gráfica facilitada por María del Carmen Álvarez-Castro

Cuanto menos dimensión local se tenga (menos grados de libertad) y cuanto mayor sea la persistencia ( $\theta$  más baja) más predecible será la configuración atmosférica. Al emplear como variable la SST en el Atlántico Norte, los autores del trabajo, una vez seleccionados los días en los que la predecibilidad era mayor (menor  $d$  y menor  $\theta$ ), comprobaron que las anomalías de SST eran positivas; sin embargo, en los casos en que la predecibilidad era menor (mayor  $d$  y mayor  $\theta$ ), las anomalías de SST eran negativas. La conclusión es clara: un océano más cálido en su capa superficial es más predecible, lo que termina transmitiéndose a la atmósfera, ganando también en predecibilidad el comportamiento atmosférico.

La siguiente tarea fue el estudio de la dimensión local en todas las series de datos disponibles, tanto observaciones reales del pasado, como datos de reanálisis y de escenarios futuros. Se pudo comprobar cómo para los escenarios de cambio climático RCP4.5 y RCP8.5 (altas emisiones) descritos por el IPCC, en los que sube la temperatura, la  $d$  disminuye, por lo que el tiempo a largo plazo es más previsible, como consecuencia de los cambios que se producirán en los patrones meteorológicos, a medida que vaya calentándose el agua del mar.

Los investigadores utilizaron tres grupos distintos de simulaciones climáticas; uno de ellos tuvo en cuenta unas emisiones de gases de efecto invernadero similares a las actuales, en un segundo grupo se consideró un océano con una SST 4 °C superior a la actual, y un último grupo correspondiente a una concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera cuatro veces mayor que la actual. La previsibilidad aumentó en las simulaciones en las que el océano es más cálido, quedando patente el *efecto hamman*.

**NOTA FINAL:** El autor quiere agradecer a María del Carmen Álvarez-Castro, coautora del artículo referido en el texto, por darme a conocer el “efecto hamman” y la interesante investigación que ha llevado a cabo junto al resto de su equipo.