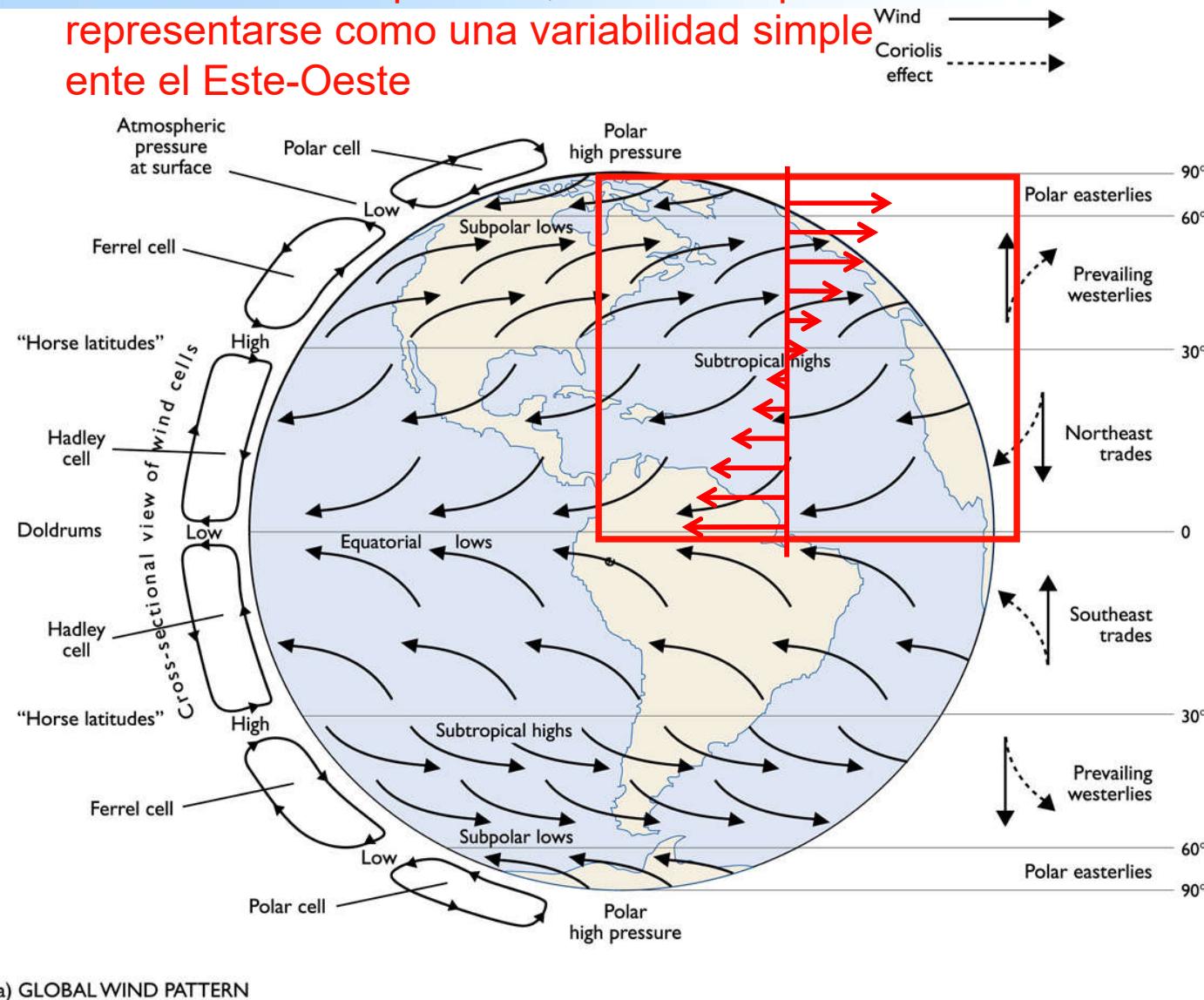


¿Cómo se mueve el océano?



En una forma simplificada, los vientos pueden representarse como una variabilidad simple entre el Este-Oeste



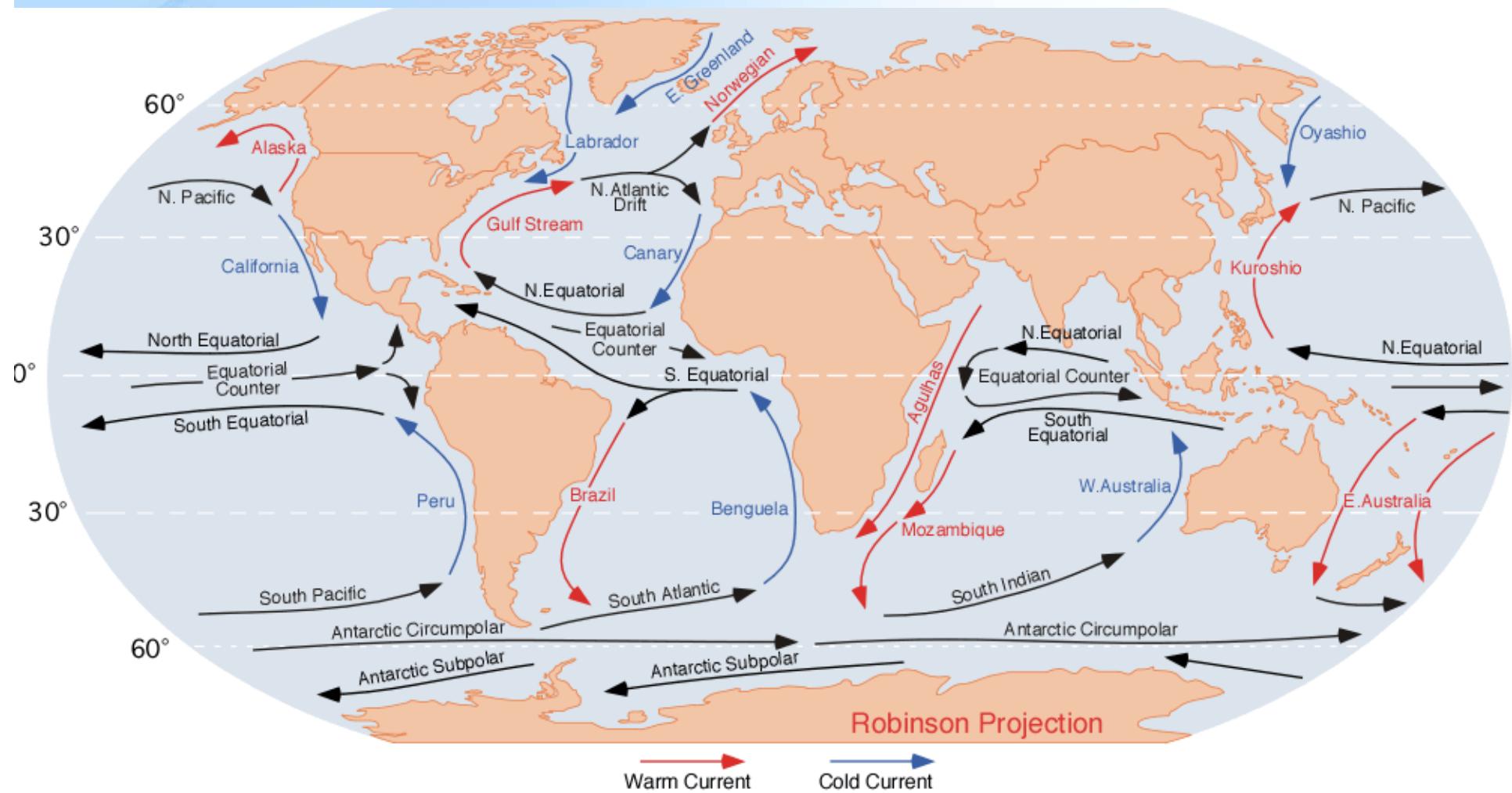
(a) GLOBAL WIND PATTERN

Corrientes Superficiales

- Fricción del viento generada durante su contacto con la superficie del oceánica
- Sigue generalmente el patrón de vientos
- Otros factores:
 - Distribución de continentes
 - Gravedad
 - Fricción
 - Efecto Coriolis



Principales patrones de circulación superficial



Giros Subtropicales:

Generalmente cuentan con 4 corrientes en cada giro.

Centrados alrededor de 30° N/S latitud

Giros Subpolares:

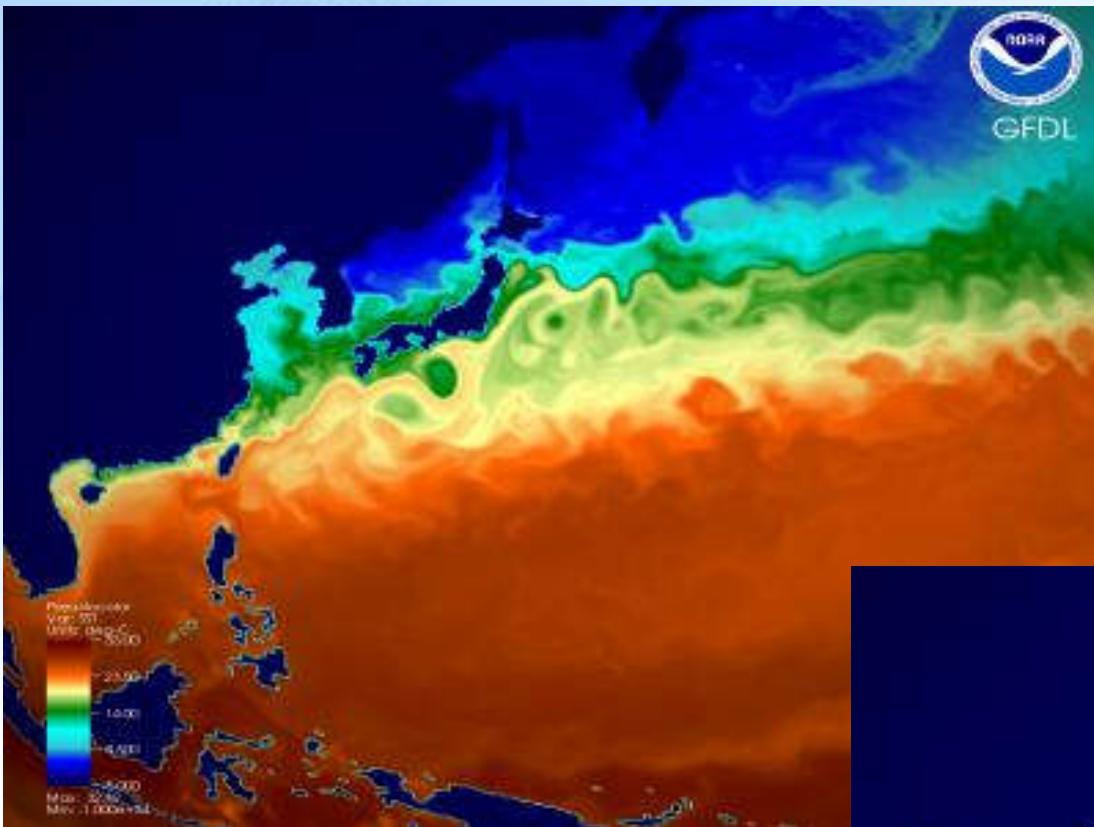
Mas pequeños que los giros subtropicales

Generalmente cuentan con 2 corrientes por giro.

