

Efectos del viento en el océano: oleaje

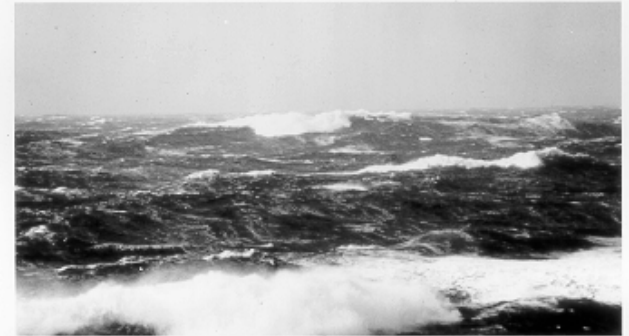
Los primeros efectos del viento son el crear oleaje de período corto, que crece hasta ondas más largas

El oleaje y su interacción con el viento transmite el esfuerzo del viento hacia el océano

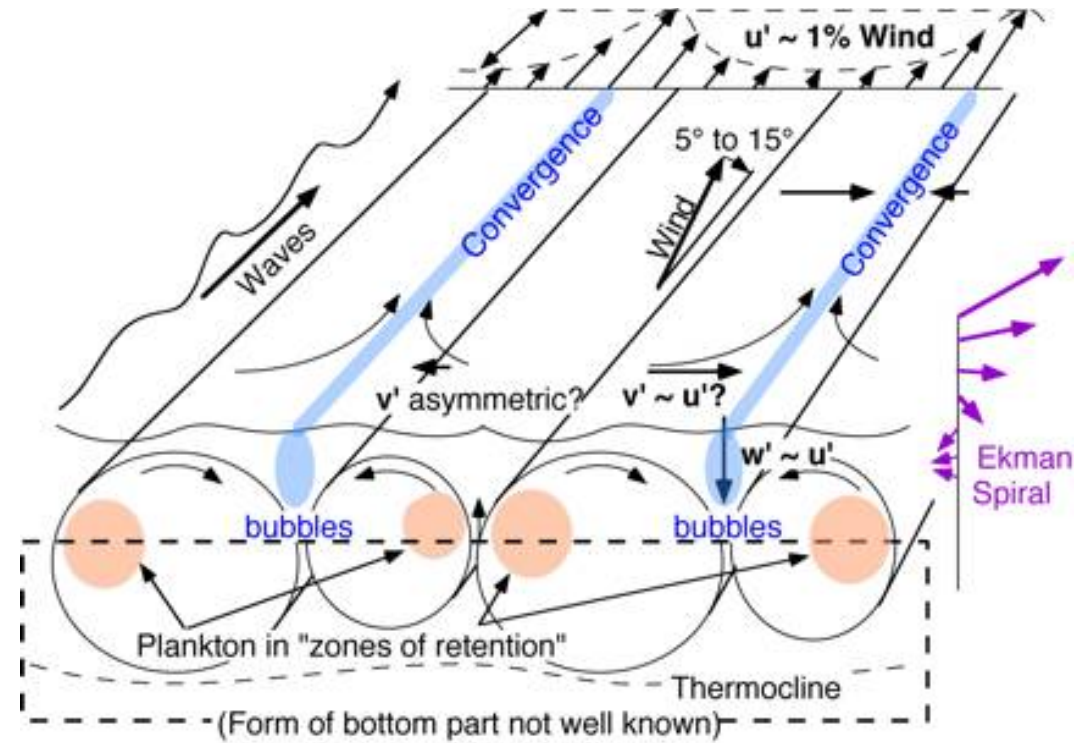
$$\tau = \rho_a C_d W^2 \quad (\text{N m}^{-2})$$

$$\rho_a \sim 1.3 \text{ kg m}^{-3}$$

$$C_d \sim 1 \rightarrow 3 \times 10^{-3}$$



Efectos del viento a pequeña escala: celdas de Langmuir



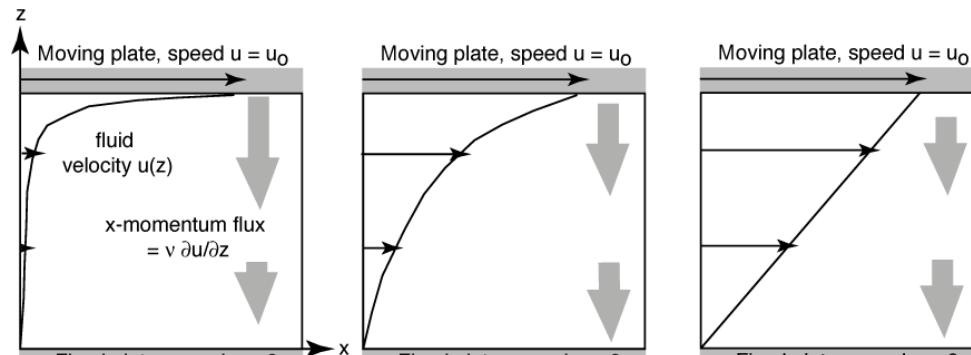
Escala horizontal: 10-50 m

Escala vertical: 4-6 m

Esfuerzo del viento

$$\tau = \rho_a C_d W^2 \quad (\text{N m}^{-2}) \quad \text{Fuerza por unidad de área}$$

- El esfuerzo del viento se transmite a la columna de agua a través de la viscosidad del fluido
- La viscosidad da lugar a la fricción que se opone al movimiento
- La viscosidad permite la mezcla turbulenta y la transferencia de la energía del viento hacia capas inferiores que no están expuestas al viento



Corrientes bajo un viento constante

- Cuando el océano está expuesto a un viento uniforme y constante, la capa superficial se mueve en la dirección del viento
- Si el viento continúa su acción, el agua se acelera e incrementa su velocidad
- La intensidad de la corriente llega a un límite
- Esto implica que la fuerza del viento sobre la superficie está siendo contrarrestada por otras fuerzas

Corrientes bajo un viento constante

- La fuerza del viento sobre la superficie está en balance con otras fuerzas
 - Fuerza de fricción
 - Fuerza de Coriolis

Corrientes bajo un viento constante

- La fuerza de fricción se opone al movimiento y se incrementa conforme la velocidad aumenta
- La fuerza de Coriolis actúa una vez que se inicia el movimiento

Esfuerzo del viento = Fricción + Coriolis

Bajo la influencia de un viento constante la capa superficial se mueve a velocidad constante en una dirección diferente a la del viento

