



ugr

Universidad
de Granada

DEPARTAMENTO DE FÍSICA APLICADA
UNIVERSIDAD DE GRANADA

FACULTAD DE CIENCIAS
18071 GRANADA (SPAIN)

METEOROLOGÍA Y CLIMATOLOGÍA GRADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

Práctica Modelo de Balance de Energía (parte 2)

Ejercicios de sensibilidad climática

Ejercicio 1

- Analice la sensibilidad del modelo respecto a cambios en la constante solar (variaciones de ± 0.1 y 1% de S).
- Usando los valores por defecto de K, α , A y B, determine el descenso en la constante solar para que la Tierra se hiele (0°C en el Ecuador).
- Seleccione otros valores más pequeños de K, α , A y B (por ejemplo un 5% menores) y repita el ejercicio anterior

Ejercicio 2

- Varios autores han sugerido diversos valores para el coeficiente de transporte K, por ejemplo *Budyko* (1969) usó $K=3.81 \text{ Wm}^{-2}\text{C}^{-1}$ y *Warren* y *Schneider* (1979) propusieron $K= 3.74 \text{ Wm}^{-2}\text{C}^{-1}$. Estudie la sensibilidad del modelo para cambios del parámetro K.
- Investigue el clima resultante cuando se usa valores muy grandes o muy pequeños de K. Estudie la sensibilidad de los climas resultantes a cambios en la constante solar. Explique los resultados. ¿Cuál será el valor mínimo necesario para deshacer el hielo de los polos (temperatura en los polos superior a 0°C)?

Ejercicio 3

- Las observaciones muestran que la Tierra firme estará completamente cubierta de nieve para una temperatura media global por debajo de los 0°C y el mar cubierto de hielo para temperaturas medias globales por debajo de -13°C . El modelo usa como valor crítico -10°C . ¿Qué implicaciones supone esto? Altere esta temperatura crítica y estudie el cambio resultante en el clima y la sensibilidad climática para cambios en la constante solar.
- El albedo sobre las áreas cubiertas de nieve depende del tipo de vegetación y las características de la nieve y del hielo. Investigue la sensibilidad del clima simulado respecto a cambios en el valor del albedo del hielo.

Ejercicios sobre cambios en la radiación saliente y efecto invernadero

Ejercicio 4

- a) Ha habido muchas sugerencias para los valores de las constantes A y B que determinan la emisión de radiación de onda larga del planeta, algunas dependiendo de la cantidad de nubes. *Budyko* (1969) originalmente usó $A=202 \text{ Wm}^{-2}$ y $B=1.45 \text{ Wm}^{-2}\text{C}^{-1}$. *Cess* (1976) sugirió $A=212 \text{ Wm}^{-2}$ y $B=1.6 \text{ Wm}^{-2}\text{C}^{-1}$. Estudie cómo cambia el clima y la sensibilidad del modelo frente a cambios en estas constantes (considere variaciones de A y B de $\pm 0.1\%$ y 1%).
- b) *Budyko* predijo que si el hielo de los polos se fundiera completamente, sería imposible volver a formarlo con el valor actual de la constante solar. ¿Por qué? Estime el valor de B necesario para que eso ocurra. Con este valor de B, estime ahora el cambio necesario en la constante solar para que los polos vuelvan a estar cubiertos de nieve.

Ejercicio 5

- a) Manteniendo A constante, varíe B e investigue su efecto en el clima. ¿A qué corresponde una variación de B físicamente?
- b) Modifique el valor de A hasta obtener incrementos de la temperatura media global de 1° y de 5°C . Analice el clima resultante. ¿Varía la extensión de los hielos polares? A partir de los resultados obtenidos, modifique el valor del albedo en las latitudes altas, aumentando la cubierta nubosa y observe de nuevo el clima resultante.
- c) Obtenga el valor de A para retirar el hielo polar a la latitud de 80° y para derretir los polos.

Ejercicio 6

- a) Ha habido muchas sugerencias para los valores de las constantes A y B que determinan la emisión de radiación de onda larga del planeta, algunas dependiendo de la cantidad de nubes. *Budyko* (1969) originalmente usó $A=202 \text{ Wm}^{-2}$ y $B=1.45 \text{ Wm}^{-2}\text{C}^{-1}$. *Cess* (1976) sugirió $A=212 \text{ Wm}^{-2}$ y $B=1.6 \text{ Wm}^{-2}\text{C}^{-1}$. Estudie cómo cambia el clima y la sensibilidad del modelo frente a cambios en estas constantes (considere variaciones de A y B de $\pm 0.5\%$ y 5%).
- b) Estime en qué porcentajes deben cambiar A y B para que haya una variación de la temperatura media global de 0.5°C .
- c) Modifique el valor de B hasta obtener un descenso de 5°C en la franja de latitud $40\text{--}50^\circ\text{N}$. ¿Cuánto valdrá la transmisividad?