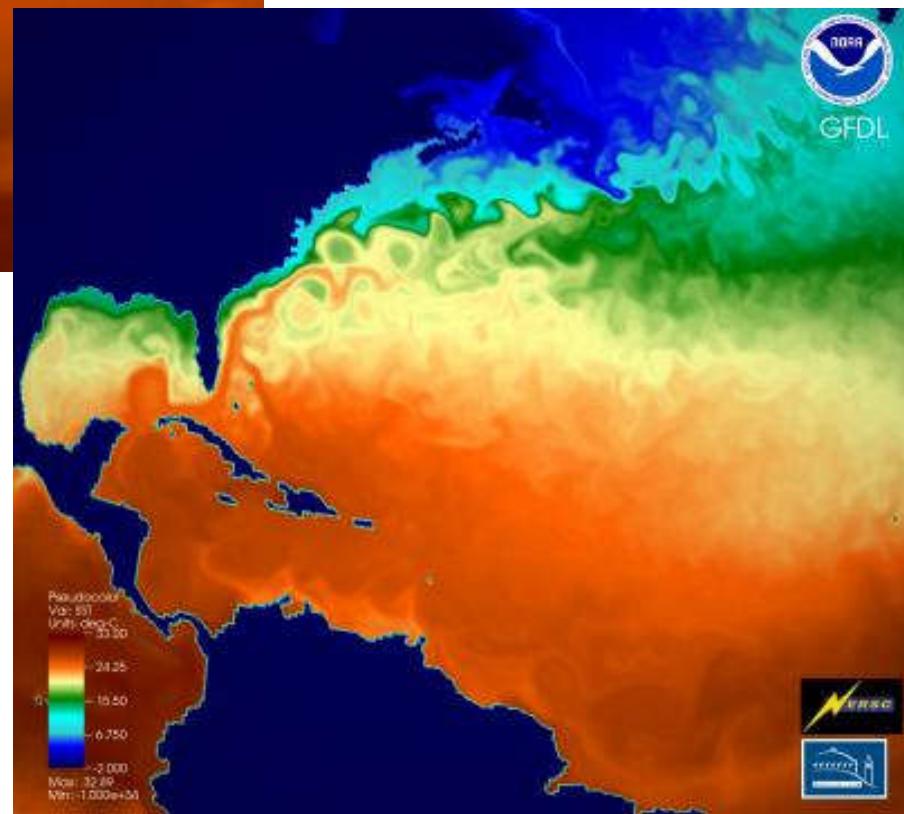
Centrados alrededor de 60° N/S latitud

Rota en la dirección opuesta al giro adyacente.

- ✓ Las corrientes **cálidas** fuyen hacia afuera del Ecuador
- ✓ Las corrientes **frias** fluyen hacia el Ecuador .



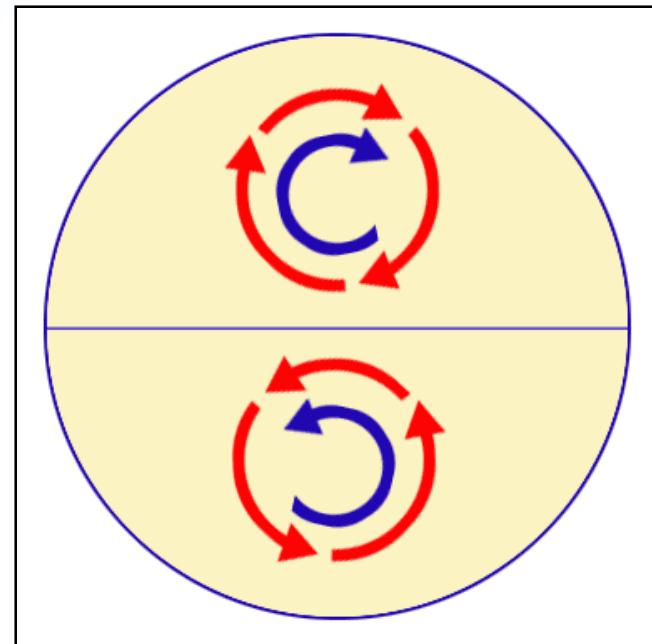
Kuroshio



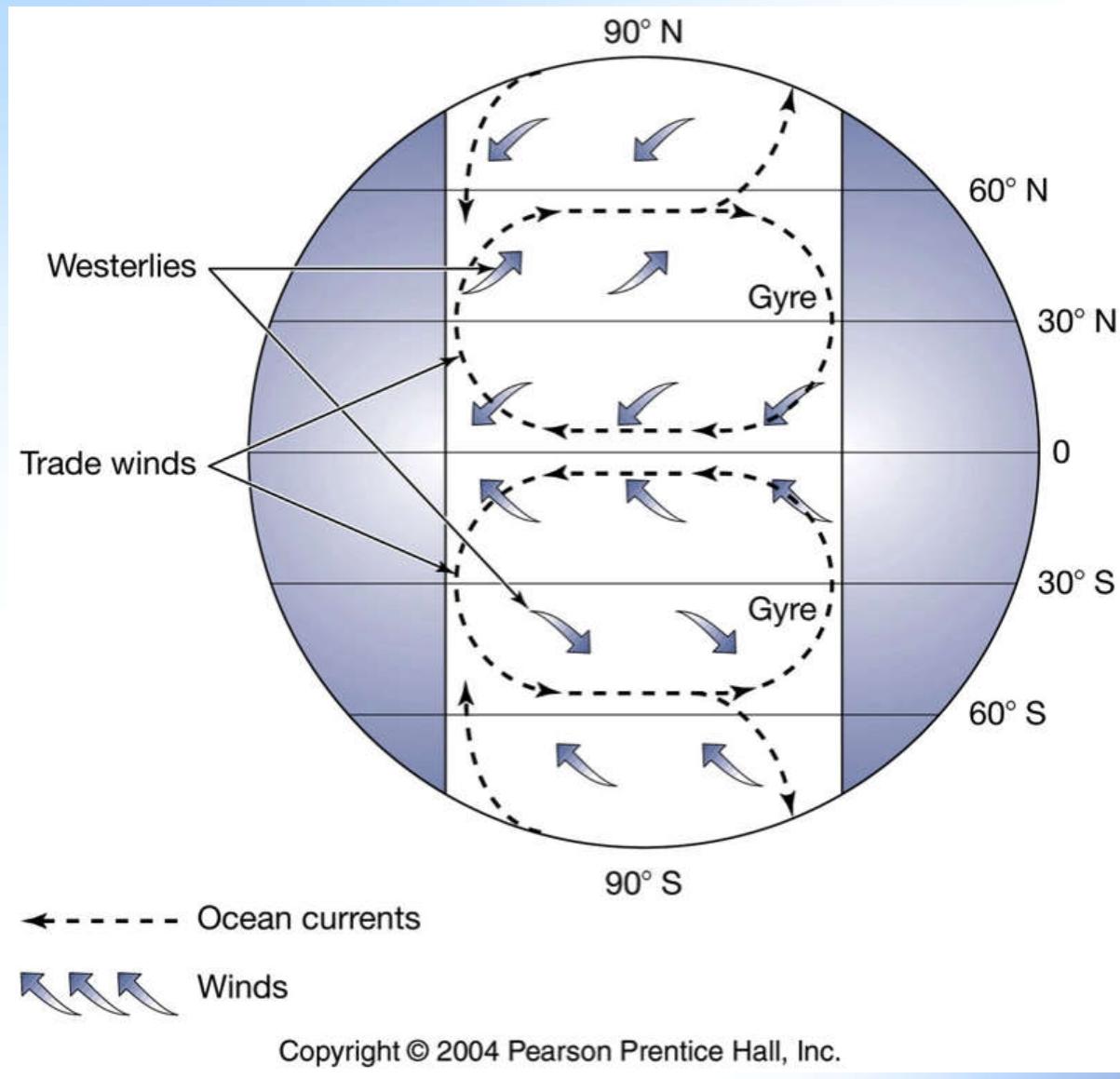
Golfo

Efecto combinado de la expansión térmica – Gravedad y el viento

- Se equilibran siguiendo una trayectoria circular
 - Sentido horario en el Hemisferio Norte
 - Sentido antihorario en el Hemisferio Sur.
- Siguen las fronteras de las cuencas oceánicas y son llamados GIROS

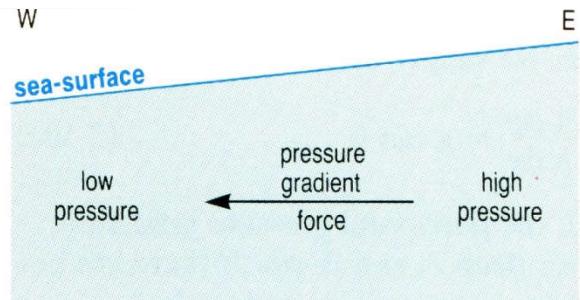


Vista simplificada de los giros océánicos

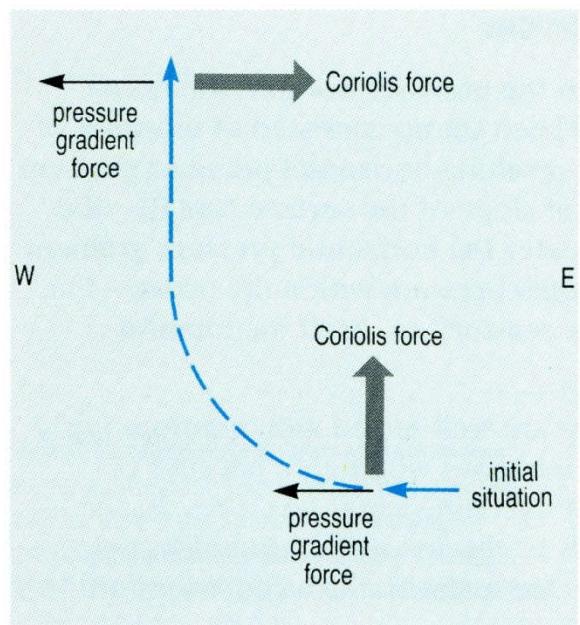


Giros en balance entre la gravedad y el efecto de Coriolis son llamados giros geostróficos (geos=tierra, trofía=girar) y sus corrientes, corrientes geostróficas.

Física: (movimiento y velocidad) dependerá de la pendiente de la superficie (gravedad), la componente de Coriolis, y la presión y densidad de la columna de agua.



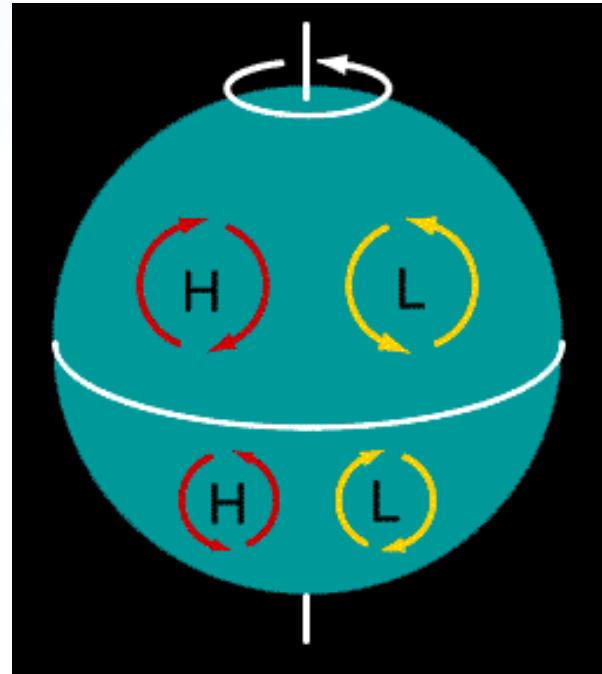
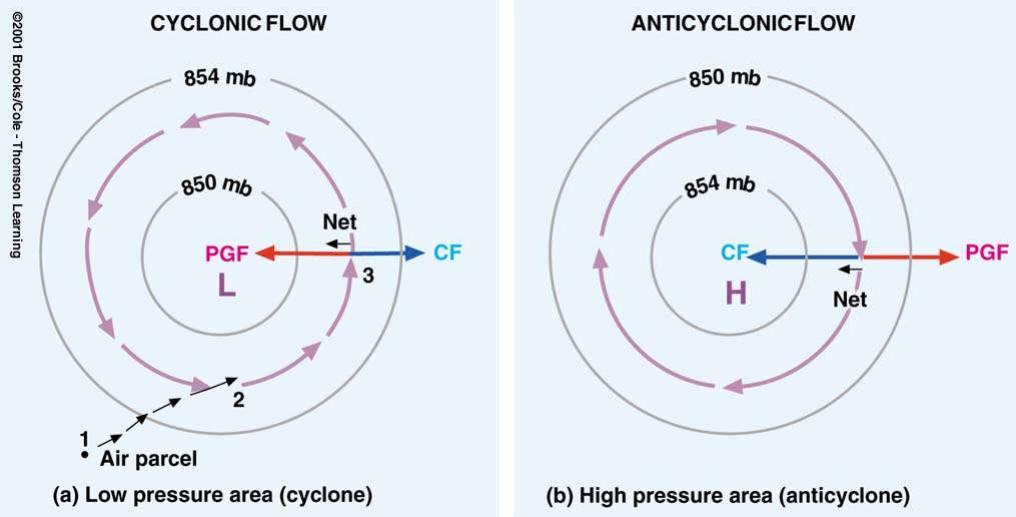
(a) CROSS-SECTION



(b) PLAN

Figure 3.12 (a) In the Northern Hemisphere, a sea-surface slope up towards the east results in a horizontal pressure gradient force towards the west. (b) Initially, this causes motion 'down the pressure gradient', but because the Coriolis force acts at right angles to the direction of motion, the equilibrium situation is one in which the direction of flow (blue line) is at right angles to the pressure gradient.