Balance de fuerzas (con rotación)

$$\begin{aligned}x: \quad & \partial u / \partial t + u \partial u / \partial x + v \partial u / \partial y + w \partial u / \partial z - f_v = \\ & - (1 / \rho) \partial p / \partial x + \partial / \partial x (A_H \partial u / \partial x) + \\ & \partial / \partial y (A_H \partial u / \partial y) + \partial / \partial z (A_V \partial u / \partial z)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}y: \quad & \partial v / \partial t + u \partial v / \partial x + v \partial v / \partial y + w \partial v / \partial z + f_u = \\ & - (1 / \rho) \partial p / \partial y + \partial / \partial x (A_H \partial v / \partial x) + \\ & \partial / \partial y (A_H \partial v / \partial y) + \partial / \partial z (A_V \partial v / \partial z)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}z: \quad & \partial w / \partial t + u \partial w / \partial x + v \partial w / \partial y + w \partial w / \partial z (+ F_c \approx 0) = \\ & - (1 / \rho) \partial p / \partial z - g + \partial / \partial x (A_H \partial w / \partial x) + \\ & \partial / \partial y (A_H \partial w / \partial y) + \partial / \partial z (A_V \partial w / \partial z)\end{aligned}$$

Balance de fuerzas (con rotación)

$$\begin{aligned} x: & \partial u / \partial t + u \partial u / \partial x + v \partial u / \partial y + w \partial u / \partial z - f_v = \\ & - (1/\rho) \partial p / \partial x + \partial / \partial x (A_H \partial u / \partial x) + \\ & \partial / \partial y (A_H \partial u / \partial y) + \partial / \partial z (A_V \partial u / \partial z) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} y: & \partial v / \partial t + u \partial v / \partial x + v \partial v / \partial y + w \partial v / \partial z + f_u = \\ & - (1/\rho) \partial p / \partial y + \partial / \partial x (A_H \partial v / \partial x) + \\ & \partial / \partial y (A_H \partial v / \partial y) + \partial / \partial z (A_V \partial v / \partial z) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} z: & \partial w / \partial t + u \partial w / \partial x + v \partial w / \partial y + w \partial w / \partial z (+ F_c \approx 0) = \\ & - (1/\rho) \partial p / \partial z - g + \partial / \partial x (A_H \partial w / \partial x) + \\ & \partial / \partial y (A_H \partial w / \partial y) + \partial / \partial z (A_V \partial w / \partial z) \end{aligned}$$

El balance queda como:

$$-f v = \frac{\partial}{\partial z} \left(A_v \frac{\partial u}{\partial z} \right)$$

$$f u = \frac{\partial}{\partial z} \left(A_v \frac{\partial v}{\partial z} \right)$$

$$f v + A_v \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = 0$$

$$-f u + A_v \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} = 0$$

Cuya solución es:

$$u = V_0 \mathbf{e}^{az} \cos\left(\frac{\pi}{4} + az\right)$$

$$v = V_0 \mathbf{e}^{az} \operatorname{sen}\left(\frac{\pi}{4} + az\right)$$

$$V_0 = \frac{\tau}{\sqrt{\rho^2 f A_V}} \quad a = \sqrt{\frac{f}{2 A_V}}$$

En $z=0$ (superficie)

$$u(0) = V_0 \cos\left(\frac{\pi}{4}\right)$$

$$v(0) = V_0 \operatorname{sen}\left(\frac{\pi}{4}\right)$$



Esto es, la corriente superficial está orientada 45° a la derecha del viento en el HN.

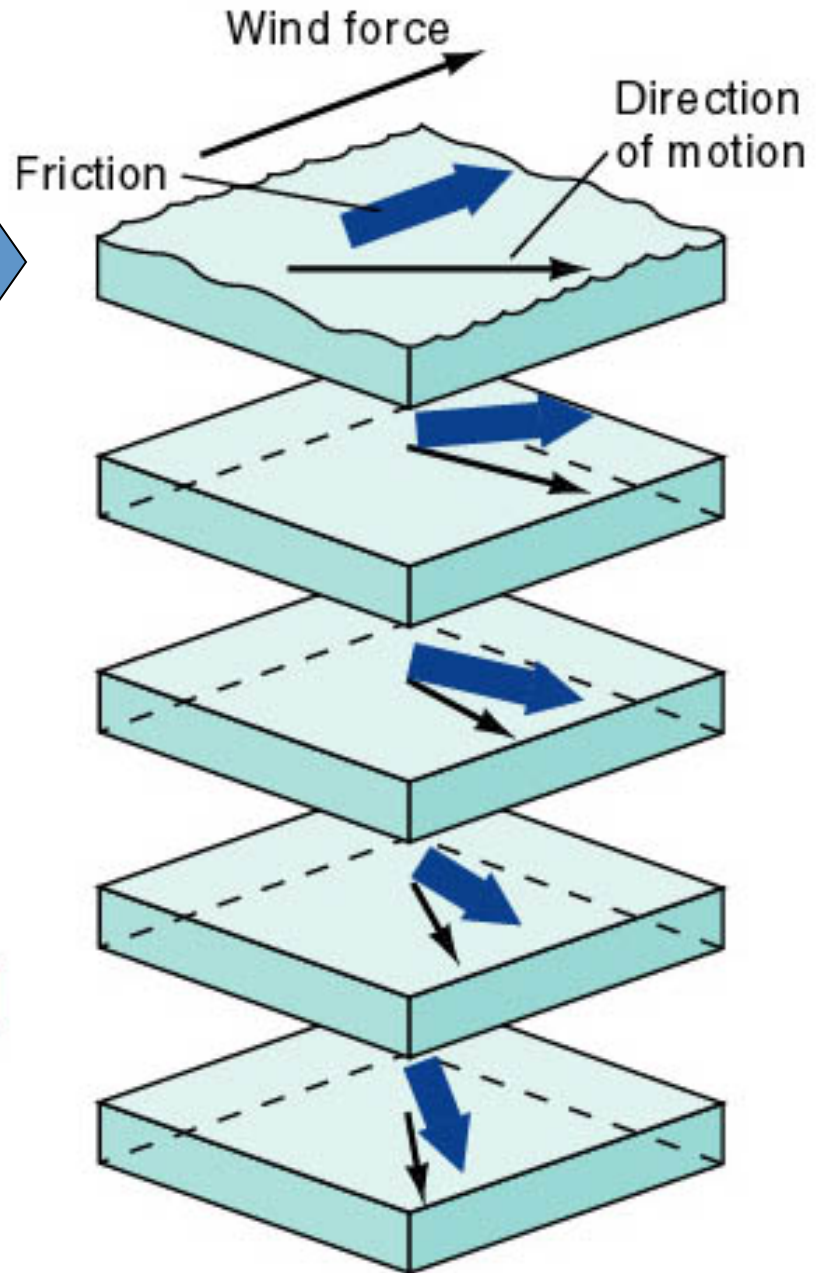
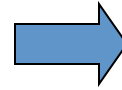
Debajo de la superficie:

$$\left[u^2 + v^2 \right]^{\frac{1}{2}} = V_0 e^{az}$$



La velocidad decae exponencialmente con la profundidad.

