

Uso de un modelo de Equilibrio Convectivo-Radiativo.

## DESCRIPCION

En el siguiente laboratorio se hará uso de un código de equilibrio convectivo-radiativo. El modelo divide a la atmósfera en 18 niveles en la vertical. El modelo posee una parametrización simple de la radiación en la atmósfera. En cada capa del modelo se calcula la absorción y transmisión de radiación solar incidente y radiación infrarroja, de acuerdo a las concentraciones de gases radiativamente activos y/o nubes. El modelo calcula entonces para cada capa atmosférica, un valor del calentamiento radiativo que es función de la composición atmosférica y que puede ser escrito de manera esquemática como,

$$Q_r = Q_r(H_2O, CO_2, \dots)$$

En una primera iteración el modelo calcula el calentamiento en cada capa atmosférica  $k$  y actualiza la temperatura de acuerdo a :

$$T_{t,k} = T_{t-1,k} + Q_{r,t,k} \Delta t$$

El perfil vertical entre cada capa atmosférica es revisado de acuerdo al valor de la variación vertical de temperatura (ajuste convectivo) de tal forma que cada vez que el valor de la variación de temperatura entre dos capas es mayor que el valor de ajuste convectivo (en el caso del modelo, el valor por defecto es -6.5 K/km), la temperatura entre las dos capas es ajustada, y el exceso de energía es redistribuido en la siguiente capa en la vertical. La iteración continúa desde la superficie hasta el tope de la atmósfera hasta que ninguna capa permanezca siendo inestable a la convección. Finalmente, cuando toda la inestabilidad convectiva ha sido eliminada en el modelo, se pasa la siguiente iteración en el tiempo, se vuelve a calcular el calentamiento radiativo en cada capa, se vuelve a ajustar convectivamente, y el proceso continua hasta que los flujos radiativos al tope de la atmósfera (radiación solar neta y radiación infrarroja neta) sean similares dada una cierta tolerancia.

## MOTIVACION

Por supuesto, el modelo de equilibrio convectivo-radiativo es uno de los modelos más simplificados del clima terrestre que uno puede imaginar. A pesar que la variación vertical de la temperatura está prescrita en el modelo, la temperatura superficial no lo está. Y por lo tanto, este modelo simple permite calcular la sensibilidad de la temperatura superficial respecto, por ejemplo, de los parámetros de *forzamiento externo* del clima, como la concentración de gases invernadero y variaciones en la constante solar. Además, la profundidad de la tropósfera aparece naturalmente en el modelo como una competencia entre el flujo de calor convectivo desde la superficie y el calentamiento radiativo de la estratósfera

## ACTIVIDADES

### Compilando y corriendo el modelo

1. El modelo consta de dos archivos principales: `ldrcm.f` que es el código fuente escrito en FORTRAN y `datrcm` que es el archivo de configuración. Compile el modelo usando  

```
%] g77 -o ldrcm.exe ldrcm.f
```

Este commando crea un archivo ejecutable llamado `ldrcm.exe` Corra el modelo usando el comando.

```
%] ./ldrcm.exe
```

Si la corrida fue exitosa, se habrán generado tres archivos de salida, `out1`, `out2` y `out3`.

2. La segunda columna del output en pantalla indica el tiempo en días de simulación, la tercera y cuarta columna indican la temperatura en la superficie y en el primer nivel de la atmósfera (`t19` y `t18`). La quinta columna y sexta columna son la radiación solar neta y la radiación infrarroja neta en el tope de la atmósfera, respectivamente. Como primer ejercicio modifique el valor de la constante solar  $S_0/2$  en `datrcm` de tal manera de obtener una temperatura superficial cercana a 288 K (temperatura promedio de la tierra). Indique el valor de  $S_0/2$  que corresponde a esta temperatura. Puede guardar los resultados de su simulación *control*, usando los comandos

```
%] mv out1 control1  
,etc.
```

3. Verifique la convergencia del modelo. El valor en equilibrio de la temperatura en las simulaciones no debiera depender de las condiciones iniciales. Las líneas 2 a 20 en el archivo `datrcm` son los valores iniciales de la temperatura. Use una atmósfera isotérmica

a 260 K y a 300 K y verifique la convergencia de la solución a los valores de control. En out2 puede obtener valores para los perfiles verticales de temperatura a medida que transcurre la simulación.

- 4 . Estudie la sensibilidad del modelo a las concentraciones de gases invernadero en la atmósfera terrestre. La concentración de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O puede ser modificada en el archivo `datrcm`. Modifique los valores de las concentraciones a 10, 100 y 1000 veces los valores presentes. Grafique la sensibilidad de la temperatura superficial respecto de los valores de la concentración. Investigue el porqué las variaciones no son lineales respecto de la concentración. Si la concentración pre-industrial de CO<sub>2</sub> es 280 ppmv y la concentración actual de CO<sub>2</sub> es 380 ppmv cuál es el cambio de temperatura de acuerdo a este modelo.
5. Estudie la sensibilidad del modelo a variaciones en la luminosidad (constante solar). En particular encuentre el valor de la constante solar, respecto de su simulación de control, tal que la temperatura de la superficie es 273 K. Si la luminosidad en función del tiempo desde el origen del sistema solar está dada por  $S = S_0 / (1 + \frac{0.4t}{4.6})$ , donde  $S_0$  es la constante solar en el presente y  $t$  es tiempo en miles de millones de años atrás, ¿en qué momento las temperaturas medias de la tierra, de acuerdo a este modelo, estarán por sobre el congelamiento del agua líquida?. Como se compara la sensibilidad a la constante solar con respecto a la sensibilidad a CO<sub>2</sub> en este modelo?
6. Modifique la concentración de ozono, cambiando los parámetros de ozono, por ejemplo, desde 0.318 a 0.001 y estudie como cambia el perfil vertical de temperatura en equilibrio. Intente una explicación para el aumento de la altura de la tropopausa.