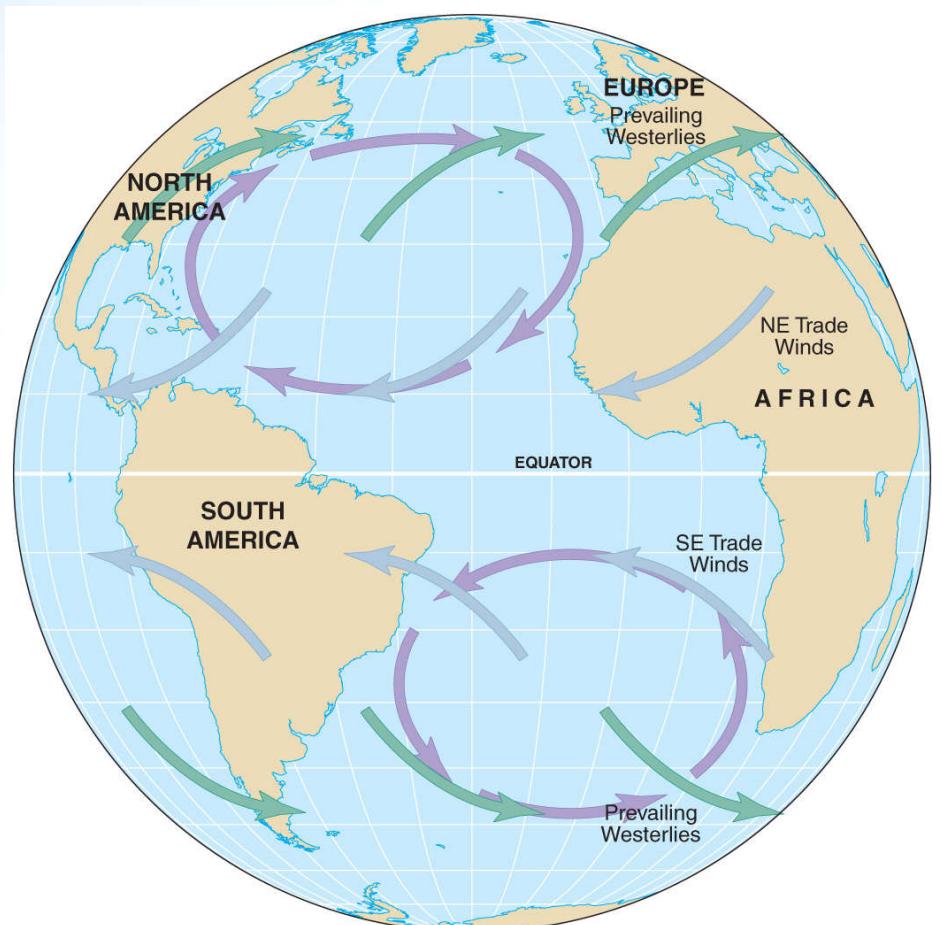
Circulación ciclónica y anticiclónica



Cómo son los giros planetarios?

Giros Subtropicales

- Extensos, movimiento circular
- Delimitados por:
 - Corriente Ecuatorial
 - Corriente de frontera del Oeste (Western Boundary currents)
 - Corrientes en el Norte o el Sur
 - Corriente del Este
- Centrados alrededor de 30° N-S



© 2011 Pearson Education, Inc.



Giros y Corrientes

TABLE 7.1

SUBTROPICAL GYRES AND SURFACE CURRENTS

Pacific Ocean	North Pacific (Turtle) Gyre	North Atlantic (Columbus) Gyre	Indian Ocean (Majid) Gyre
	North Pacific Current	North Atlantic Current	South Equatorial Current
	California Current ^a	Canary Current ^a	Agulhas Current ^b
	North Equatorial Current	North Equatorial Current	West Wind Drift
	Kuroshio (Japan) Current ^b	Gulf Stream ^b	West Australian Current ^a
	South Pacific (Heyerdahl) Gyre	South Atlantic (Navigator) Gyre	Other Major Currents
	South Equatorial Current	South Equatorial Current	Equatorial Countercurrent
	East Australian Current ^b	Brazil Current ^b	North Equatorial Current
	West Wind Drift	West Wind Drift	Leeuwin Current
	Peru (Humboldt) Current ^a	Benguela Current ^a	Somali Current
	Other Major Currents	Other Major Currents	
	Equatorial Countercurrent	Equatorial Countercurrent	
	Alaskan Current	Florida Current	
	Oyashio Current	East Greenland Current	
		Labrador Current	
		Falkland Current	

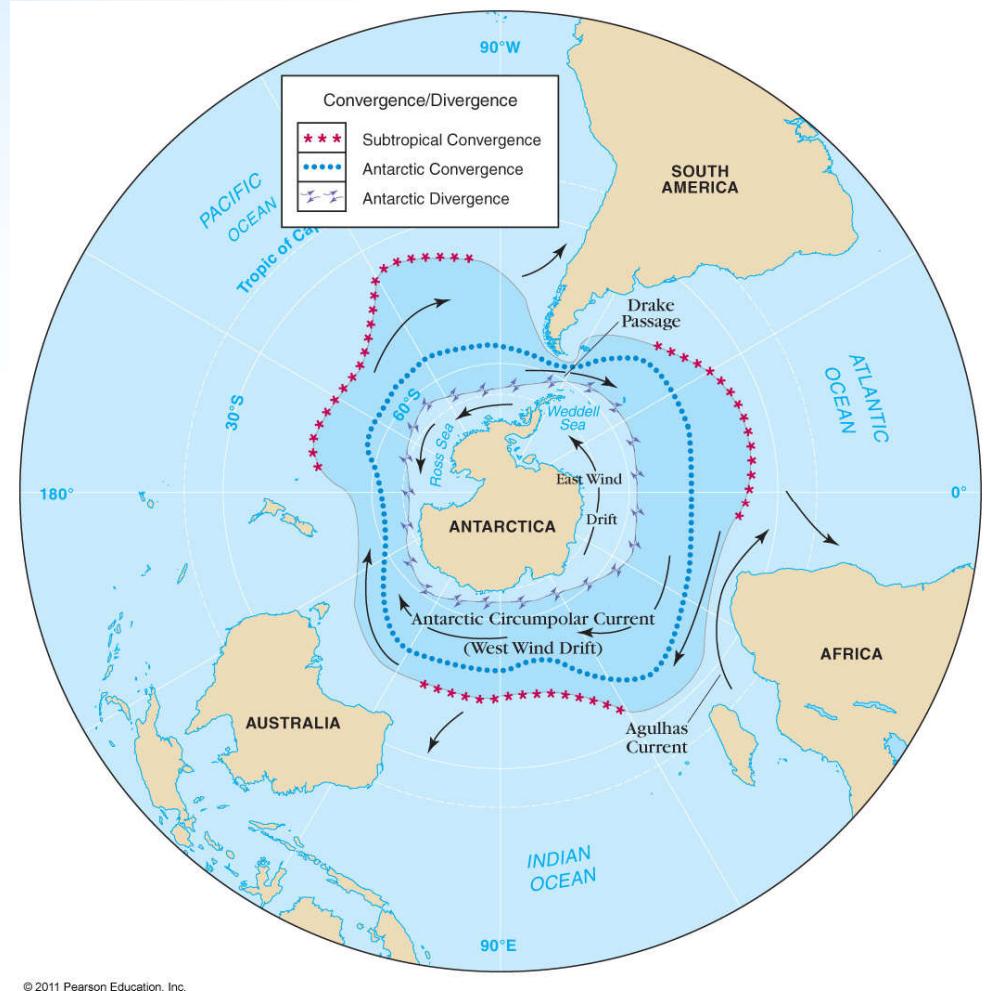
^aDenotes an eastern boundary current of a gyre, which is relatively *slow, wide, and shallow* (and is also a *cold-water current*).

^bDenotes a western boundary current of a gyre, which is relatively *fast, narrow, and deep* (and is also a *warm-water current*).



Circulación en la Antártica

- Corriente circumpolar de la Antártica
 - También llamado Giro del Pinguino
 - La única corriente que transita por todas las longitudes
 - Es la corriente que más agua transporta



© 2011 Pearson Education, Inc.

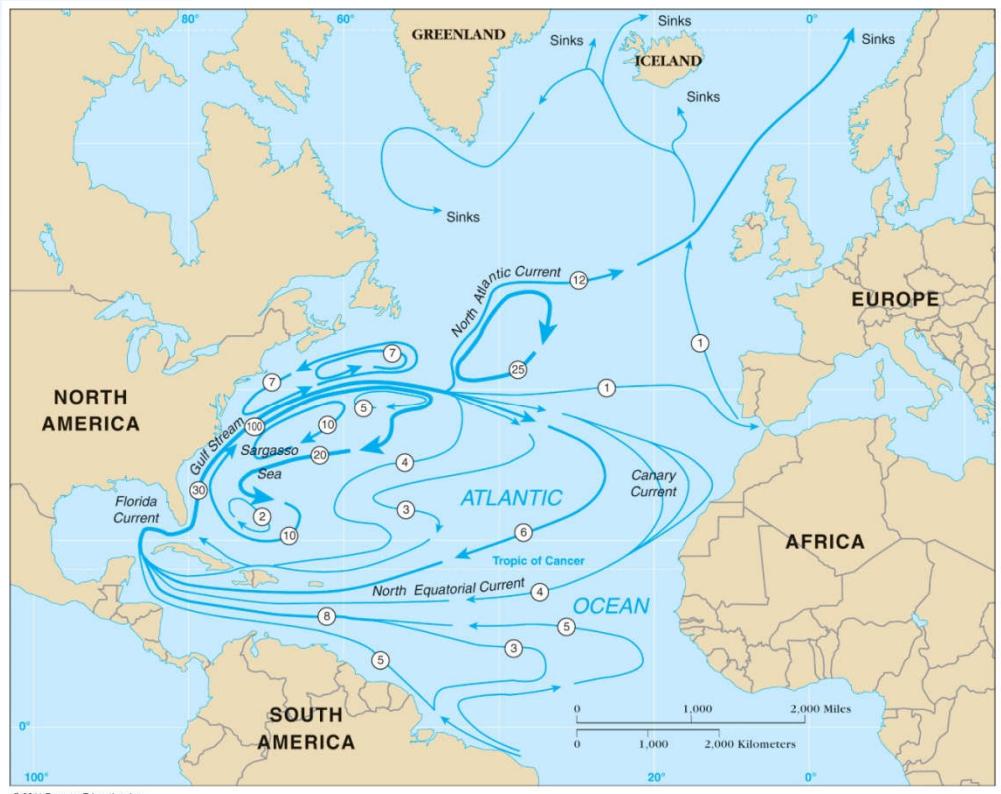
Circulación de la Antártica

- **Convergencia Antártica**
 - Fria, aguas antárticas densas convergen con aguas subantárticas más cálidas y menos densas
 - Delimita la frontera más al norte del Océano Antártico
- **Viento de deriva del Este**
 - Polares del Este
 - Crean divergencia en la superficie y fluye en la dirección opuesta de la corriente circumpolar
- **Divergencia Antártica**
 - Abundante vida marina



Circulación del Océano Atlántico

- Giro Subtropical del Atlántico Norte delimitado por:
 - Corriente Ecuatorial del Norte
 - Corriente del Golfo
 - Corriente del Atlántico Norte
 - Corriente de Canarias
 - Corriente Sur Ecuatorial
 - Contracorriente del Atlántico Ecuatorial



© 2011 Pearson Education, Inc.