superficie

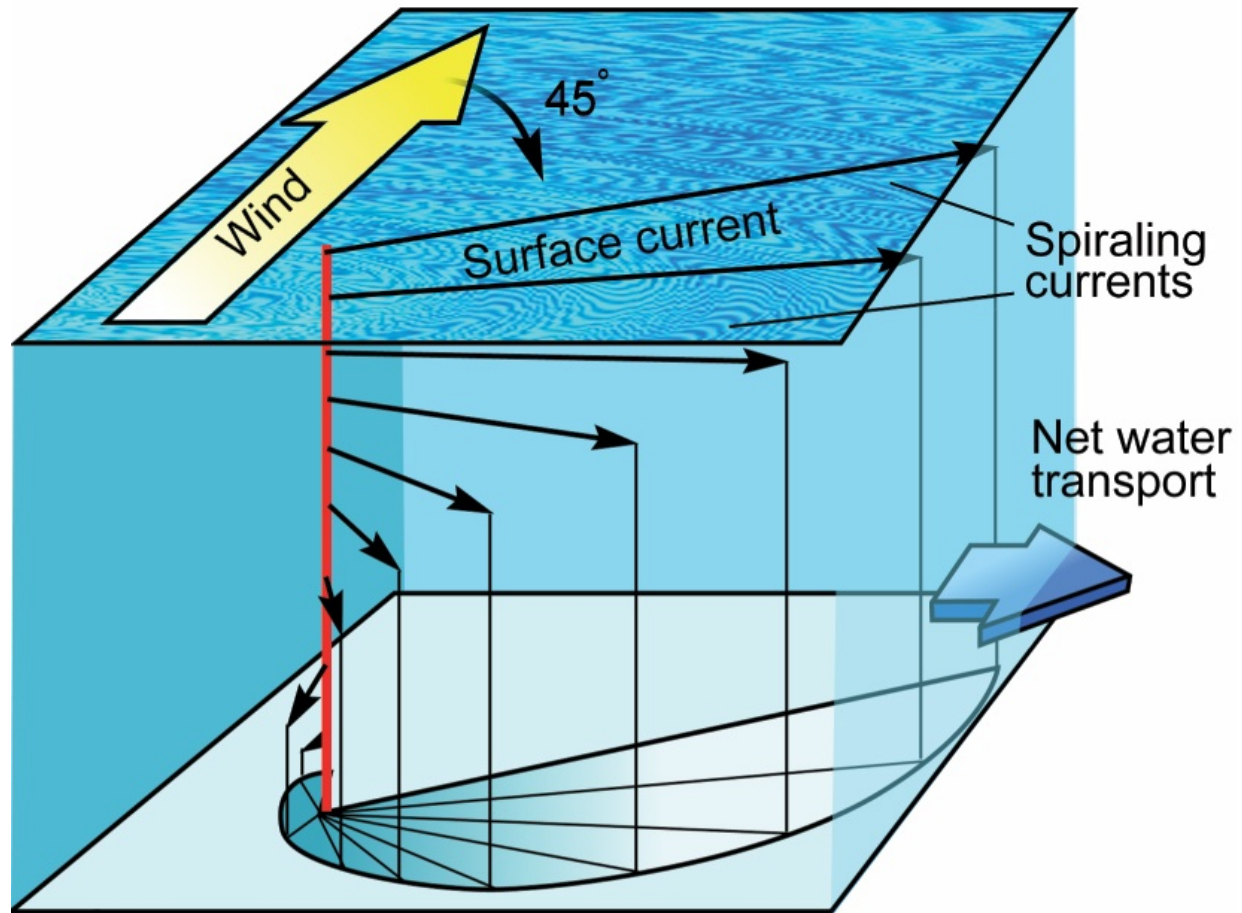


¿Cómo se propaga la fuerza del viento hacia el océano?

balance entre fricción y rotación

b

Espiral de Ekman

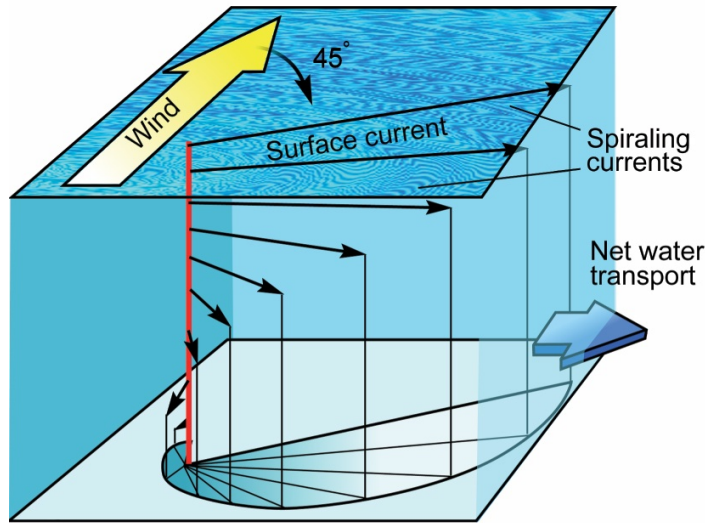


Profundidad de Ekman

La profundidad hasta la que actúa el viento ocurre en

$$D_E = \sqrt{\frac{2\pi^2 A_V}{f}} \approx \frac{3.8 W_{10}}{\sqrt{\text{sen } \varphi}}$$

Espiral de Ekman



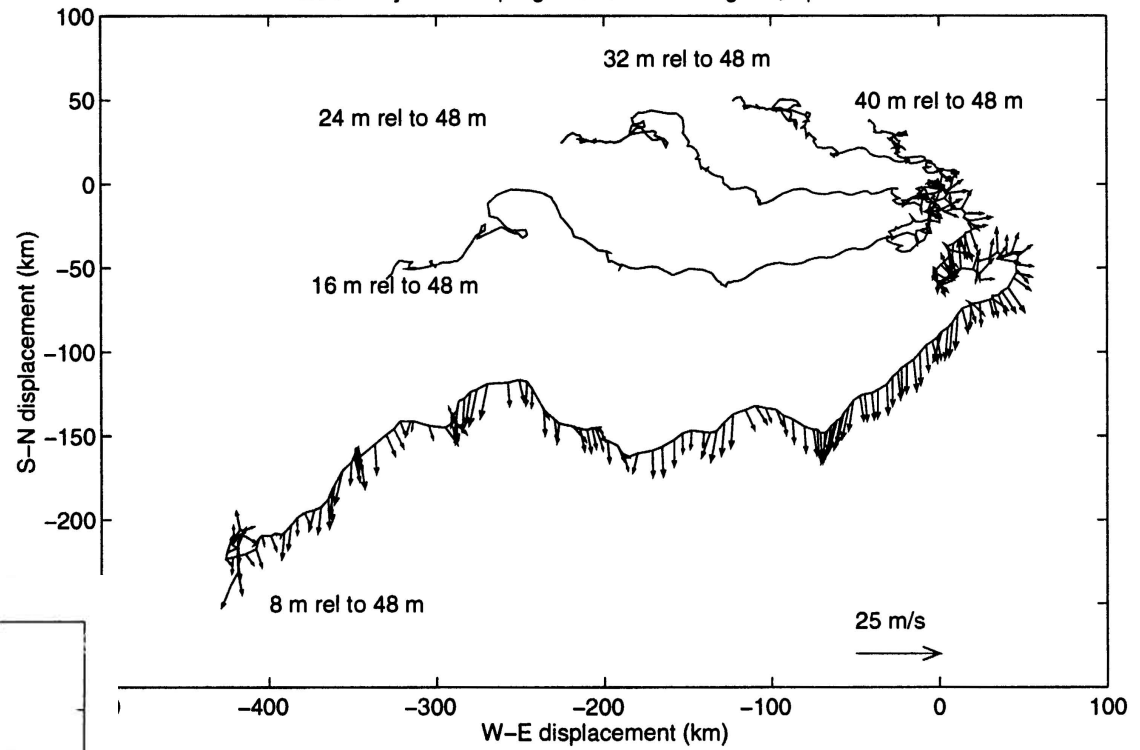
El transporte neto en la capa de Ekman ocurre 90° a la derecha del viento

