

Dinámica del Océano

Tarea 2

Abril de 2023

Esta tarea tiene **doble puntaje** ya que integra 2 tareas: Bombeo de Ekman y Transporte de Sverdrup

1.- Bombeo de Ekman

1.1

a) A partir de la ecuación de movimiento usadas en la dinámica del océano (ver ecuaciones 4.21 en la sección 4.4 del libro Cushman-Roisin & Beckers, 2011) y mediante argumentos de escala (es decir usando órdenes de magnitud típicos de los distintos términos de la ecuación y el número de Ekman) justifique el **modelo de Ekman** para la capa superficial del océano, dado por

$$-fv = A_v \frac{d^2 u}{dz^2}$$

$$fu = A_v \frac{d^2 v}{dz^2}$$

Donde (u, v) son las componentes horizontales de la velocidad, f es el parámetro de Coriolis, z es la coordenada vertical y A_v es el coeficiente de viscosidad turbulento (considerado constante).

b) Plantee las condiciones de borde adecuadas que considera la solución de Ekman

c) Obtenga la solución para el transporte de Ekman integrando directamente las ecuaciones de movimiento dadas en (a) y considere

$$M^x = \int_{-\infty}^0 u \, dz, \quad M^y = \int_{-\infty}^0 v \, dz$$

d) Usando la ecuación de continuidad obtenga una expresión para el bombeo de Ekman, es decir la expresión que relaciona w (en la base de la capa de Ekman) y el rotor del esfuerzo del viento en superficie

$$w_E = \frac{\mathbf{k} \cdot \nabla \times \boldsymbol{\tau}}{\rho f},$$

Los símbolos representan las cantidades usuales vistas en clases $\boldsymbol{\tau}$ es el esfuerzo del viento que actúa en la superficie del mar, \mathbf{k} es un vector unitario vertical hacia arriba y ρ la densidad del agua.

1.2

A partir de los datos de rotor del esfuerzo del viento (en el archivo WSCurlPSO_12.mat) Estime las velocidades verticales w , asociadas al bombeo de Ekman. Use una densidad típica de $1025 \, \text{kg m}^{-3}$ y el valor correspondiente a cada latitud para el parámetro de Coriolis.

- a) Grafique los campos originales del rotor para las distintas estaciones del año. Compare sus resultados con los obtenidos por Bakun y Nelson (1991).
- b) Grafique el campo de w_E en todo el dominio (*excluya de sus cálculos de w la banda ecuatorial entre $-3^\circ S$ $3^\circ N$*). Destaque en la figura el contorno $w_E = 0$ y analice sus resultados en términos de regiones de surgencia y sumergencia (hundimiento) e indique cómo afectan estos procesos la profundidad de la termoclina, haloclina y pincoclina. Para su análisis use las secciones de temperatura, salinidad y densidad de WOCE en el Pacífico Sur P06, P18 y P19. Incluya algunas figuras de las transectas en su análisis.

Para las transectas ver: http://whp-atlas.ucsd.edu/pacific_index.html

Por ejemplo, específicamente para salinidad

http://whp-atlas.ucsd.edu/pacific/p06/sections/ctd/1250/P06_east_CTDSAL_upper_1250.jpg

- d) Analice y comente la Figura 7 del trabajo de Aguirre et al. (2012).
- e) Compare la expresión dada arriba para w_E , con la expresión usada por Halpern (2002) (ver lista de referencias abajo) e indique que representa el segundo término de la derecha en la ecuación del paper de Halpern. Ayuda: Un viento zonal espacialmente uniforme puede generar divergencia (o convergencia) en superficie debido a la variación de \mathbf{M} que introduce la variación meridional (norte-sur) de f .