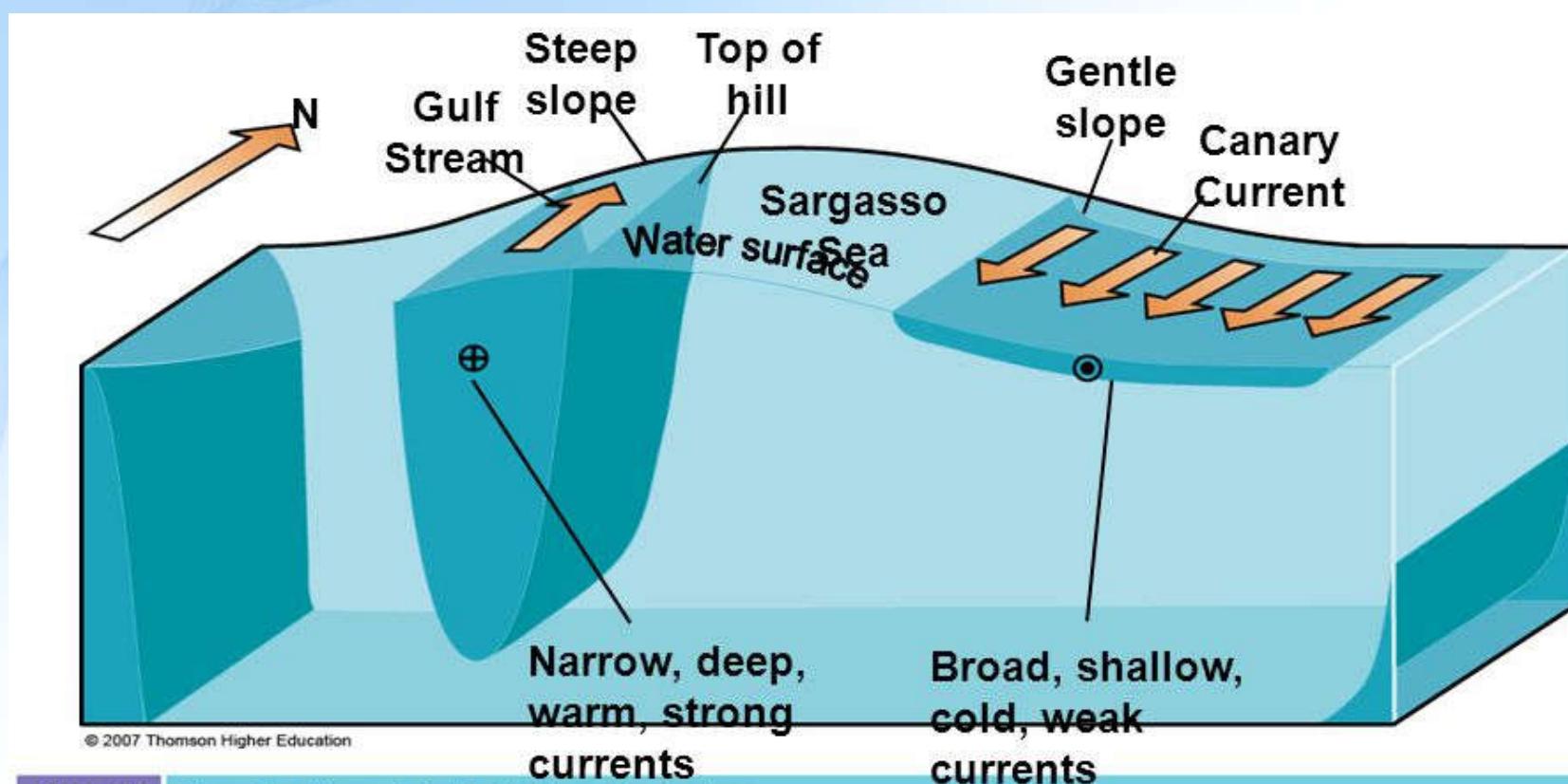
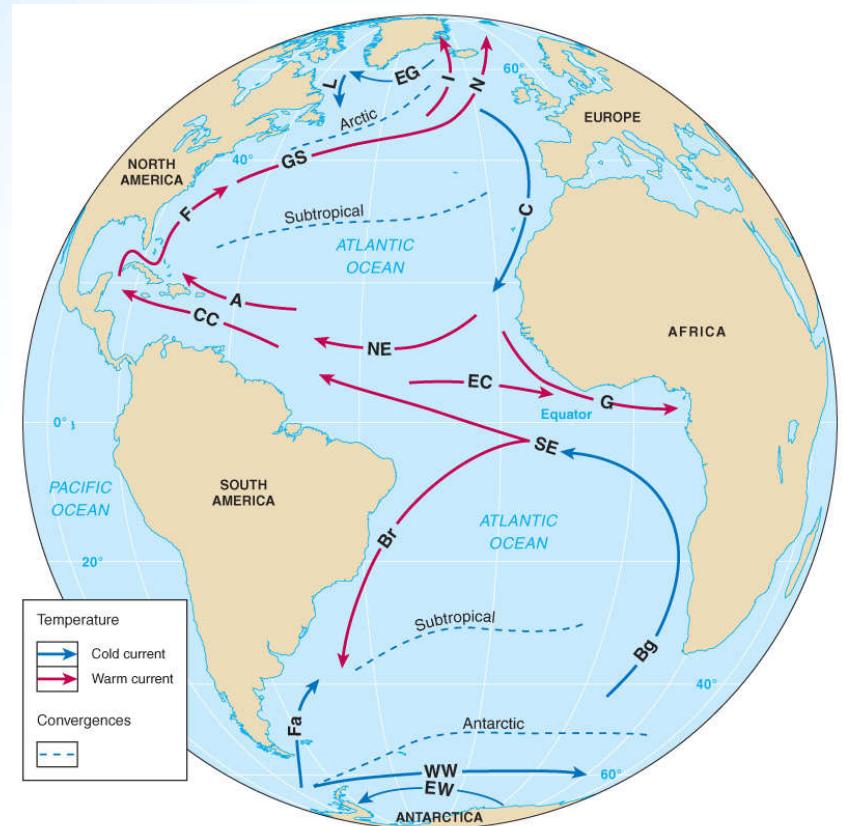


Table 9.1 Boundary Currents in the Northern Hemisphere

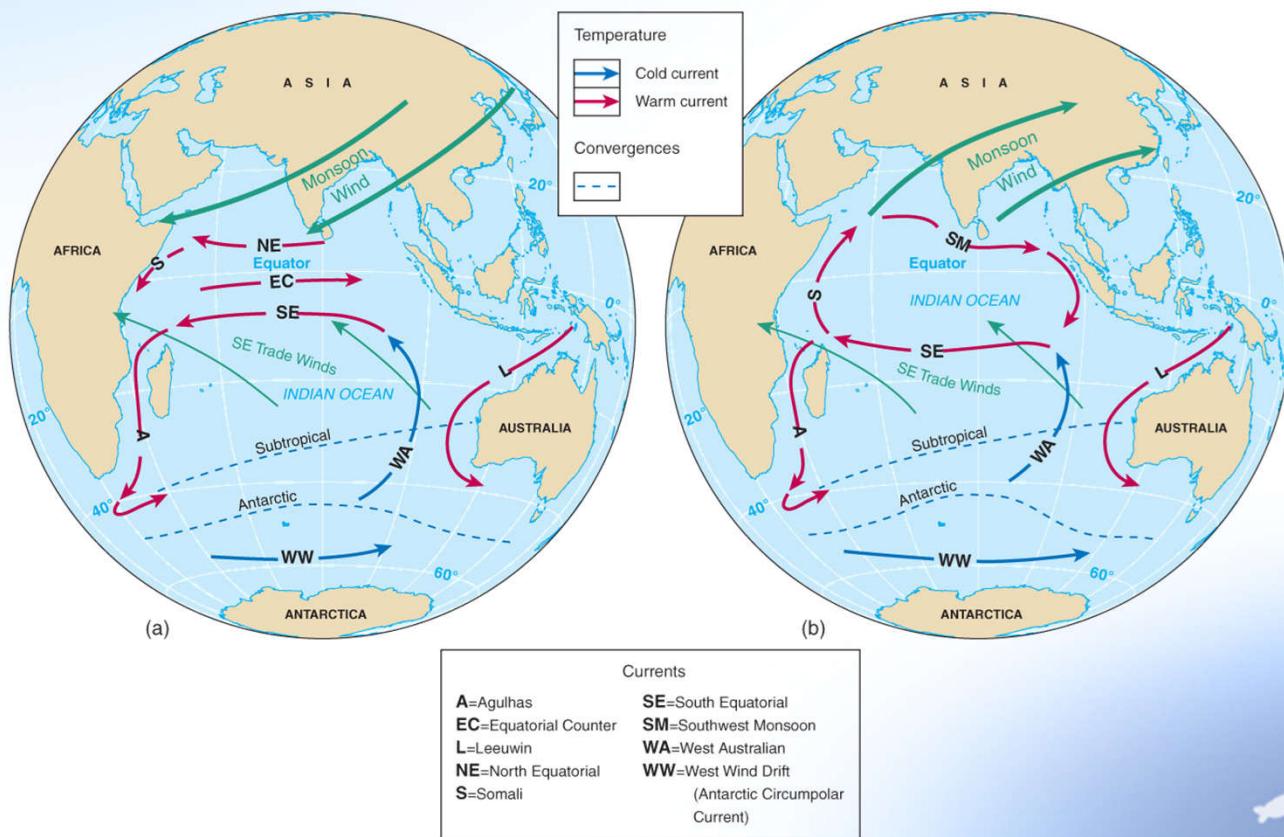
Type of Current (example)	General Features	Speed	Transport (millions of cubic meters per second)	Special Features
Western Boundary Currents Gulf Stream, Kuroshio (Japan) Current	Warm Narrow, <100 km; deep—substantial transport to depths of 2 km	Swift, hundreds of kilometers per day	Large, usually 50 sv or greater	Sharp boundary with coastal circulation system; little or no coastal upwelling; waters tend to be depleted in nutrients, unproductive; waters derived from trade-wind belts
Eastern Boundary Currents California Current, Canary Current	Cold Broad, ~1,000 km; shallow, <500 m.	Slow, tens of kilometers per day	Small, typically 10–15 sv	Diffuse boundaries separating from coastal currents; coastal upwelling common; waters derived from mid-latitudes

- Giro Subtropical del Atlántico Sur
 - Corriente de Brazil
 - Corriente Circumpolar del Ártico
 - Corriente de Benguela
 - Corriente Sur Ecuatorial

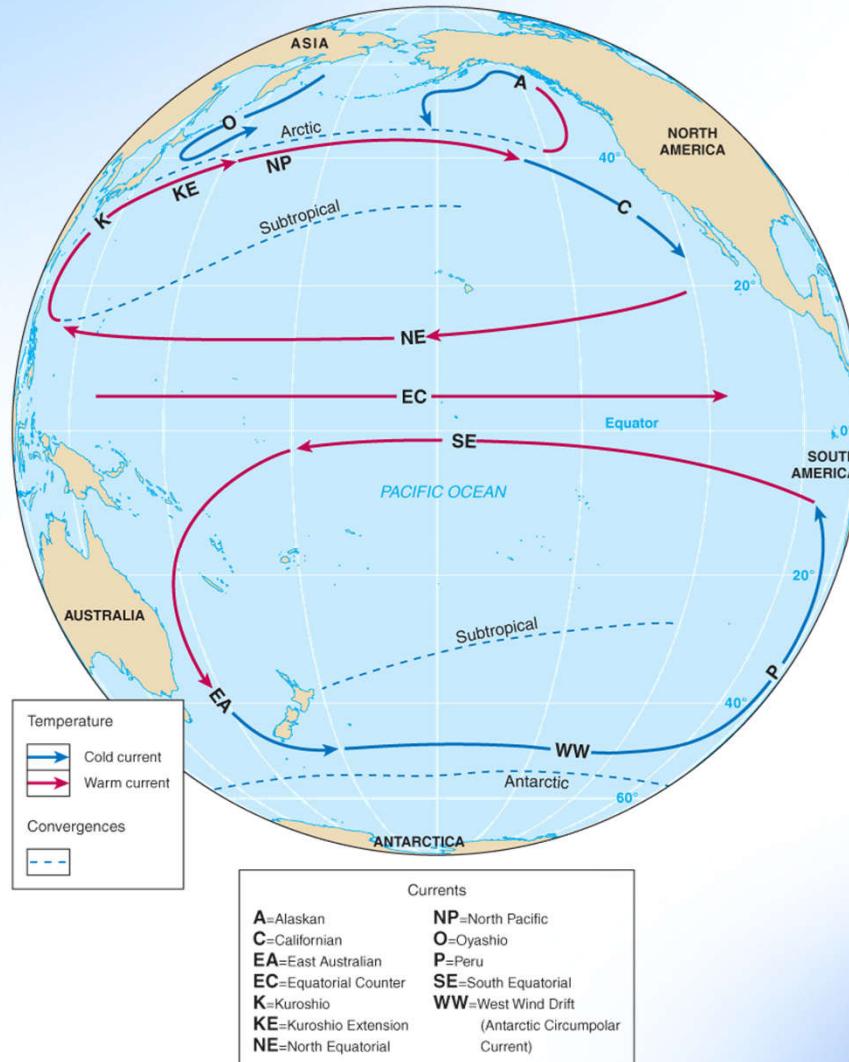


Circulación del Océano Índico

- **Monzon** – Los vientos cambian estacionalmente sobre el norte del océano Índico.