$$U_{EK} = \frac{\tau}{\rho f} \quad (\text{m}^2 \text{s}^{-1})$$

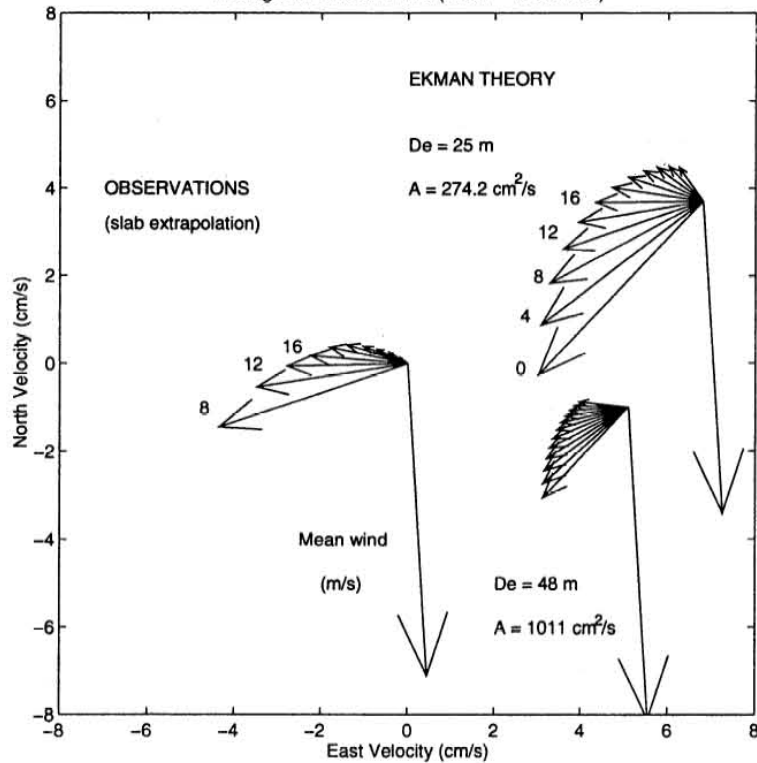
Técnicamente, no es un transporte ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$). Se debe sumar horizontalmente a lo largo de una sección para obtener las unidades

Si $\tau \sim 0.1 \text{ N m}^{-2}$, $U_{EK} = 1 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$. Si se integra sobre una distancia de 5000 km, el transporte total es $5 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, o sea, 5 Sv.

EBC Daily wind on progressive vector diagram, Apr–Oct 93



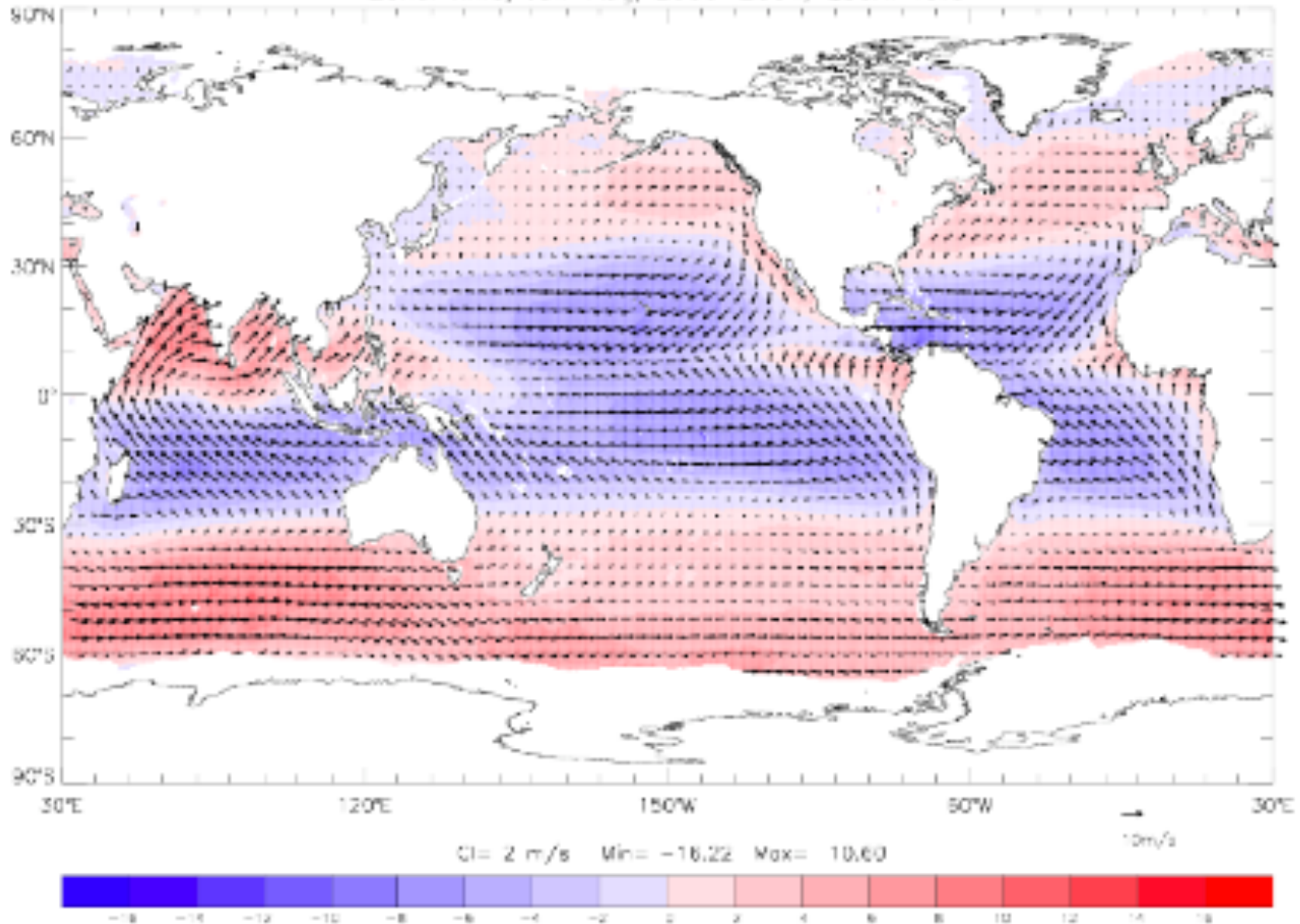
Average currents and wind (6 Jun – 4 Oct 1993)



