

CONTRIBUCION DE LOS RETROALIMENTADORES AL CALENTAMIENTO POR AUMENTO DE CO₂

René Garduño y Julián Adem
Centro de Ciencias de la Atmósfera
UNAM

En años recientes hemos mejorado los mecanismos de retroalimentación en el Modelo Termodinámico del Clima (MTC). Tales retroalimentadores se deben a la criosfera (cubierta de hielo y nieve), a las nubes y al vapor de agua.

La criosfera produce una retroalimentación positiva a través del albedo superficial; en el MTC se genera haciendo coincidir la frontera del casquete con la isoterma superficial de 0°C (Adem, 1982). Por lo tanto, este mecanismo se despliega punto a punto en la rejilla de integración y mes a mes.

Las nubes representan un retroalimentador de signo incierto; algunos autores lo reportan como positivo y otros como negativo; los resultados de un mismo autor tienen ambos signos, variando en el tiempo y el espacio. En el MTC tenemos una nueva parametrización de este efecto; basados en el perfil vertical de humedad calculado previamente por nosotros (Garduño y Adem, 1988) y en la hipótesis de humedad relativa fija usada por otros autores, obtenemos una disminución de nubosidad directamente proporcional a un aumento de temperatura. Esta relación es para valores típicos (promedio anual y global); por lo tanto, este efecto no tiene, hasta ahora, resolución espacio-temporal en el MTC y resulta positivo.

La retroalimentación por vapor de agua, a través de la opacidad atmosférica para la radiación de onda larga, es de signo positivo también. Este efecto ya había sido incorporado

al MTC para longitudes de onda de 12μ en adelante (Garduño y Adem, 1988, 1989a, b) ahora completamos el efecto añadiendo la zona espectral $\lambda < 12\mu$, usando las fórmulas correspondientes de Ramanath (1976). Este retroalimentador tampoco tiene resolución espacio-temporal.

Aquí presentamos resultados obtenidos recientemente al aplicar el MTC al cálculo del incremento de temperatura superficial (ΔT_s) debido a una supuesta duplicación del CO₂ atmosférico; se han corrido varios experimentos numéricos incluyendo, por separado, individual y combinadamente los 3 mecanismos de retroalimentación descritos; todos ellos de efecto positivo, o sea que intensifican el calentamiento. Adicionalmente, estos experimentos se hacen con 2 versiones del MTC, según se incluye o no el vapor de agua actuando radiacionalmente en la zona espectral (12, 19μ, que es donde está presente el CO₂).

En la Tabla se muestran los valores típicos de ΔT_s (en °C) obtenidos con ambas versiones del MTC e incluyendo o excluyendo a los 3 retroalimentadores (primera columna); no hemos completado los cálculos con todas las combinaciones posibles de retroalimentadores, seguimos trabajando. Para fines de comparación, presentamos en la última columna los resultados correspondientes obtenidos por Hansen et al. (1984); tampoco cubren todas las combinaciones. En la cuarta columna aparece el cociente de los ΔT_s obtenidos con las 2 ver-

TABLA

ΔT_s (°C) [Factor de retroalimentación]

Retroalimentación		En (12, 19 μ)				Hansen et al., 1984
Criosfera	Nubes	Vapor	CO ₂	CO ₂ +vapor	CO ₂ /CO ₂ vapor	
			0.8 [1.]	0.3 [1.]	2.7	1.2 [1.]
X			1.2 [1.5]	0.5 [1.7]	2.4	1.3 [1.1]
X			1.3 [1.6]	0.4 [1.3]	3.3	1.6 [1.3]
			1.1 [1.4]	0.4 [1.3]	2.8	2. [1.7]
X	X					
XX		X	1.8 [2.3]	0.8 [2.7]	2.3	
X	X	X	1.7 [2.1]	0.8 [2.7]	2.1	3.2 [2.7]
XX	X	X	3.5 [4.4]	1.2 [4.]	2.9	4.2 [3.5]

ΔT_s (°C) aumenta al agregar retroalimentadores, pero sus efectos no son linealmente aditivos.

siones del modelo. En las columnas segunda, tercera y quinta, entre corchetes y junto a cada valor de ΔT_s está el respectivo factor de retroalimentación.

Ya anteriormente (Garduño y Adem, 1988, 1989a, b) hemos discutido la gran diferencia que hay en el efecto invernadero según esté presente o ausente el vapor en la banda espectral de acción del CO₂. La presencia del vapor tiende a saturar el espectro y deja poco espacio para el incremento de absortividad al duplicar el CO₂; de aquí la diferencia de resultados con las 2 versiones del MTC: doble o triple valor de ΔT_s (columna cuarta).

Los resultados de Hansen et al. (1984) provienen de un modelo de circulación general. Los modelos de ese tipo producen en general mayores ΔT_s que los de balance de energía, como el nuestro.

Entre el mínimo valor (0.3°C), correspondiente al caso sin ninguna retroalimentación y vapor presente en (12, 19 μ), y el máximo (3.5°C) con las 3 retroalimentaciones y vapor ausente en (12, 19 μ), abarcamos casi toda la gama de valores de ΔT_s calculado por diversos autores, lo cual podría sugerir que la diversidad de valores se debe a las diversas maneras de modelar los componentes del clima.

Los resultados de ΔT_s por Hansen et al. (1984) son mayores que los nuestros, pero cercanos a los de nuestra versión sin vapor en (12, 19 μ). Los factores de retroalimentación de ellos son semejantes a los nuestros.

REFERENCIAS

Adem J., 1982. Simulation of the annual cycle of climate with a thermodynamic numerical model. *Geof. Int.*, **21**, 229-247.

Garduño R. y J. Adem, 1988. Interactive long wave spectrum for the thermodynamic model. *ATMOSFERA*, **1**, 157-172.

Garduño R. y J. Adem, 1989a. Sensibilidad del Modelo Termodinámico respecto a la constante solar con interacción radiativa del vapor de agua. Memoria Reunión Anual 1987 UGM. J. González, F. Medina, M. Romo y M. Martínez (Eds.), Ensenada, B.C. 265-272.

Garduño R. y J. Adem, 1989b. Efecto climático del aumento de CO₂ con retroalimentación por vapor de agua. Memorias de la Reunión 1988 UGM, Colima, Col. Boletín Geos, Vol. 9, No. 3. 23-30.

Hansen J., A. Lacis, D. Rind, G. Russell, P. Stone, I. Fung, R. Ruedy and J. Lerner, 1984. Climate sensitivity: analysis of feedback mechanisms. In: Hansen J.E. and T. Takahashi (Eds.), *Climate processes and climate sensitivity*, Maurice Ewing series 5. Am. Geoph. Union, Washington, D.C., 130-163.

Ramanathan V., 1976. Radiative transfer within the earth's troposphere and stratosphere: a simplified radiative-convective model. *J. Atmos. Sci.*, **33**, 1330-1346.