

Premio BBVA 2016 a los pioneros de la modelización climática

Manabe y Hansen

ERNESTO RODRÍGUEZ CAMINO

La reciente concesión del Premio Fundación BBVA Fronteras del Conocimiento 2016 en la categoría de Cambio Climático a Syukuro Manabe y James Hansen, que crearon de manera independiente dos de los primeros modelos tridimensionales de circulación general para simular el comportamiento del clima, nos sirve de excelente excusa para revisar su trabajo pionero que sentó las bases de los actuales modelos climáticos y que constituyen una de las principales, si no la principal, fuente de información para comprender el sistema climático y estimar su posible evolución.

Syukuro Manabe (Eihime, Japón, 1931) fue uno de los jóvenes graduados de la Universidad de Tokio en los difíciles años posteriores a la Segunda Guerra Mundial. Dada la escasez de oportunidades que se ofrecían en Japón para un joven ambicioso e intelectualmente independiente como él, decidió desarrollar su carrera científica en Estados Unidos. Fue invitado a unirse en 1958 al grupo de modelización numérica creado por John von Neumann en Princeton. Después de que este grupo fuese capaz de generar la primera predicción numérica realista del tiempo con un modelo regional basado en ecuaciones filtradas, von Neumann consiguió financiación gubernamental para un nuevo y ambicioso desafío: construir un modelo de circulación



Syukuro Manabe (izquierda) y James Hansen (derecha) en fotografías recientes (fuente: EFE)

general tridimensional para la atmósfera global. Este modelo permitiría deducir el clima directamente de las ecuaciones físicas de los fluidos y de la energía. Este nuevo proyecto se puso en marcha en el U.S. Weather Bureau bajo la dirección de Joseph Smagorinsky que reclutó a Manabe para trabajar con él (Weart 2008). En 1965 consiguieron codificar un modelo tridimensional con nueve niveles que resolvía las ecuaciones básicas de la atmósfera. El modelo a pesar de ser altamente simplificado y sin

geografía (todo se promediaba latitudinalmente) simulaba con gran realismo la estratosfera, las zonas de convección ecuatorial, los desiertos subtropicales, etc. A pesar de estas características, los detalles todavía presentaban serias deficiencias (Smagorinsky et al. 1965). Pero a Manabe se le conoce sobre todo por haber realizado (conjuntamente con R. Wetherald) el primer experimento numérico con un modelo tridimensional en el que se simulaba la respuesta del sistema climático frente a una duplicación de la concentración de CO_2 en la atmósfera. Obtuvo con este experimento un aumento de la temperatura media global de 2.9°C (Manabe y Wetherald 1975) que es algo inferior a las estimaciones que hizo Arrhenius en 1896 y dentro de la horquilla que establece el IPCC en 2014 que se sitúa entre 1.5 y 4.5°C . Bien se puede decir que este resultado es la primera simulación del calentamiento global. Consciente de las simplificaciones introducidas en su modelo, el mismo recomendaba “no tomarse muy seriamente los aspectos cuantitativos de sus resultados y tomarlos principalmente como una estimación cualitativa”. El modelo numérico desarrollado por

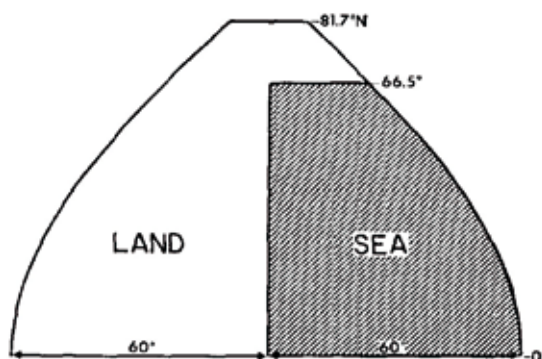


Figura 1.- Distribución de océanos y continentes. Se suponen condiciones cíclicas en los bordes oriental y occidental del dominio (fuente: Manabe y Wetherald 1975).

Premio BBVA 2016 a los pioneros de la modelización climática

Manabe y Hansen

Manabe en el *Geophysical Fluid Dynamics Laboratory* (GFDL) de la NOAA fue realmente el primer modelo que combinaba procesos atmosféricos y oceánicos y que por tanto bien podría ser considerado como el primer modelo tridimensional climático. Los intentos anteriores (p.e. de Norman Phillips) solo tenían componente atmosférica y eran principalmente modelos diseñados para la predicción del tiempo. El ordenador que utilizó Manabe fue un Univac 1108 que poseía 0.5 Mb de memoria, menos de lo necesario para almacenar actualmente una imagen en alta resolución o una canción. Cualquier *smartphone* actual sobrepasa con creces actualmente esta memoria. La resolución horizontal del modelo era de aproximadamente 500 km con los mencionados 9 niveles atmosféricos distribuidos entre la capa límite y la estratosfera. La distribución de continentes y océanos era de una gran simplicidad tal y como puede verse en la figura 1.