2: Cálculo del transporte de Sverdrup

a) Calcule la componente meridional del transporte de Sverdrup (V) en todo el dominio usando los datos promedios de todo el periodo y la relación

$$V(x, y) = \int_{-h}^0 v dz = \frac{\mathbf{k} \cdot \nabla \times \boldsymbol{\tau}}{\rho \beta},$$

$V(x, y)$ corresponde a la velocidad meridional v integrada verticalmente entre una profundidad h y la superficie. La profundidad h sería aquella hasta donde afecta el viento (típicamente varios cientos de metros). Note que β es el gradiente de f (β es constante si usamos plano- β).

b) Integre numéricamente $V(x, y_0)$ con respecto a x en una latitud fija (y_0) para obtener el transporte meridional integrado en una sección zonal entre la costa de Sudamérica y una posición (longitud) x .

$$VInt(x, y_0) = \int_{x_{costa}}^x V(x, y_0) dx,$$

Realice sus cálculos para y_0 correspondiente a 20°S, 30°S y 40°S. Para las integraciones utilice la función de Matlab “cumtrapz.m” (en lugar de “cumsum.m”) (¿Por qué es mejor cumtrapz.m?).

Grafique las curvas de la integral en función de x , compare y comente los resultados obtenidos a distintas latitudes.

c) Compare, sus resultados con los valores obtenidos por Shaffer et al. (2004). Ver Fig. 7 del paper. Discuta cual es la profundidad que se usó en ese trabajo para comparar el flujo geostrófico con el transporte de Sverdrup.

3.- Cálculo de la función de corriente de Sverdrup

a) Calcule numéricamente $\frac{\partial V}{\partial y}$ usando diferencias finitas centradas y use la ecuación de continuidad en la forma $\frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y} = 0$ para calcular el transporte zonal $U(x, y)$

$$U(x, y_0) = - \int_{costa}^x \frac{\partial V}{\partial y}(x', y_0) dx'$$

Observación: Debe convertir diferencias de latitud y longitud a distancia, para ello debe usar un algoritmo adecuado (indique que algoritmo usa para esta conversión).

Dado el dominio, note que para el cálculo puede hacer cero todos los valores que están al este de la línea de costa e integrar desde el borde derecho del dominio (de la matriz) hasta x .

b) Calcule la función de corriente $\psi(x, y)$ del transporte de Sverdrup.

Para una latitud y_0 la función de corriente está dada por

$$\psi(x, y_0) = \int_{costa}^x \frac{\mathbf{k} \cdot \nabla \times \boldsymbol{\tau}}{\rho \beta} dx' + \psi(x_{costa}, y_0),$$

donde $\psi(x_{costa}, y_0) = 0$, y x corresponde a las diferentes longitudes (en distancia).

Grafique la función de corriente usando contornos (ver figura de ejemplo abajo).

c) Interprete y comente las corrientes que observa con sus resultados a la luz de sus conocimientos sobre las corrientes de la región.

Por ejemplo, en la zona tropical, ver:

Kessler, W. S. (2006). The circulation of the eastern tropical Pacific: A review. *Progress in Oceanography*, 69(2-4), 181-217. (compare sus resultados con las Figuras 4 y 5 de Billy Kessler).

En el Pacífico Suroriental ver, por ejemplo, Figuras 14.6 y 14.7 de:

Strub, P. T., Combes, V., Shillington, F. A., & Pizarro, O. (2013). Currents and processes along the eastern boundaries. In *International Geophysics* (Vol. 103, pp. 339-384). Academic Press.

Para transporte de Sverdrup en el Pacífico Sur ver, por ejemplo:

Chelton, D. B., Mestas-Núñez, A. M., & Freilich, M. H. (1990). Global wind stress and Sverdrup circulation from the Seasat scatterometer. *Journal of physical oceanography*, 20(8), 1175-1205.

Mestas-Núñez, A. M., Chelton, D. B., & De Szoeke, R. A. (1992). Evidence of time-dependent Sverdrup circulation in the South Pacific from the Seasat scatterometer and altimeter. *Journal of physical oceanography*, 22(8), 934-943.

De Szoeke, R. A. (1987). On the wind-driven circulation of the South Pacific Ocean. *Journal of physical oceanography*, 17(5), 613-630.

Información adicional Relevante

El nombre del archivo es: WSCurlPSO_12.mat

Este contiene los siguientes arreglos

```
% WSCurl      200x240x12      4608000  double
% lat1        240x1           960        single
% lon1        200x1           800        single
```

Donde el arreglo WSCurl contiene la climatología del rotor del esfuerzo del viento 12 meses (en Pa/m por 10^7) para la región del Pacífico ecuatorial y sur oriental. lat1 y lon1 son vectores que corresponden a la latitud y longitud (en grados), respectivamente.

