

Introducción al modelo FMS Spectral Shallow Water

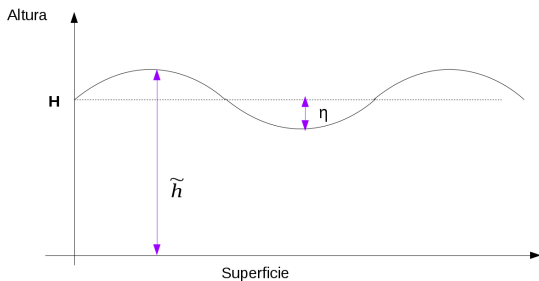
Modelo de Aguas Someras o Poco Profundas

Circulación General
Procesos Dinámicos de Gran Escala en la Atmósfera

DCAO-FCEN-UBA

3/10/2024

Sistema de Aguas Someras



Las suposiciones que definen al modelo de aguas someras son:

- $H \ll L \rightarrow$ la aproximación hidrostática es válida
- El fluido es homogéneo e incompresible \rightarrow densidad constante
- La presión en la superficie libre del fluido es nula
- El fluido está delimitado por un borde rígido debajo
- Una partícula que está en la superficie libre permanecerá en la superficie libre y una que está en contacto con el borde inferior permanecerá en contacto con él

$$\begin{aligned}\frac{du}{dt} - fv + g\frac{\partial\eta}{\partial x} &= 0 \\ \frac{dv}{dt} + fu + g\frac{\partial\eta}{\partial y} &= 0 \\ \frac{dh}{dt} + h\left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y}\right) &= 0 \\ h(x, y) &= H + \eta(x, y)\end{aligned}$$

En este sistema, el gradiente horizontal de la presión es independiente de la altura. Como consecuencia, el movimiento horizontal también es independiente de la altura.

La vorticidad potencial (q) es una propiedad conservativa en el sistema de Aguas Someras

$$\frac{dq}{dt} = 0 \quad q = \frac{\xi + f}{\tilde{h}}$$

Detalles de la deducción: Vallis (2006) *Atmospheric and Oceanic Fluid Dynamics*, pp. 123-127.

El modelo espectral FMS Shallow Water

El modelo FMS (Flexible Modelling System) incluye un término adicional en el sistema de ecuaciones de Aguas Someras → es un término forzante o término de “damping” → la altura de la capa es relajada hacia una cierta altura de perturbación.

En la ecuación que representa la tendencia de la altura, se incluye el siguiente término:

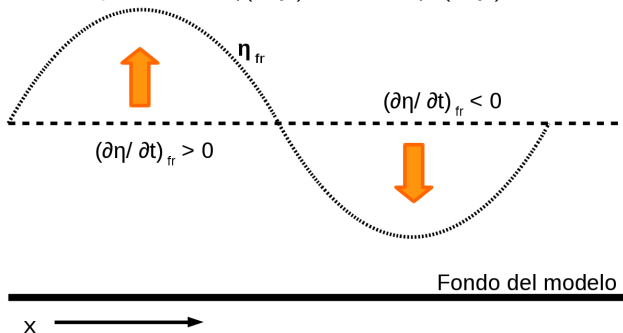
$$\left(\frac{\partial \eta}{\partial t}\right)_{fr} = -k[\eta(x, y) - \eta_{fr}(x, y)]$$

k : coeficiente de relajación → a mayor k , el forzante es más intenso, es decir, forzamiento mayor hacia $\eta_{fr}(x, y)$

$[\eta(x, y) - \eta_{fr}(x, y)]$ diferencia entre la altura del modelo y la altura hacia la cual se relaja.

$$\left(\frac{\partial \eta}{\partial t}\right)_{fr} = -k[\eta(x, y) - \eta_{fr}(x, y)]$$

A medida que el tiempo avanza, $\eta(x, y)$ tiende a $\eta_{fr}(x, y)$



En forma análoga, el forzante incluido en las ecuaciones de movimiento puede escribirse como

$$\left(\frac{\partial U}{\partial t}\right)_{fr} = -k_U[U(x, y) - U_{fr}(x, y)]$$