Circulación del Océano Pacífico



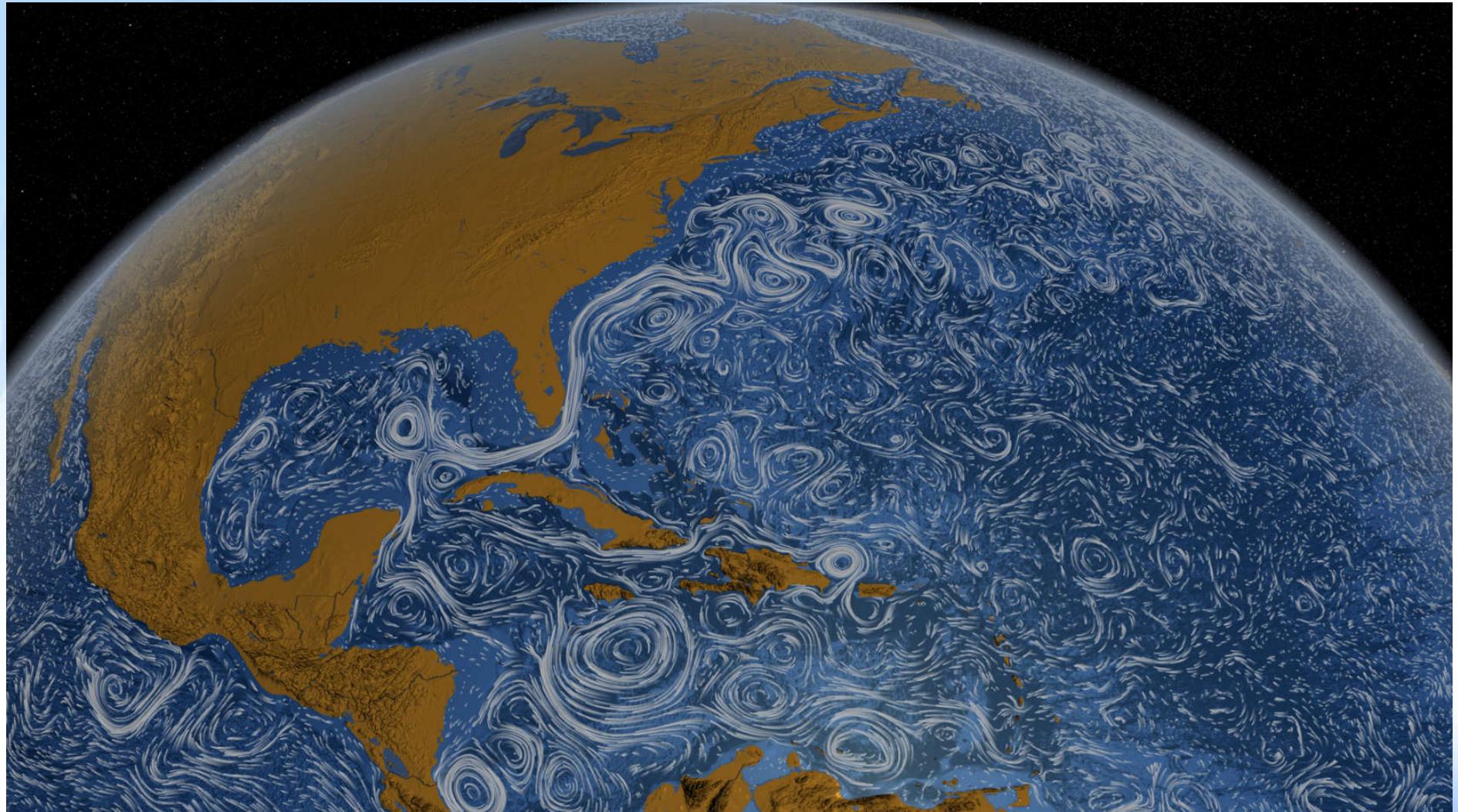
© 2011 Pearson Education, Inc.



Circulación del Océano Pacífico

- Giro del Pacífico Norte
 - Kuroshio
 - Corriente del Pacífico norte
 - Corriente de California
 - Corriente del Norte de Ecuador
 - Corriente de Alaska
- Giro del Pacífico Sur
 - Corriente del Este de Australia
 - Corriente Antártica Circumpolar
 - Corriente de Perú
 - Corriente Ecuatorial del Sur
 - Contra corriente Ecuatorial

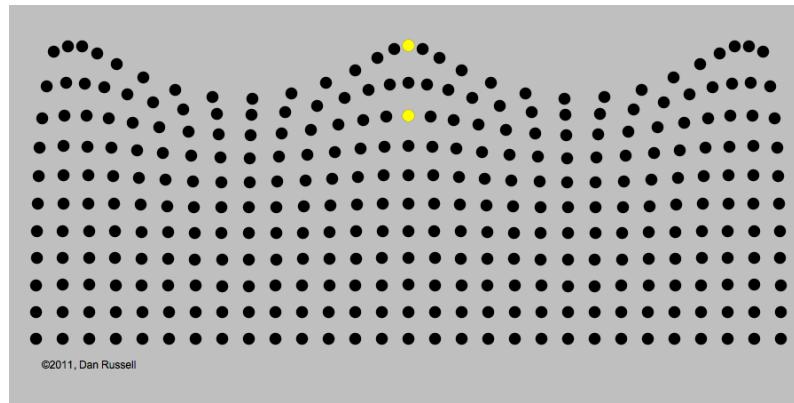




<https://www.youtube.com/watch?v=CCmTY0PKGDs>

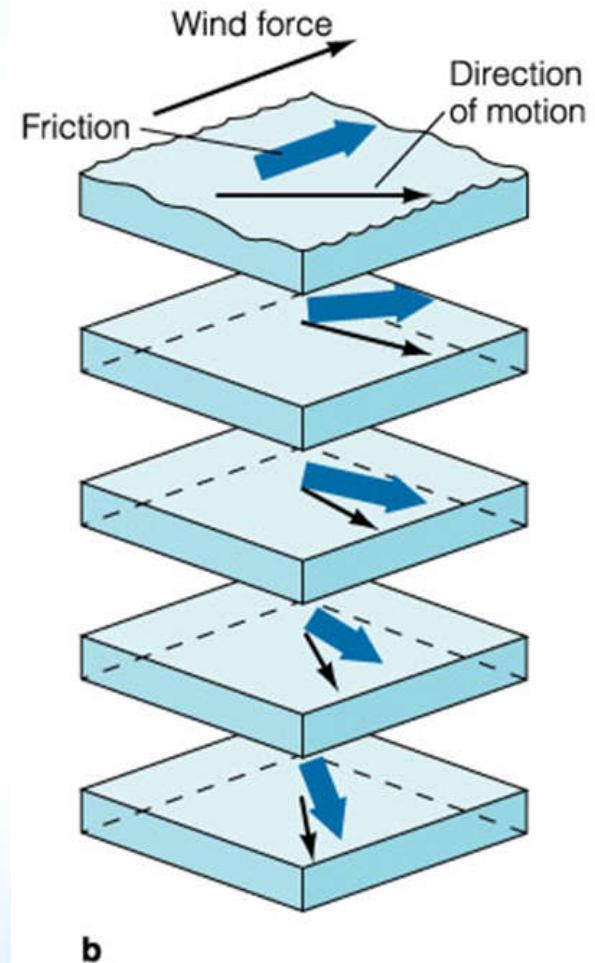
Espiral de Ekman y transporte

- La colisión de las moléculas de aire (en el viento) con moléculas de agua en la superficie del mar genera las corrientes oceánicas.
- Esta película superficial de moléculas de agua en el sistema en movimiento ejerce una resistencia de fricción sobre las moléculas de agua inmediatamente debajo de ella, consiguiendo éstas también se muevan.
- Si el viento sopla constantemente, el movimiento se transfiere hacia el interior de la columna de agua

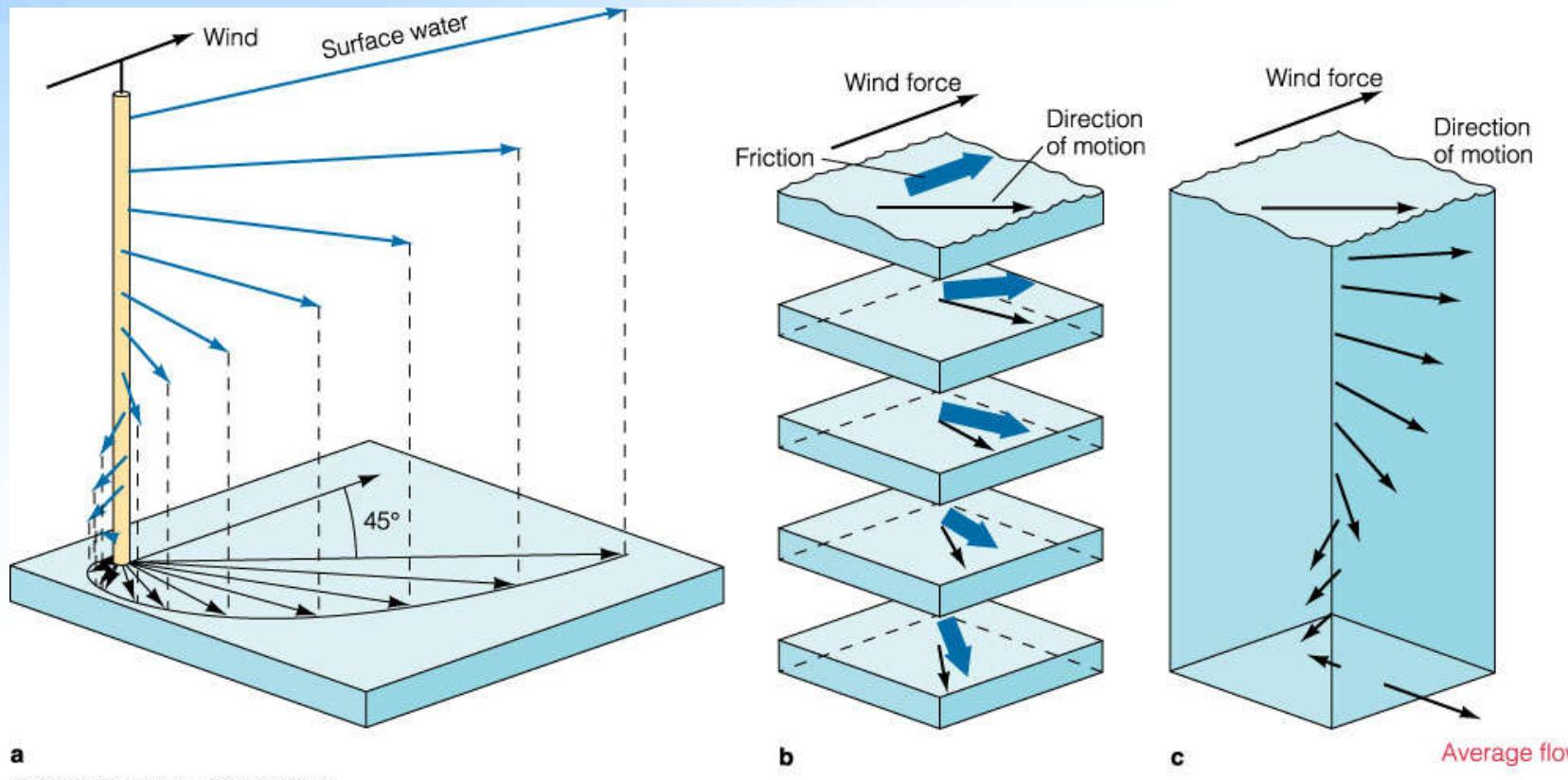


Espiral de Ekman y transporte

- A medida que las corrientes se profundizan en la columna de agua, su velocidad disminuye
- La dirección del flujo de corriente también cambia con la profundidad, resultado de Coriolis deflexión!
- Cuando la capa superior establece la capa subyacente de agua en movimiento, esta capa más profunda también se mueve a la derecha de la dirección del flujo y así sucesivamente