Ejercicio 7

- Para tener en cuenta el incremento en la concentración de CO₂, introduzca el valor de la concentración inicial de este gas correspondiente a 1958, 315 ppmv y la correspondiente a 1988, 350 ppmv. Compare los resultados (el programa sólo da la variación de temperatura media global, ΔT).
- Se estima que el valor preindustrial de la concentración de CO₂ fue 280 ppmv. ¿Cuál sería según el modelo la temperatura media preindustrial?
- El Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC) ha propuesto diversos escenarios de emisión de CO₂, de tal forma que las concentraciones esperadas para los años 2050 y 2100 bajo estos escenarios son:

Escenario	[CO ₂] (ppmv)	
	Año 2050	Año 2100
B1	479	532
B2	492	561
A1	555	646
A2	559	721

Calcule la temperatura media global de equilibrio para estos escenarios en los años 2050 y 2100.

- El hecho de aumentar la temperatura media global por un aumento de la concentración de los gases de efecto invernadero puede suponer una retroalimentación positiva con una disminución de la cubierta de hielo, y por tanto del albedo planetario, con el consiguiente aumento de la temperatura. Otra posible retroalimentación positiva se tendría por un aumento de la evaporación y por tanto una mayor concentración de vapor de agua en la atmósfera, fuerte absorbedor de la radiación de onda larga. Estudie el cambio en la temperatura media global cuando estas retroalimentaciones positivas suponen introducir el factor multiplicativo f. Hágalo para los escenarios indicados con las concentraciones de CO₂ del año 2050 (use los valores de f propuestos por el programa).

Ejercicio 8

- A partir de las variaciones experimentadas por la temperatura media global de equilibrio ante cambios en la concentración de CO₂, estime los cambios producidos en la radiación de onda larga saliente, A y B. Para ello, modifique el valor de A, y posteriormente el de B hasta lograr cambios parecidos en la temperatura media global. Hágalo para las concentraciones estimadas en el 2050 y 2100 de los escenarios B1 y A2 que aparecen en el ejercicio anterior.
- Para parametrizar el influjo del aumento de la concentración de los gases invernadero, puede admitirse que el parámetro A varía con el tiempo en la forma $A(t)=A_0-at^2$ con $A_0=204 \text{ Wm}^{-2}$ y $a=1.216 \cdot 10^{-4} \text{ Wm}^{-2}\text{año}^{-2}$. Estime la temperatura media global que habrá dentro de 100 años. Repita el ejercicio para un valor de $a=2 \cdot 10^{-4} \text{ Wm}^{-2}\text{año}^{-2}$ y $a=3 \cdot 10^{-4} \text{ Wm}^{-2}\text{año}^{-2}$.

Ejercicios sobre cambios en la constante solar y el albedo

Ejercicio 9

- a) Como posibles causas del advenimiento de periodos glaciares, *Milankovich* propuso cambios en los parámetros orbitales. La excentricidad ϵ de la órbita terrestre cambia entre 0.005 (órbita circular) y 0.06, siendo el valor actual 0.017 con una periodicidad aproximada de 100000 años. Se puede admitir que a mayor valor de la excentricidad, menor es el flujo anual incidente. *Berger (1976)* demostró que para el primer valor de ϵ , resulta un aumento de la constante solar de 0.014% respecto al valor actual y para el segundo valor de ϵ , se tiene un descenso de S de 0.17 % respecto al valor actual. Estudie para estos valores de S el clima resultante. ¿Se aprecia un avance o un retroceso de los hielos polares?

Ejercicio 10

- a) Variaciones en la constante solar pueden estar ocasionadas por procesos físicos en el Sol que hacen variar el flujo radiativo emitido por éste. De estos procesos, el más importante y mejor conocido es la variación en el número de manchas solares, ocasionadas por procesos magnéticos en la superficie del Sol, con una periodicidad alrededor a los 11 años. Durante los periodos con mayor número de manchas solares, el flujo solar aumenta aproximadamente un 0.1% respecto a los periodos con pocas manchas solares. Estudie el clima resultante para periodos con número de manchas solares grande y pequeño.
- b) Observaciones recientes de estrellas parecidas al Sol muestran que el flujo emitido puede variar entre $\pm 0.4\%$. Estudie el clima resultante para estas modificaciones en la constante solar.
- c) Evidencias observacionales muestran que en el periodo comprendido entre 1645 y 1715, el número de manchas solares fue muy pequeño, quizás 0. Este periodo recibe el nombre de *Mínimo de Maunder*. Parece que estos años se corresponden con la época más fría de la llamada *Pequeña Edad de Hielo*, en el que la temperatura media global estuvo comprendida entre 13 y 14 °C. Estime la variación porcentual de S para tales valores de la temperatura media global.