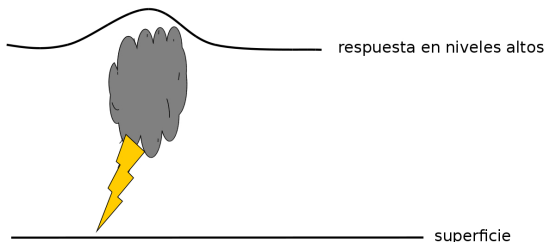
$$U = u \text{ o } v$$

k_U coeficiente de relajación del campo de viento

Usualmente se fija $U_{fr}(x, y) = 0$, que es una manera sencilla de incluir la fricción en el modelo.

Interpretación física del forzante

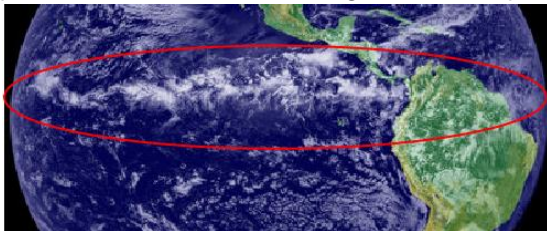
(A) Respuesta en niveles altos a una fuente de calor en las capas inferiores



Como respuesta a la liberación de calor latente asociada a la convección, la altura de la atmósfera se incrementa.

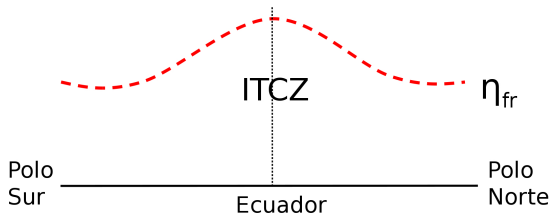
El modelo luego simula cómo se propaga este efecto a través de la generación de ondas en la superficie libre.

Un ejemplo : Representando la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT)



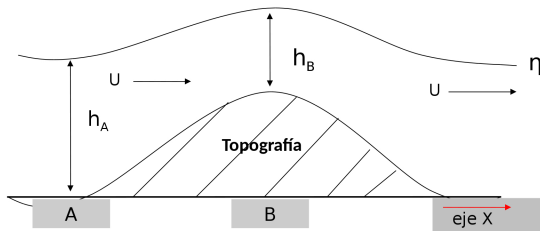
La convección asociada con la ZCIT y el calentamiento radiativo a lo largo del Ecuador generan un incremento en la profundidad de la atmósfera en latitudes bajas.

Se puede introducir el efecto de la ZCIT en el modelo forzando mayores alturas en las latitudes bajas, alrededor del globo.



Interpretación física del forzante

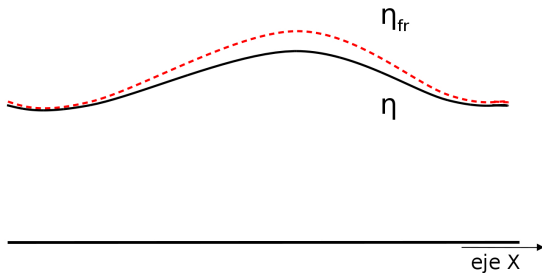
(B) Respuesta en niveles altos a la interacción con una barrera topográfica



En este caso, la respuesta está explicada por la conservación de la vorticidad potencial q , que explica que $q_A = q_B$

Interpretación física del forzante

En el modelo FMS se podrá representar el efecto de una barrera topográfica introduciendo un forzante que relaje la altura de la superficie libre hacia mayores alturas en la ubicación de la montaña.



Variables de la salida del modelo

Las variables disponibles en una salida del modelo son:

ucomp: viento zonal [m/s]

vcomp: viento meridional [m/s]

vor: vorticidad relativa [1/s]

div: divergencia [1/s]

h: altura de la superficie libre [$\text{m}^2/\text{s}^2 = g * m$]

pv: vorticidad potencial [s/m^2]

stream: función corriente [m^2/s]

trs: trazador en el dominio espectral

tr: trazador en el dominio de la retícula

fr: función forzante