Este patrón de flujo en espiral se llama la espiral Ekman



a

© 2004 Thomson - Brooks/Cole

b

c

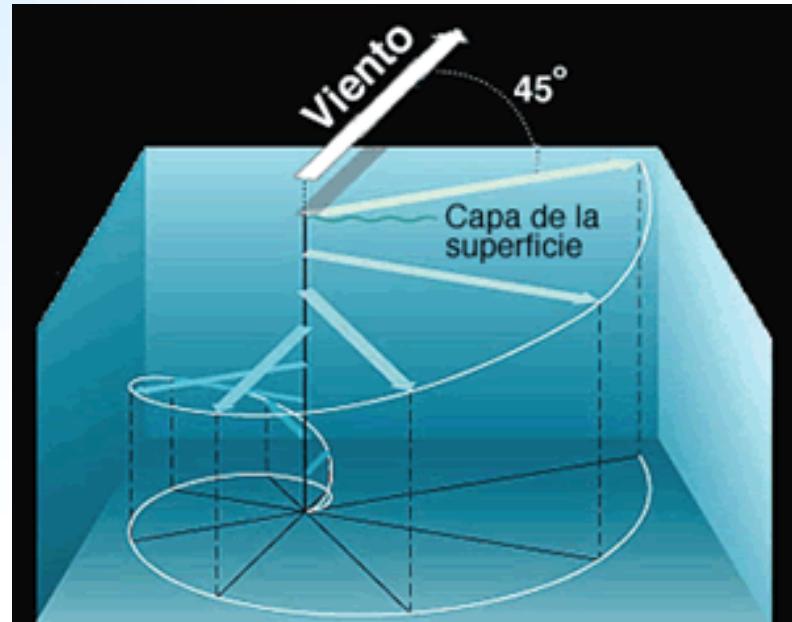
Average flow

Las aguas superficiales se mueve en una dirección de 45 °; el transporte global del agua es 90 °

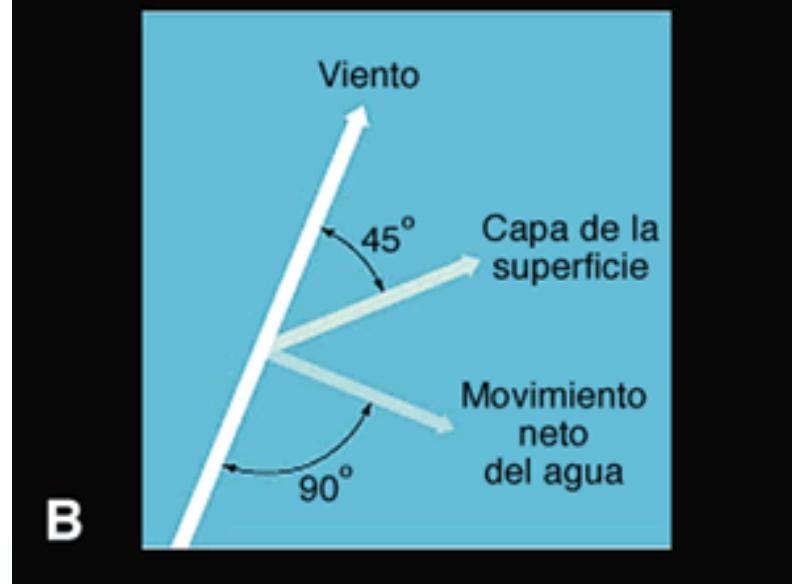


Viento + Efecto Coriolis

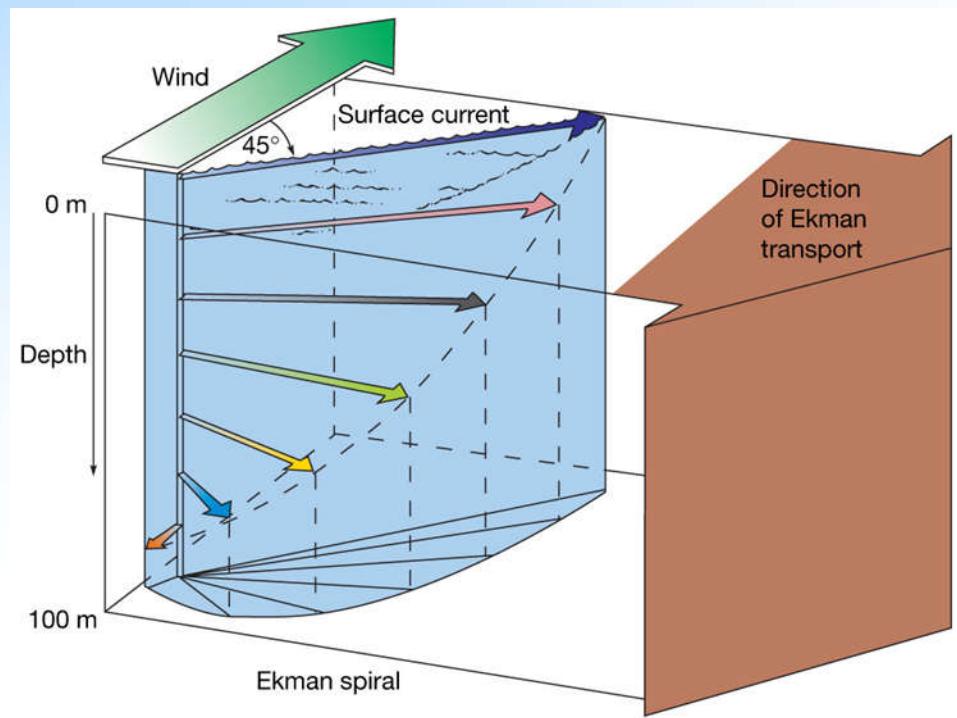
- Desvia las corrientes en un ángulo de 45° en la superficie del océano.
- Subsecuentemente con las capas más interiores del océano (espiral).
- Dependiendo de la fuerza del viento su efecto se puede propagar hasta 150 m de profundidad.
- Movimiento neto del agua es perpendicular a la dirección del viento (a la dr. HN)
- **Transporte de EKMAN**



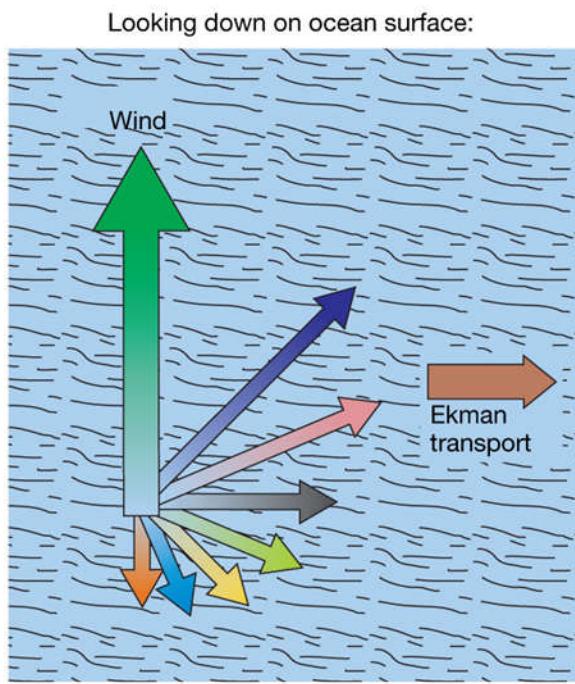
A



B



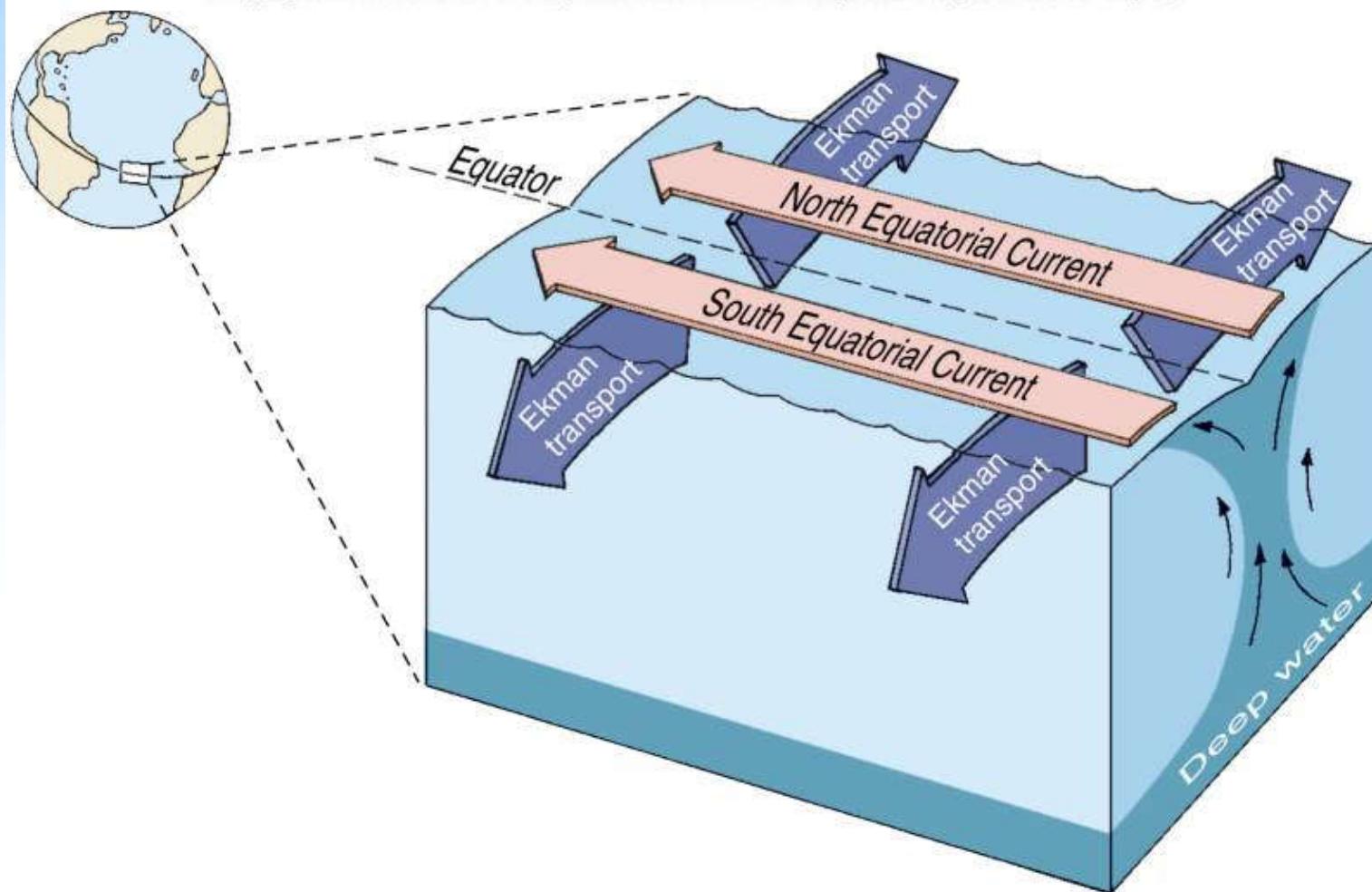
(a)



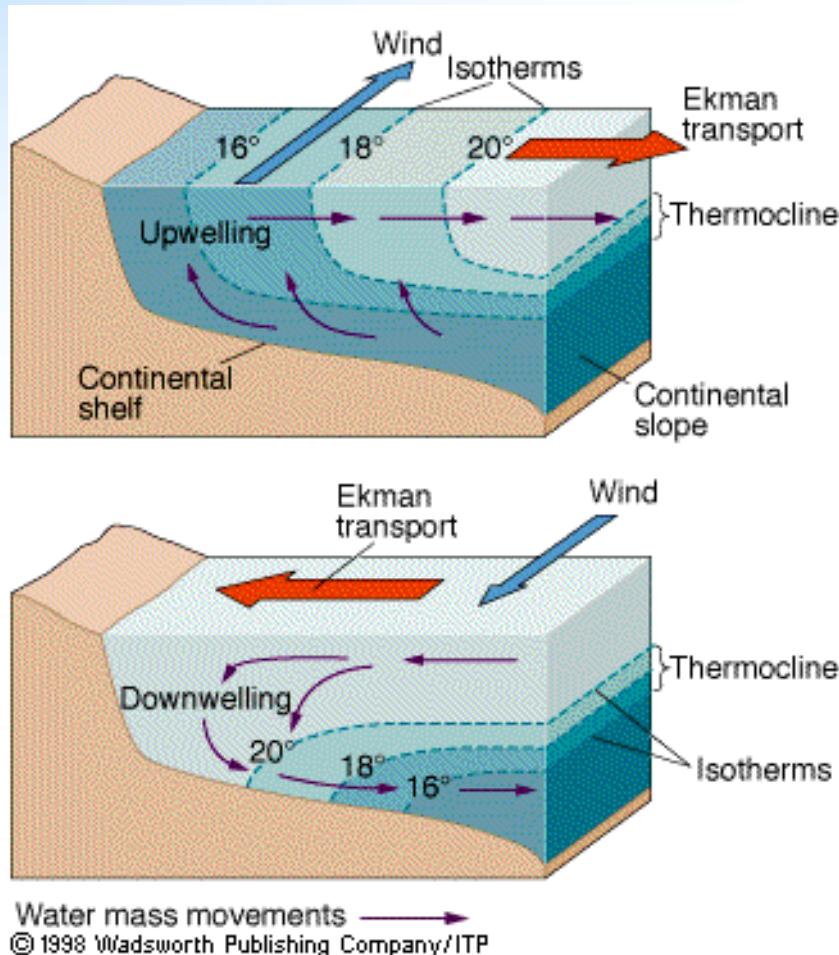
(b)

Copyright © 2008 Pearson Prentice Hall, Inc.

