

Modelo de balance de Energía: Budyko-Sellers

Profs.: René Garreaud, Roberto Rondanelli

4 de septiembre de 2009

En el presente laboratorio vamos a discutir un modelo simple de balance de energía de la atmósfera. A diferencia del modelo de equilibrio convectivo-radiativo, la dimensión de interés en este modelo es la latitud y por lo tanto no hay dependencia vertical. El objetivo de esta sesión es contar con un modelo simple, de manera de estudiar la realimentación hielo-albedo y el efecto del transporte meridional de calor en el clima terrestre.

1. Breve Descripción del Modelo

Consideraremos un clima simétrico en la dirección zonal (este-oeste) de tal manera que toda la dependencia de los términos del balance es sólo función de la latitud.

El balance de energía en cada una de las bandas de latitud en el modelo se puede escribir como,

$$S_i(1 - \alpha(T_i)) = I \uparrow (T_i) + F(T_i), \quad (1)$$

donde S_i es la radiación solar incidente como función de la latitud, $I \uparrow$ es la radiación infrarroja emergente y F es el transporte de calor entre la banda de latitud correspondiente y las bandas vecinas.

Cada uno de los procesos debe ser parametrizado. En el caso de la radiación solar incidente, una formula apropiada que representa el promedio anual de radiación es la siguiente,

$$S_i = Q(1 - 0,241(3x_i^2 - 1)), \quad (2)$$

donde $Q = S_o/4$ y $x_i = \sin \phi_i$, ϕ_i la latitud promedio en cada banda.

Por otro lado, el albedo α depende de la temperatura. La principal dependencia del albedo tendrá relación con si acaso la superficie está o no cubierta de hielo. Si T_c es la temperatura crítica promedio tal que la superficie estará congelada, nos damos

$$\alpha_i(T_i) = 0,6 \quad T_i \leq T_c \quad (3)$$

$$\alpha_i(T_i) = 0,3 \quad T_i \geq T_c \quad (4)$$

La temperatura crítica T_c tiene un valor entre 0 y -10 C (por defecto usaremos $T_c = -10C$). La radiación infrarroja emergente $I \uparrow$ es parametrizada de acuerdo a una relación lineal con la temperatura

$$I \uparrow (T_i) = A + BT_i \quad (5)$$

donde los coeficientes A y B son $A = 204,0 W m^{-2}$ y $B = 2,17 W m^{-2} (^{\circ}C)^{-1}$ y toman en cuenta el efecto del vapor de agua y otros gases invernadero en la radiación infrarroja emergente.

Finalmente el término F también requiere ser parametrizado. Una manera simple de llevar a cabo la parametrización es simplemente escribir el término F en cada banda de latitud como proporcional a la diferencia entre la temperatura de la banda, T_i y la temperatura promedio de la tierra, $\bar{T}$,

$$F_i = F(T_i) = k_t(T_i - \bar{T}), \quad (6)$$

donde k_t es un coeficiente de transporte de calor que debe ser ajustado empíricamente. Un valor sugerido para k_t es $k_t = 3,81 W m^{-2} (^{\circ}C)^{-1}$.

Para propósitos del cálculo, la temperatura promedio no es simplemente el promedio aritmético de temperaturas, sino $\bar{T} = \frac{\sum T_i \cos \phi_i}{\sum \cos \phi_i}$.

Cuando las parametrizaciones son incorporadas en la ecuación de balance (Eq. 1), uno puede despejar la temperatura de la siguiente manera,

$$T_i = \frac{S_i(1 - \alpha_i) + k_t \bar{T} - A}{B + k_t} \quad (7)$$

2. Actividades

Se les pide que escriban un programa en MATLAB de tal forma que la ecuación 7, pueda ser resuelta de manera iterativa a partir de condiciones iniciales. Por ejemplo, comience definiendo sus zonas de latitud, cada 10 grados de latitud entre 0 y 90. Escriba un valor para la temperatura inicial en cada banda. Con estos valores iniciales calcule los términos del lado derecho de la ecuación 7. El valor por defecto de $T_c = -10C$.

- Estudie la convergencia del modelo respecto de las condiciones iniciales. Elija condiciones iniciales bajo el punto de congelación y sobre el punto de congelación. Discuta las diferencias.
- Para los parámetros del modelo por defecto, encuentre el valor de la constante solar requerida para que el planeta esté completamente cubierto de hielo.
- Estudie la sensibilidad de este límite a los parámetros del modelo, por ejemplo al valor del coeficiente de transporte. Elija valores grandes y pequeños para este coeficiente. Qué diferencias encuentra con el clima de la simulación de control. En particular, observe la distribución de temperatura en latitud y como cambia para distintos valores de k_t . Intente una explicación sobre el porqué de la sensibilidad del 'umbral' del clima completamente glaciado (tierra bola de nieve) al valor del coeficiente de transporte.
- Estudie el valor de la constante solar requerido para tener temperaturas sobre el congelamiento en el ecuador cuando la temperatura inicial en la simulación está bajo la temperatura crítica. Bosqueje un gráfico de temperatura media en función de la constante solar. Este gráfico tendrá dos ramas dependiendo de las condiciones iniciales elegidas.