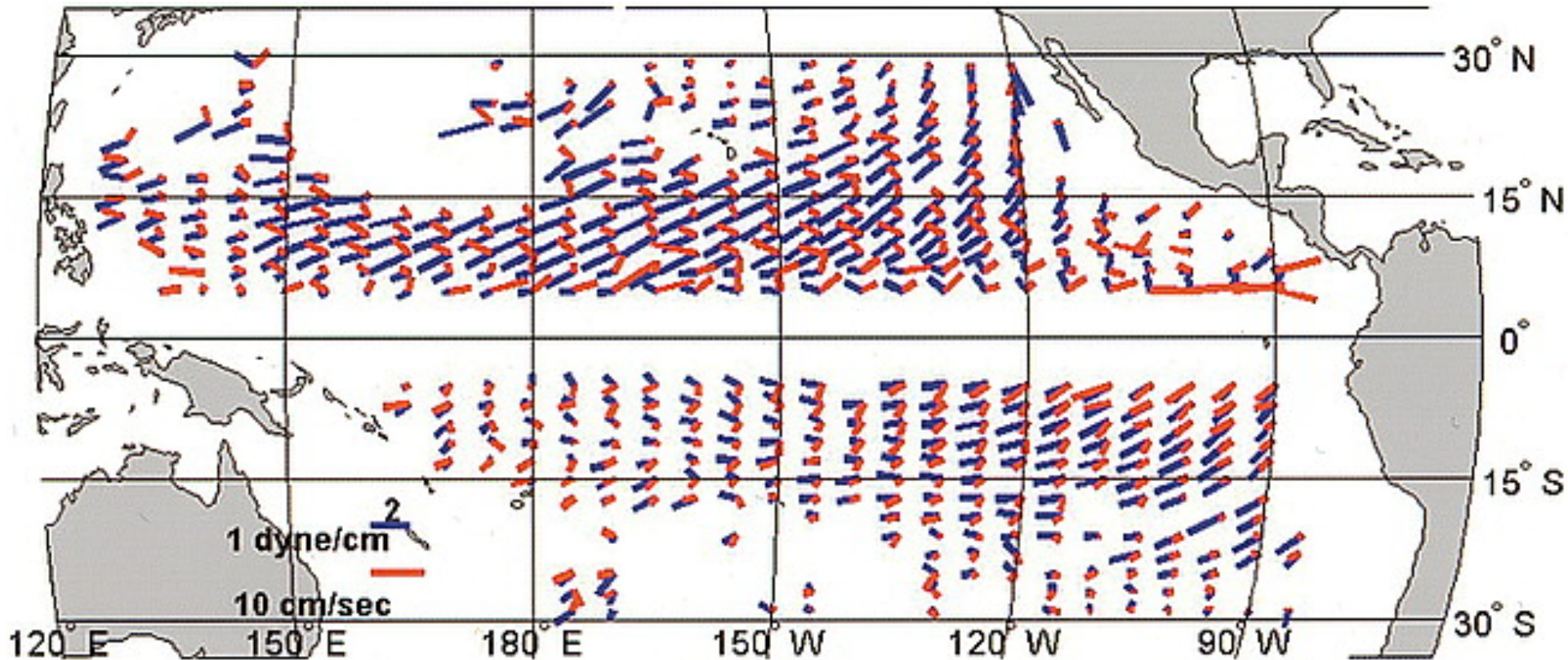
Observaciones de la
capa de Ekman

Viento sobre la superficie

Zonal Wind, Jan–Aug, 2000–2004, QSCAT revs



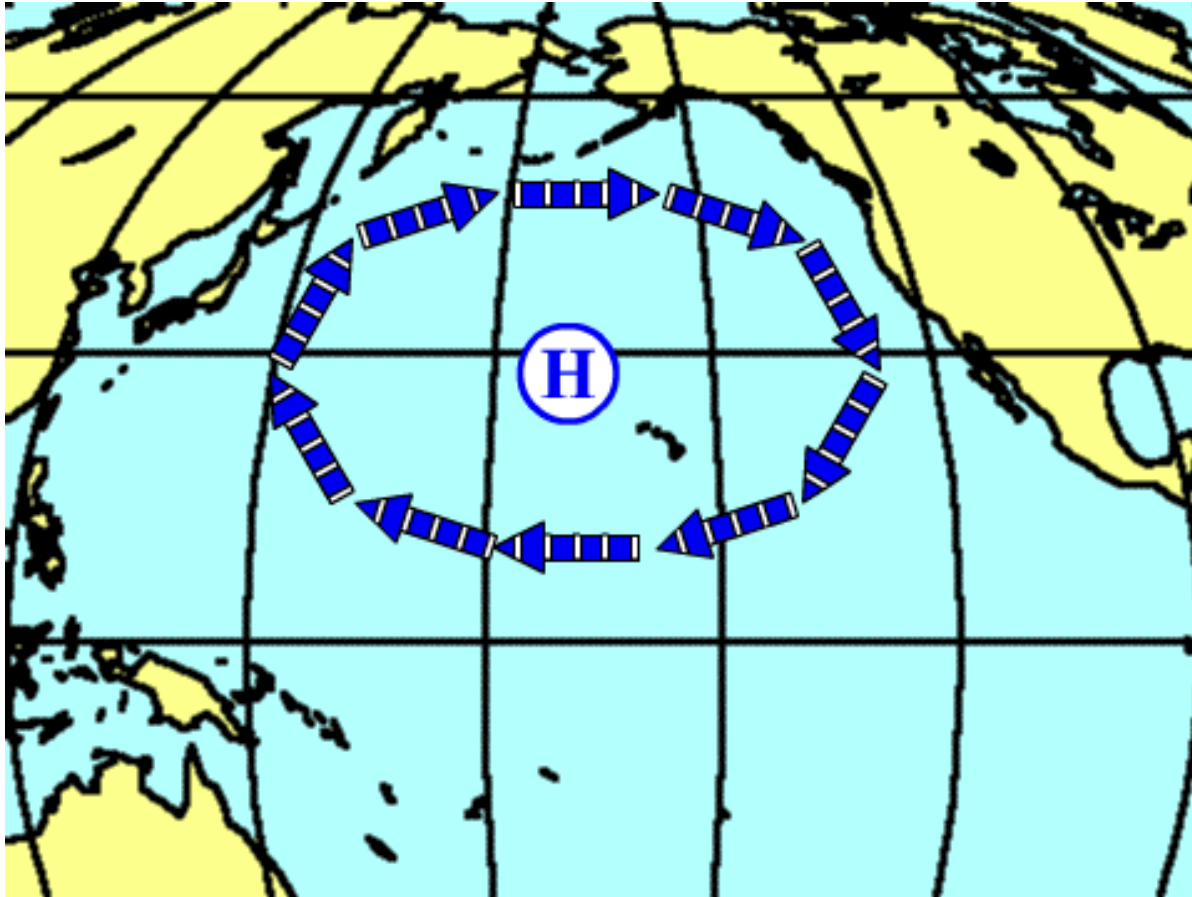
Balance de Ekman global en base a boyas de deriva