El rotor del esfuerzo del viento fue estimado en base a datos satelitales de viento medidos por el satélite QuickSCAT de la NOAA. Los datos originales fueron bajados de <http://cioss.coas.oregonstate.edu/scow/>

Detalles sobre los datos se pueden obtener en Risien y Chelton (2008). Además, para interpretar los resultados se recomiendan los papers adjuntos.

El rotor del mes de enero debería darle como la figura 1. La última figura de la tarea debería darles parecida a la Figura 2. La línea más gruesa indica el contorno cero y los contornos son cada 2 Sv. Es decir, entre 2 contornos adyacente hay un transporte de 2 Sv. A 30°S el transporte entre la costa y 110°W es de aproximadamente 14 Sv (Isla de Pascua se encuentra aproximadamente a 27°S, 110°W).

Referencias

- Aguirre, C., Pizarro, Ó., Strub, P. T., Garreaud, R., & Barth, J. A. 2012. Seasonal dynamics of the near-surface alongshore flow off central Chile. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 117(C1).
- Halpern D., 2002. Offshore Ekman transport and Ekman pumping off Peru during the 1997-1998 El Niño. *J. Geophys. Res.*, 29, 19,1-19,4.
- Risien, C.M., and D.B. Chelton, 2008: A Global Climatology of Surface Wind and Wind Stress Fields from Eight Years of QuikSCAT Scatterometer Data. *J. Phys. Oceanogr.*, 38, 2379-2413.
- Shaffer, G., Hormazabal, S., Pizarro, O., & Ramos, M. (2004). Circulation and variability in the Chile Basin. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 51(10), 1367-1386.

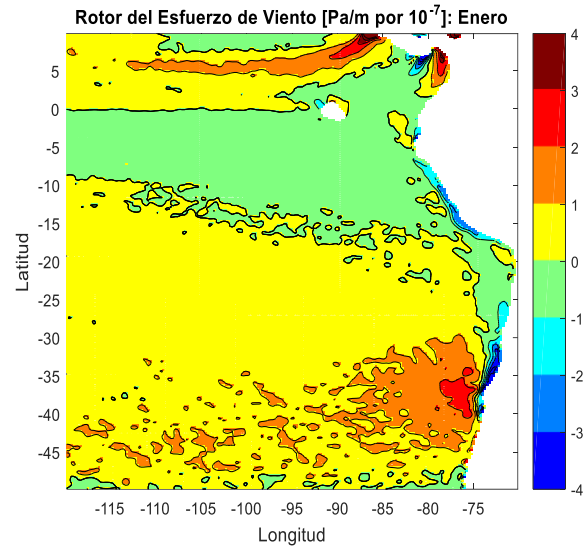


Figura 1. Rotor del esfuerzo del viento sobre el Pacífico Suroriental para el mes de enero.

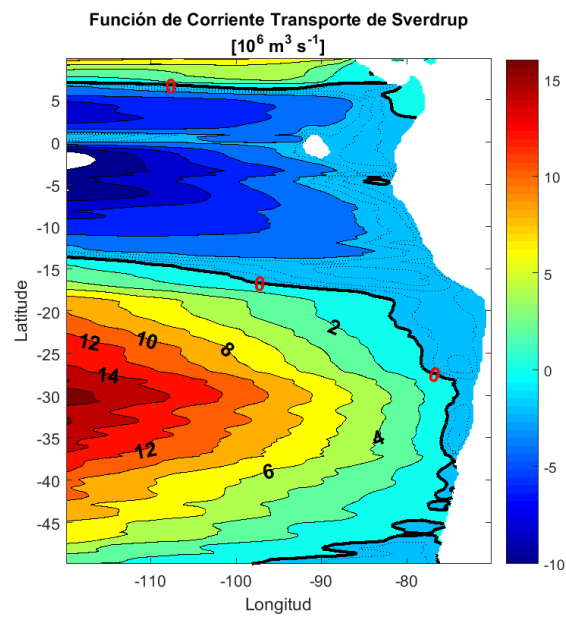


Figura 2. Función de corriente para el transporte de Sverdrup (1 Sv equivale $10^6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) frente a Sudamérica. La línea gruesa indica el contorno 0, los contornos están cada 2 Sv y los contornos punteados son transportes negativos (hacia el sur).