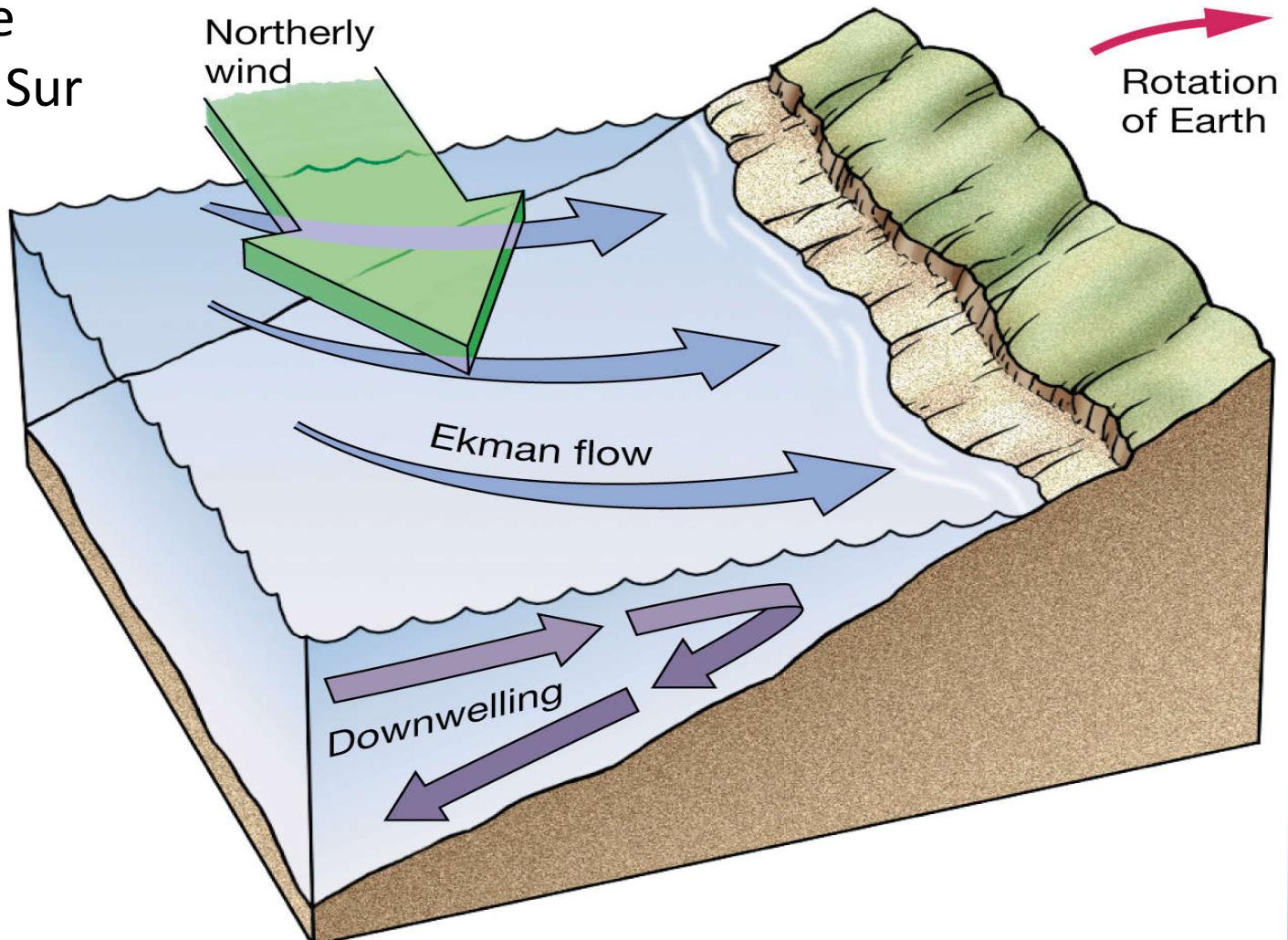
Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.



Transporte de Ekman en las zonas costeras



Costa Oeste Hemisferio Sur



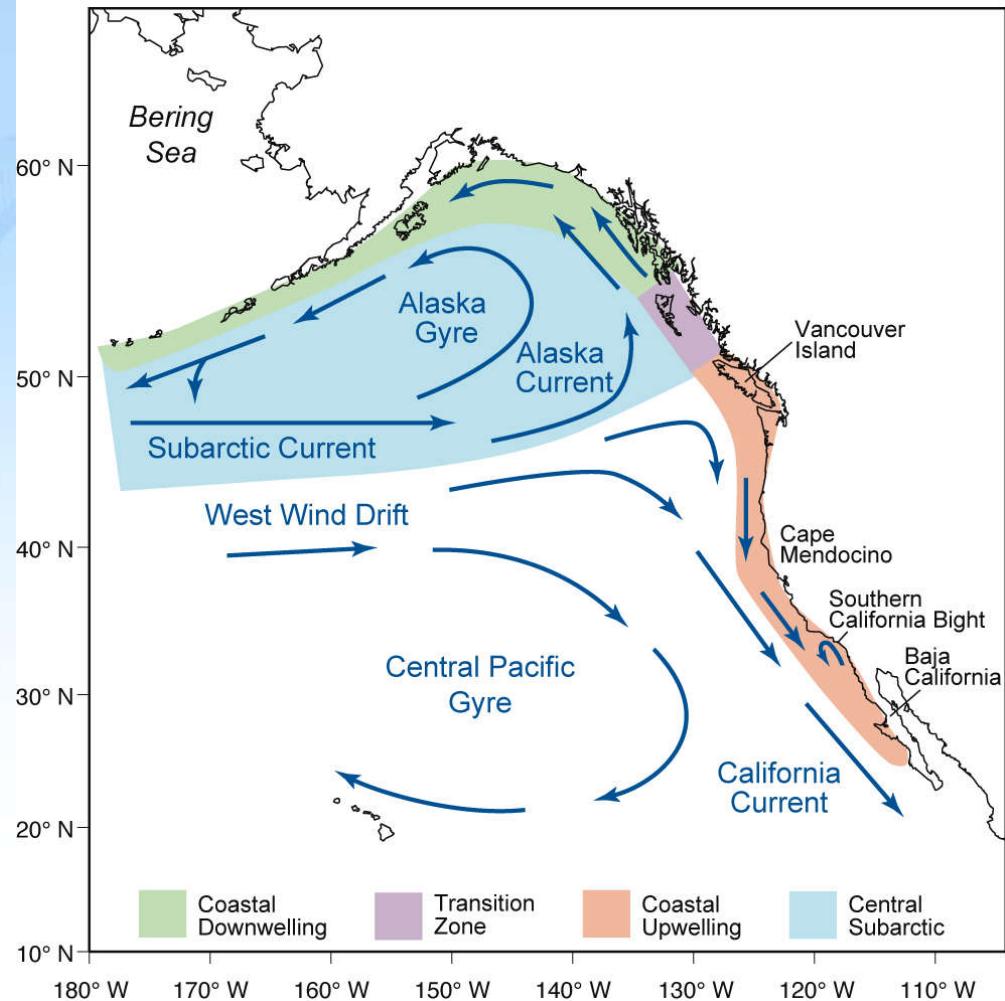
Copyright © 2004 Pearson Prentice Hall, Inc.

Cómo es la circulación en el Hemisferio Norte?

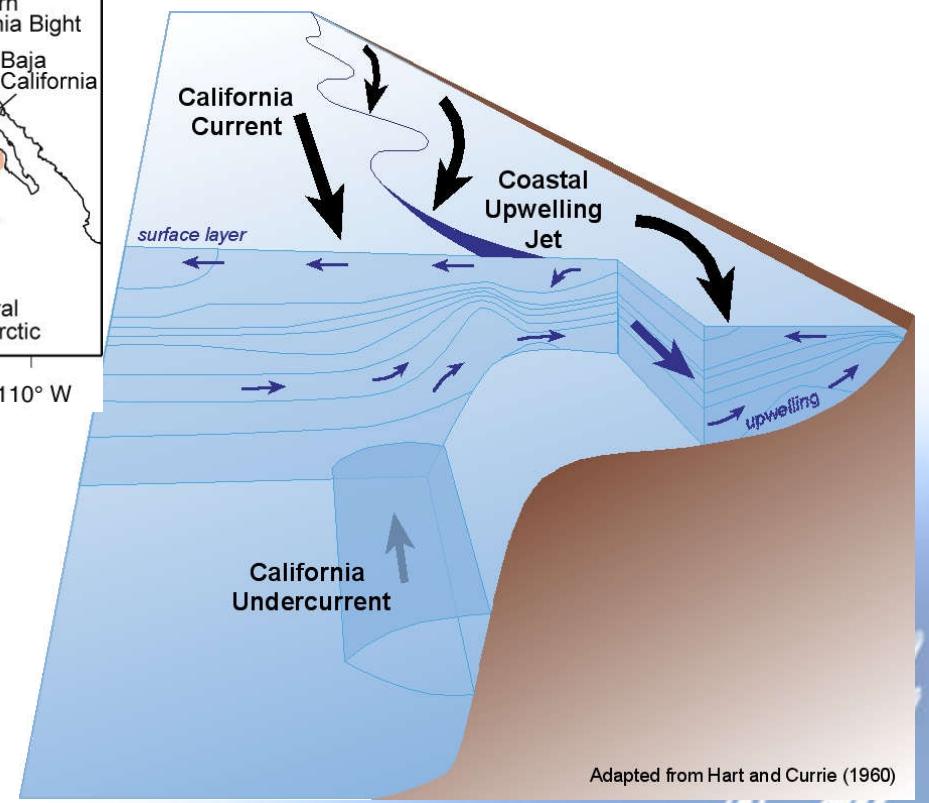


Consecuencias de Transporte Ekman

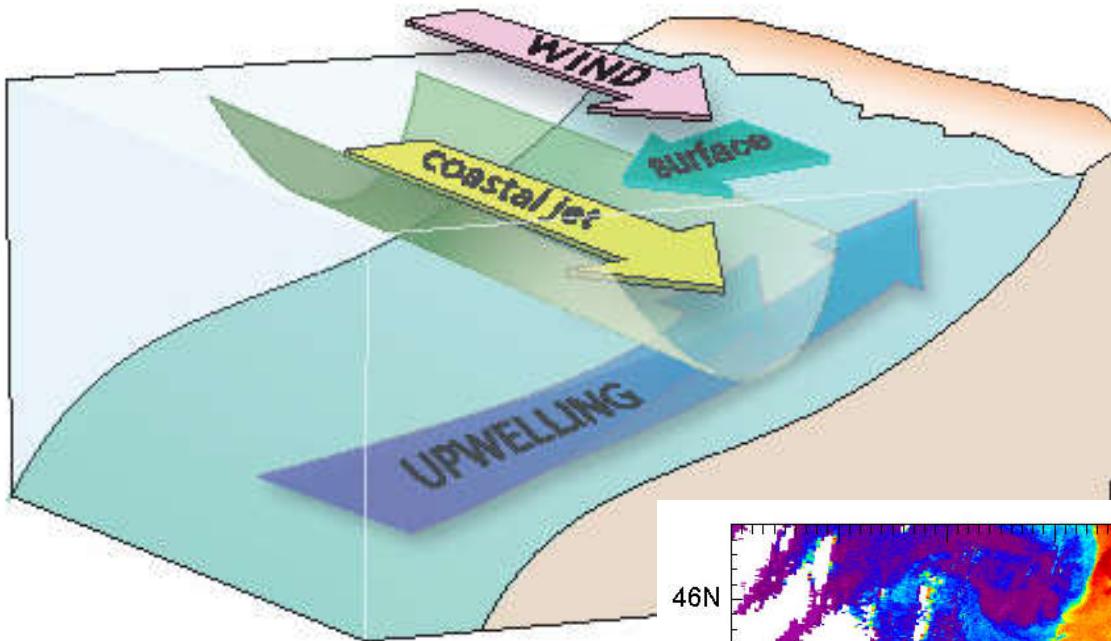
- Ekman afecta las picnoclinas
- Surgencias en zonas costeras
 - Agua superficial fría, altos nutrientes
 - Alta productividad del fitoplancton
 - Zonas ricas en pesca (banco Sahara, Perú)
- Hundimiento Costera
 - Agua caliente de la superficie, los nutrientes bajos
 - bajo en el fitoplancton
 - Pobres pesca (norte de Brasil)