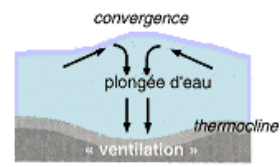


Azul – Viento promedio

Rojo - Corriente promedio 0-15 m

Patrón de vientos y el Transporte de Ekman





North America

Europe

N

60°N

Hill's center offset to west

W

E

Coriolis effect

15°N

B

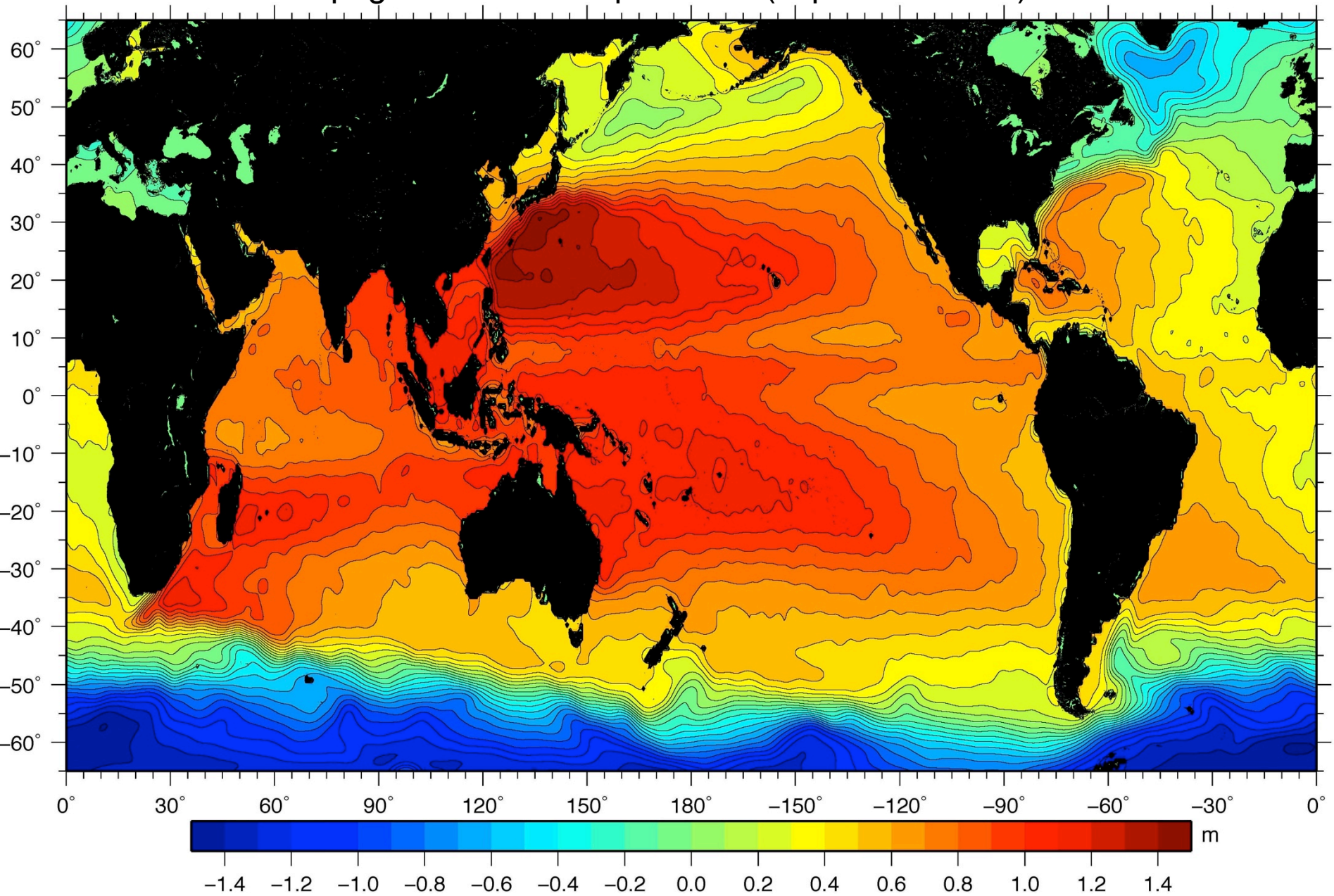
Equator