Ejercicio 11

- a) El albedo de la nieve y el hielo puede variar entre 0.5 y 0.8. Modifique el valor del albedo de manera que la temperatura de los polos sea como mínimo -12°C. ¿Cómo cambia la temperatura en la región ecuatorial? Modifique el albedo de esta región para que su temperatura media no exceda los 24°C.
- b) La desforestación y el cambio de usos del suelo están provocando un cambio en el albedo de la superficie terrestre. Modificar el albedo de las regiones ecuatorial y tropicales, suponiendo que la selva ecuatorial pasa a prado ($\alpha=20\%$) y el bosque tropical a sabana ($\alpha=25\%$). Considere que en esas latitudes sólo el 40% de la superficie terrestre es tierra firme, y el resto es océano, con un albedo medio de 0.04.

Ejercicio 12

- Se estima que hace aproximadamente 700 millones de años, a finales del Proterozoico, existió un único gran continente, *Pangea I*, ocupando esencialmente las latitudes intertropicales. Esto supuso un aumento del albedo de esas regiones. Estime como sería el clima con valores del albedo del suelo de 0.25 para la franja latitudinal comprendida entre 30°N y 30°S (importando los valores del fichero pangea1.fis) para el valor actual de la constante solar.
- Parece que en ese periodo la actividad solar fue menor que la actual en un 10%. Con este nuevo valor de S, analice de nuevo el clima resultante.
- Cabría esperar que en un clima más frío, la evaporación fuese menos intensa, y por tanto menor la cobertura nubosa. Disminuya drásticamente la cubierta de nubes en todas las latitudes y analice de nuevo el clima resultante.

Ejercicio 13

- Se considera que hace 3500 millones de años, en la Era Arcaica, la emisión solar era entre un 20 y un 30% menor que la solar. Analice el clima resultante para esas disminuciones de la constante solar. ¿Cómo cambia el albedo?
- La *paradoja del Sol débil*: Los registros paleoclimáticos de esa época muestran que la temperatura media global no debió ser muy distinta a la actual. Una posible causa de ello es la existencia de una mayor concentración de CO₂. Estime el valor de esta concentración de CO₂.
- Otra posible explicación para esta paradoja es que el albedo planetario fue mucho menor que el actual, estando la Tierra cubierta por agua. Modifique el valor del albedo superficial introduciendo en todas las latitudes el albedo del agua, 0.03.

Ejercicio 14

- Analice la sensibilidad del modelo respecto a cambios en la constante solar (variaciones de ±0.5 y 5% de S).
- Usando los valores por defecto de C, α , A y B, determine el valor de la constante solar hasta retirar el hielo de los polos.
- La zona bajo hielo en el hemisferio norte se extiende hasta los 72°. ¿Cuánto debería disminuir la constante solar para un avance de los hielos hasta los 50°? ¿Cuánto debería aumentar para un retroceso de los hielos hasta los 80°?

Ejercicios sobre cambios en transporte latitudinal de calor

Ejercicio 15

La película *El día de mañana* muestra un mundo devastado por un descenso de la temperatura debido a un colapso de la circulación termohalina en el Hemisferio Norte, motivado por el deshielo del Ártico ante el calentamiento global causado por el aumento de los GEI, algo parecido a lo que ocurrió al final del último periodo glacial, conocido como el *episodio de Younger Dryer*.

- a) Estime el valor del parámetro A para una duplicación de la concentración de GEI.
- b) Con este valor de A, estime el valor de coeficiente de transporte latitudinal K necesario para que se hielen de nuevo los polos.

Ejercicios sobre variaciones en el tiempo de respuesta

Ejercicio 16

El tiempo de respuesta o equilibrio se define como el tiempo necesario que debe transcurrir para que el sistema climático, perturbado por algún agente, alcance un nuevo estado de equilibrio.

- a) Con los valores por defecto del modelo, estime el tiempo de respuesta en este caso utilizando las gráficas del modelo en función del tiempo. ¿Depende el tiempo de respuesta de la temperatura inicial?
- b) Estudie la dependencia del tiempo de respuesta con la constante solar, S, el albedo, α , la radiación de onda larga, A y B, y el transporte latitudinal, K. ¿De qué otros factores puede depender el tiempo de respuesta?