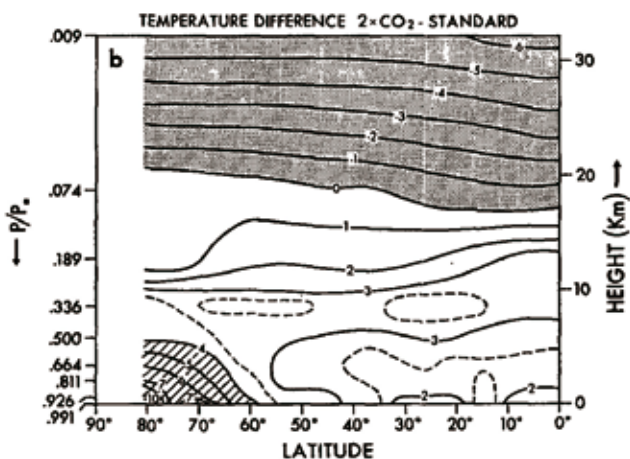


Figura 2.- Distribución latitud-altitud de la diferencia entre temperatura media zonal (K) para: (a) la atmósfera estándar y (b) la resultante de duplicar la concentración de CO₂. Las zonas punteadas en la estratosfera muestran valores negativos (fuente: Manabe y Wetherald 1975).

La figura 2 muestra el efecto de duplicar la concentración de CO₂ en la simulación del modelo acoplado. El calentamiento en latitudes altas es claramente mayor debido principalmente a los efectos de la retroalimentación de la cobertura de la nieve en latitudes altas y a la supresión de la mezcla vertical por una estratificación estable. La temperatura en la estratosfera decrece debido a la mayor emisión desde la estratosfera. La magnitud del enfriamiento aumenta con la altura, con lo que la estabilidad estática en la estratosfera tiende a decrecer. Los posteriores modelos y estudios recogidos en los sucesivos informes del IPCC apenas han cambiado las características cualitativas de la distribución latitud-altitud del cambio de temperatura.

Manabe desarrolló su actividad en el GFDL desde 1958 hasta 1997, pasando después a ser director del titánico esfuerzo de Japón en modelización del sistema climático con superordenador Earth Simulator. Esta máquina que está en operación, con

sucesivas actualizaciones, desde el año 2001 se desarrolló fundamentalmente para hacer simulaciones climáticas y del interior de la corteza terrestre. Hasta el año 2003 fue el ordenador más rápido del mundo. Manabe continúa todavía activo en la Universidad de Princeton.

James Hansen (Denison, Iowa, Estados Unidos, 1941) desarrolló gran parte de su carrera en el Instituto Goddard para Estudios Espaciales de la NASA en Nueva York y que dirigió entre 1981 y 2013. Comenzó su trayectoria estudiando y modelizando la atmósfera de Venus para posteriormente utilizar su experiencia en el diseño del modelo GISS que simulaba el sistema climático terrestre. El modelo GISS procedía del modelo UCLA, inicialmente desarrollado por Yale Mintz y Akio Arakawa, y comparte con él su estructura general, incluidos la coordenada vertical σ , el método numérico cuasiconservativo para la advección y muchos de los procesos físicos originales (Somerville et al. 1974). El modelo GISS también tenía 9 niveles y una distribución realista de océanos y continentes (véase la Figura 3 con un antiguo mapa de “cebra” utilizando las viejas impresoras de caracteres).

El modelo GISS además de ser capaz de simular con gran realismo el clima, era muy eficiente desde el punto de vista computacional con lo que el grupo pudo realizar muchos experimentos de sensibilidad variando diferentes factores lo que



Figura 3.- Distribución de superficie terrestre (c), hielo (i) y océanos (blanco) (fuente: Somerville et al. 1974).

les permitió aumentar espectacularmente sus conocimientos sobre la respuesta del sistema climático frente a diferentes forzamientos. Los experimentos de la respuesta del sistema climático frente a una duplicación de la concentración de CO₂ en la atmósfera con el modelo GISS daban un valor próximo a los 4° C consistente con los resultados de Manabe a pesar de las diferencias en las aproximaciones y diseño de ambos modelos. Hansen publicó en 1988 la primeras proyecciones de cambio climático para el siglo XXI anunciando entonces que el

cambio climático se haría evidente en pocas décadas, como así ha sucedido.

Hansen contribuyó decisivamente con su testimonio sobre el cambio climático a los comités del Congreso de los Estados Unidos en la década de 1980 a ayudar a difundir el problema del calentamiento global y su defensa de medidas para limitar los impactos del cambio climático. Desde su retiro oficial del Instituto Goddard, Hansen mantiene un gran activismo a favor de tomar medidas drásticas y urgentes para limitar el cambio climático (véase su página web <http://www.columbia.edu/~jeh1/> donde se recogen muchos de sus textos e intervenciones en este sentido). Hansen ha sido especialmente crítico con la industria asociada a la explotación del carbón en EE.UU. siendo incluso arrestado por participar en protestas en contra de esta actividad. Ha propuesto también diferentes alternativas económicas e impositivas para limitar las emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera. Actualmente mantiene una frenética actividad para concienciar a la población y a los sucesivos gobiernos norteamericanos sobre la importancia de actuar urgentemente en la limitación de las emisiones con políticas valientes y decididas para descarbonizar la economía mundial. A modo de legado ha escrito unas muy recomendables memorias personales y científicas en las que insiste en nuestro deber de luchar activamente para evitar las consecuencias del cambio

climático que afectarán e hipotecarán a muchas generaciones futuras (Hansen 2009)