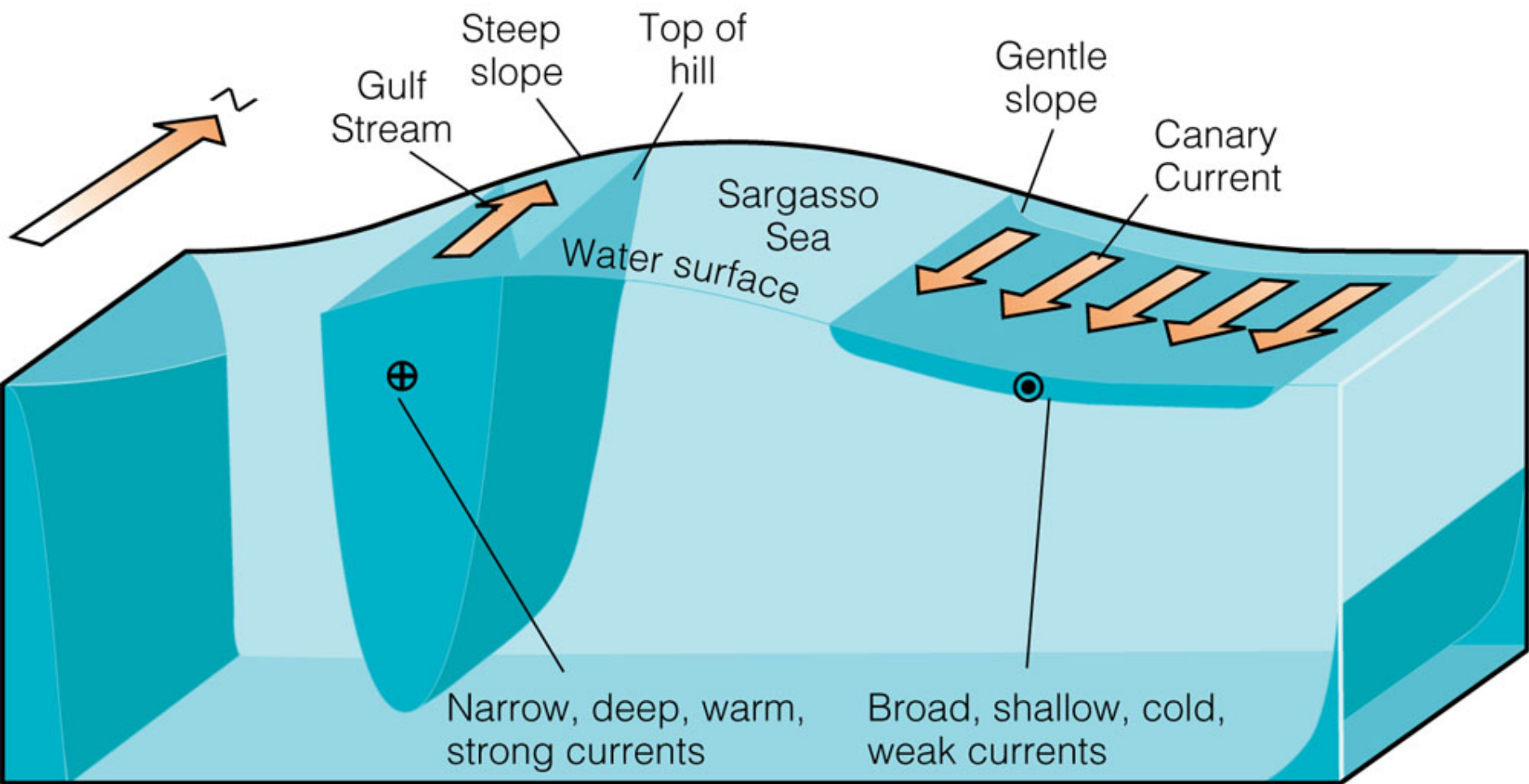
Pressure gradient

S

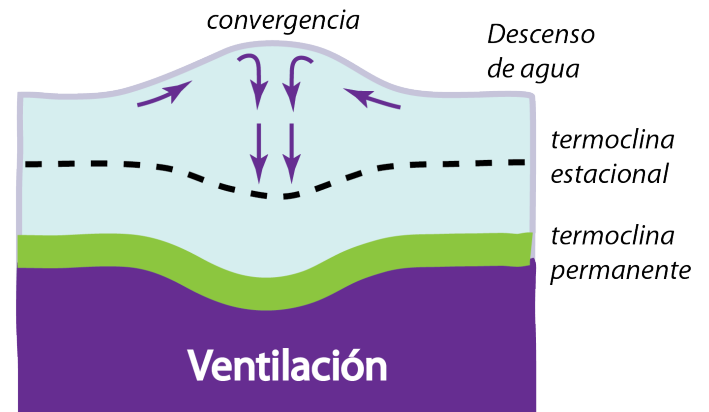
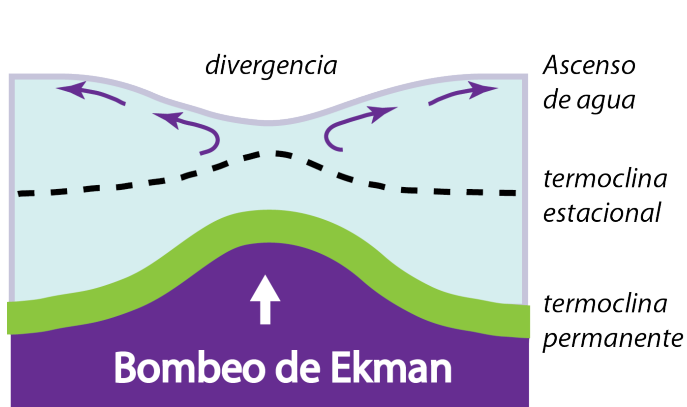
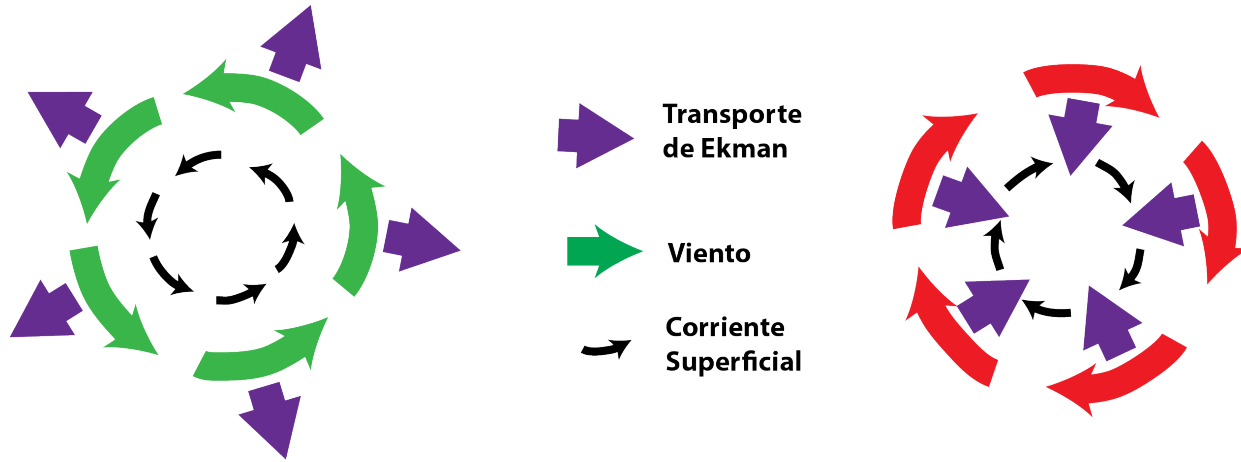
Pycnocline

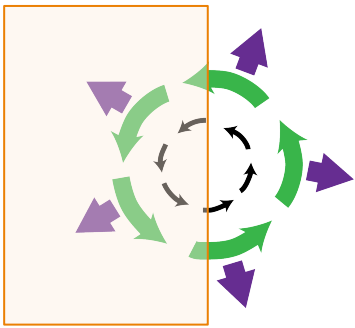
Topografía Dinámica promedio (Topex Poseidon)