El CO₂ durante la época reciente pre-industrial había oscilado entre 270-290 ppm alcanzando valores próximos a 320-340 ppm en los momentos en que se realizaban los primeros experimentos de duplicación de CO₂ con modelos tridimensionales aquí descritos. Actualmente hemos ya superado concentraciones de 400 ppm y podemos duplicar en pocas décadas la concentración de la época pre-industrial a menos que se tomen medidas de mitigación de forma sostenida y rápida.

Finalmente, y a modo de conclusión, es importante señalar que los modelos que inicialmente desarrollaron Manabe y Hansen siguieron dos líneas de desarrollo independiente. Mientras que el modelo GFDL era un desarrollo del modelo original de Norman Phillips, el modelo GISS procedía del modelo UCLA (véase el árbol genealógico del desarrollo inicial de los principales modelos en la Fig. 4). Aunque se trataba de líneas de trabajo independientes llegaron a resultados similares sobre los efectos y las causas del cambio climático, con lo que se reforzaron sus conclusiones. El último informe del IPCC (2014), que incluye resultados de más de 40 modelos climáticos, coincide y corrobora -al menos cualitativamente- los primeros resultados obtenidos por estos dos pioneros de la modelización climática.

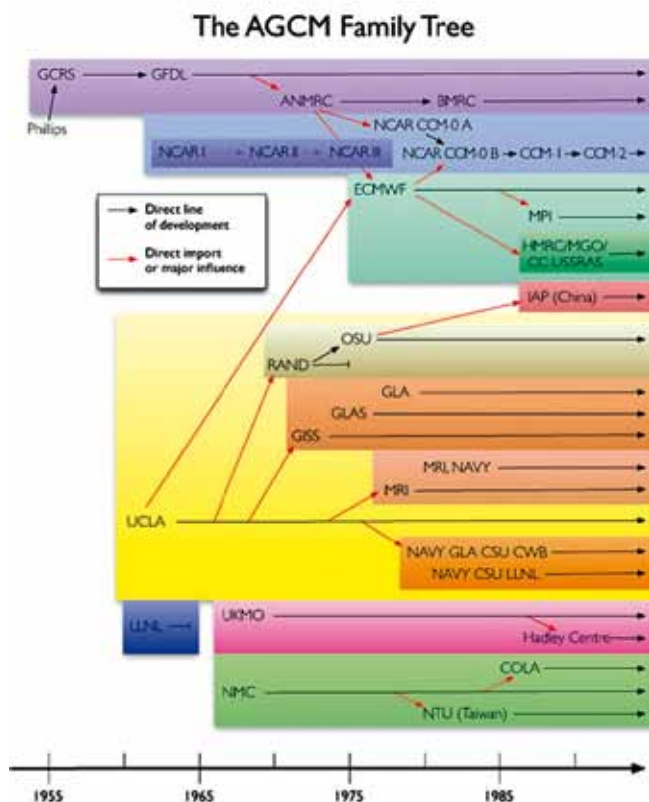


Figura 4.- Árbol genealógico de los principales y primeros modelos de circulación general (fuente: Edwards 2010).

Referencias

- Edwards, P.N. (2010). *A Vast Machine: Computer Models, Climate Data, and the Politics of Global Warming*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Hansen, J., I. Fung, A. Lacis, D. Rind, Lebedeff, R. Ruedy, G. Russell, y P. Stone (1988). Global climate changes as forecast by Goddard Institute for Space Studies three-dimensional model. *J. Geophys. Res.* 93: 9341-9364.
- Hansen, J.E. (2009). *Storms of My Grandchildren: The Truth About the Coming Climate Catastrophe and Our Last Chance to Save Humanity*. New York: Bloomsbury Publishing. ISBN 978-1-60819-200-7.
- Manabe y K. Bryan (1969). Climate Calculations with a Combined Ocean-Atmosphere Model. *J. Atmospheric Sciences* 26: 786-89.
- Manabe, S. y R. T. Wetherald (1975). The Effects of Doubling the CO₂ Concentration on the Climate of a General Circulation Model. *J. Atmospheric Sciences* 32: 3-1.
- Smagorinsky, J., S. Manabe, y J. L. Holloway, Jr. (1965). Numerical results from a nine-level general circulation model of the atmosphere. *Monthly Weather Review*, 93(12), 727-768.
- Somerville, R.C.J., P.H. Stone, M. Halem, J.E. Hansen, J.S. Hogan, L.M. Druryan, G. Russell, A.A. Lacis, W.J. Quirk, y J. Tenenbaum (1974). The GISS model of the global atmosphere. *J. Atmos. Sci.*, 31, 84-117
- Weart, S.R. (2008). *The Discovery of Global Warming*. Harvard University