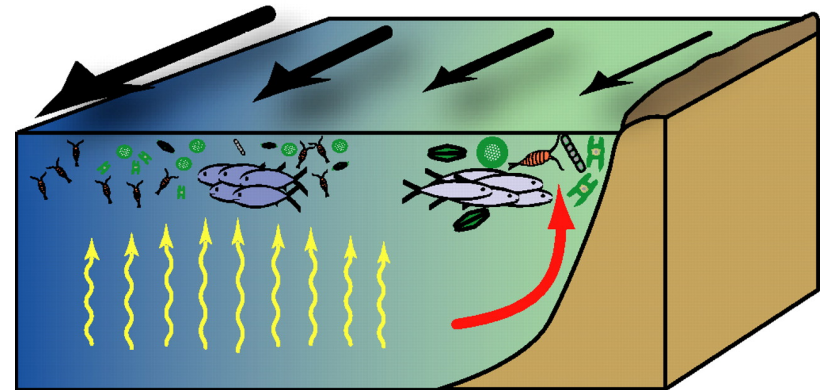
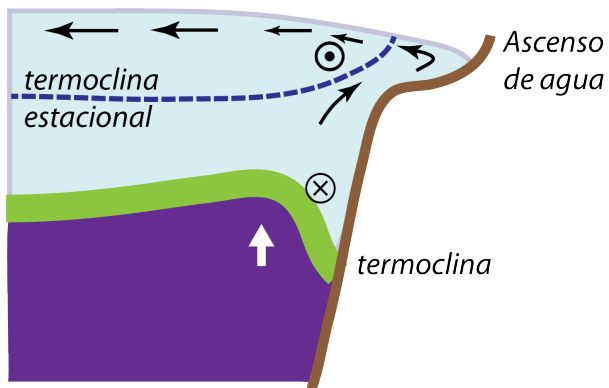
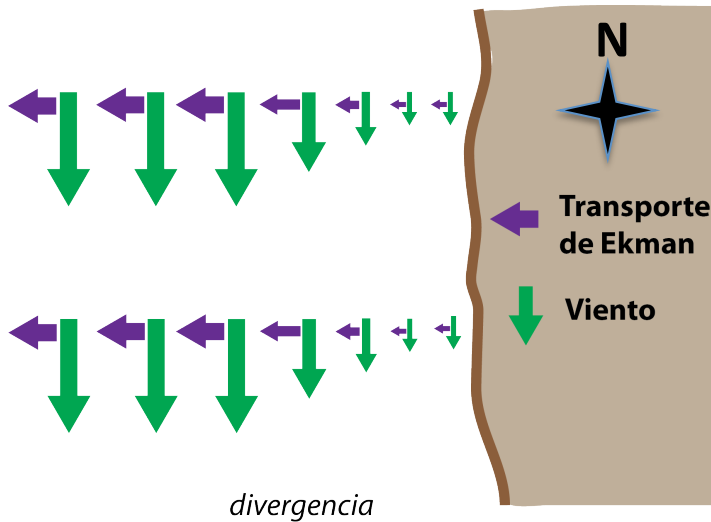
Viento y Bombeo de Ekman (hemisferio norte)



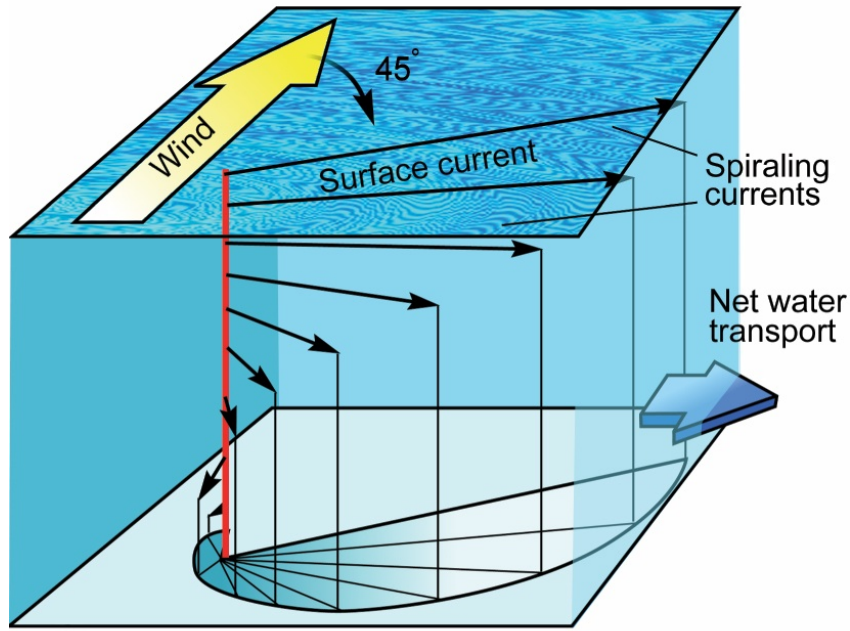


Surgencia por el Rotacional del Esfuerzo (divergencia) del Viento

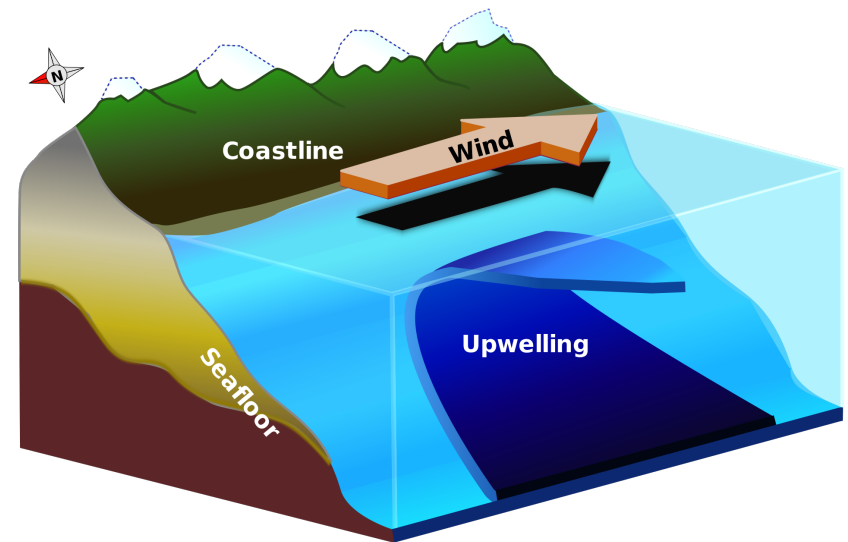
- El rotacional positivo levanta la termoclina estacional
- Los nutrientes debajo de la termoclina se desplazan hacia la zona fótica



Espiral de Ekman

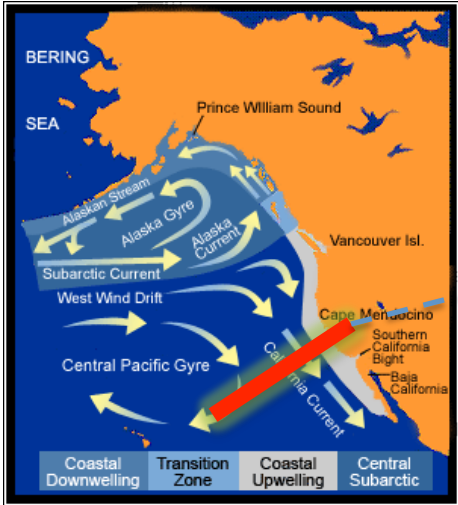


Surgencia Costera



- En promedio, el agua se mueve 90° a la derecha del viento en la capa superficial (capa de Ekman).
- Para que exista surgencia costera en el HN, el viento debe ser paralelo a la costa, con la costa a la izquierda
- Las aguas costeras son más frías y ricas en nutrientes

Corrientes de Frontera Oriental



○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ Viento