(from Jack Barth, OSU)



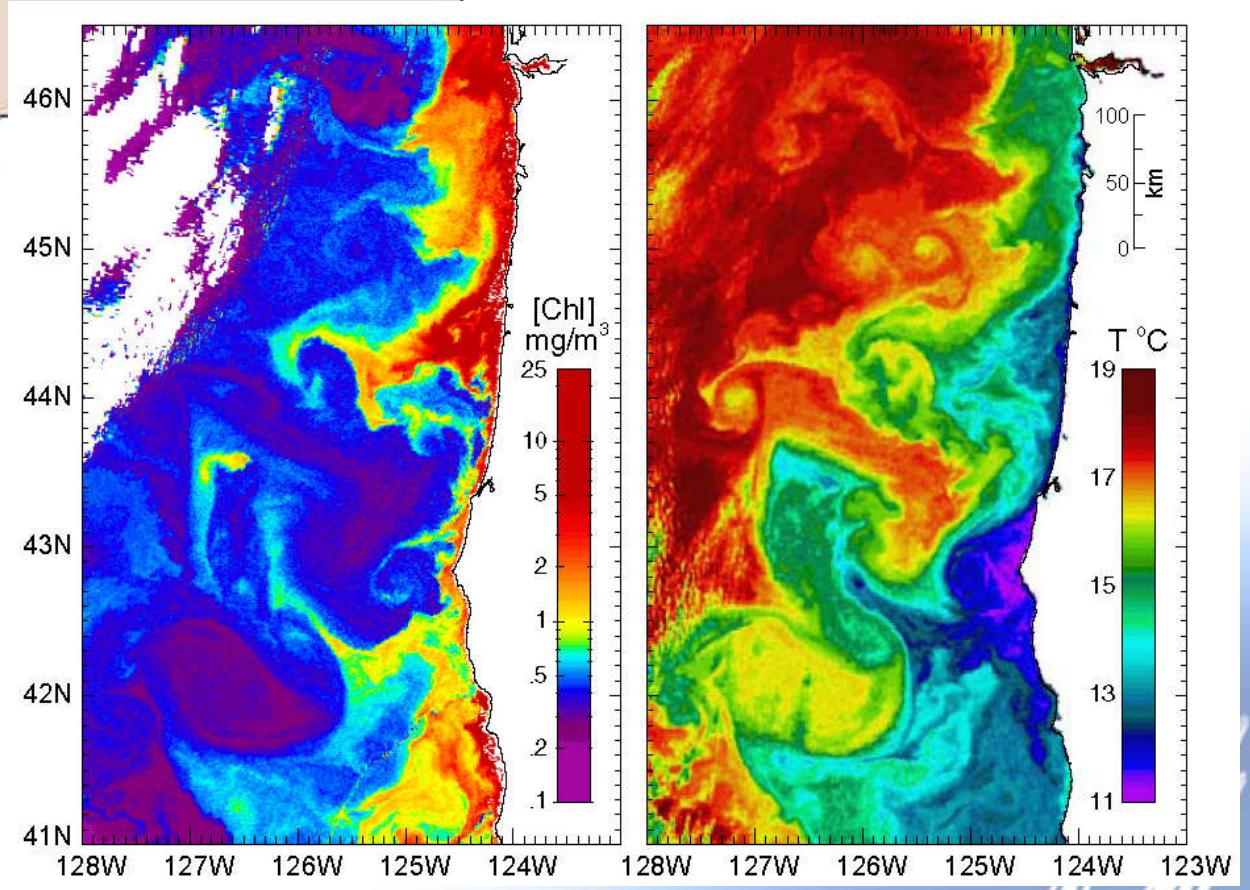
Adapted from Hart and Currie (1960)

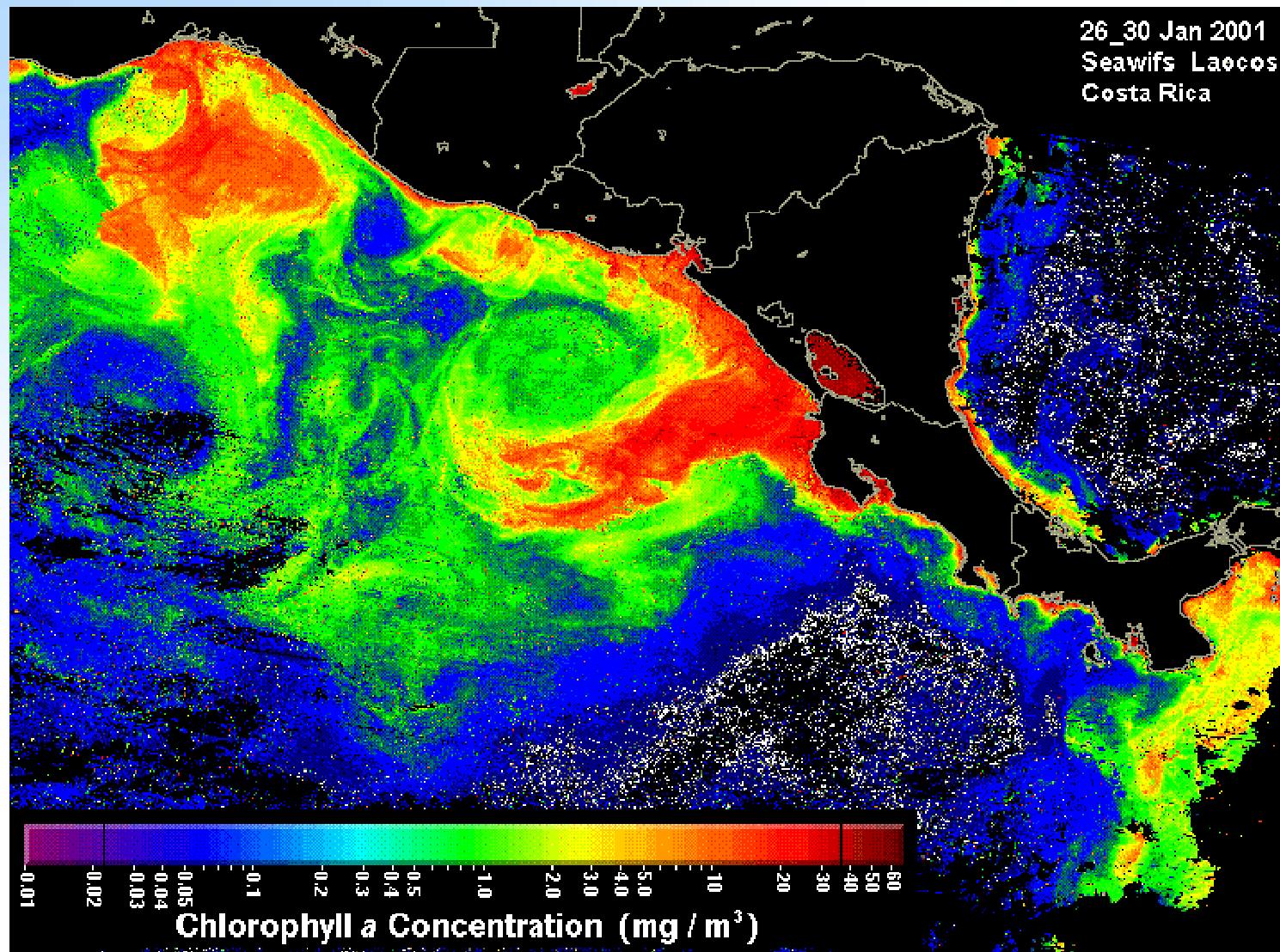


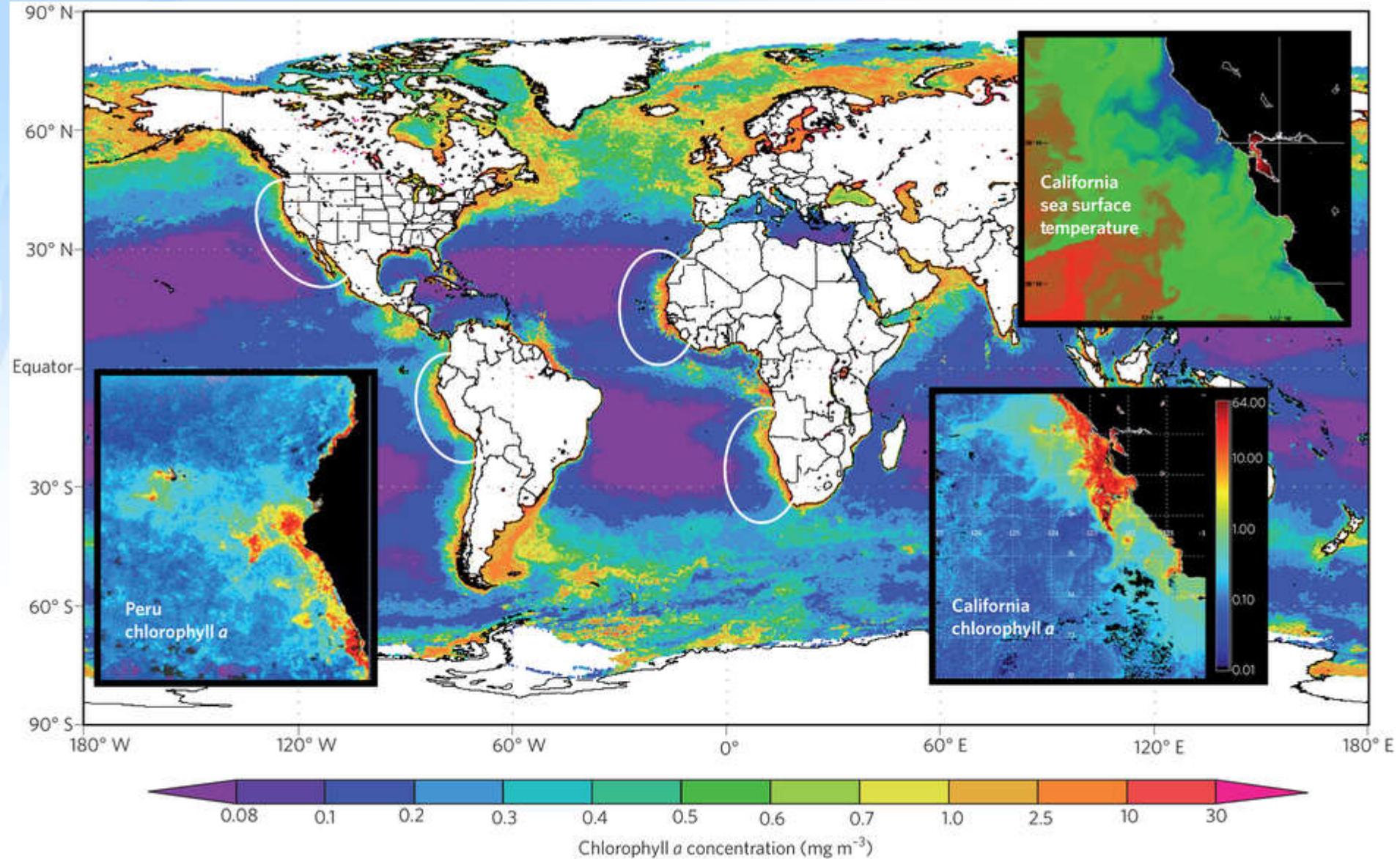
Coastal upwelling

Satelite Chlorofila y Temperatura

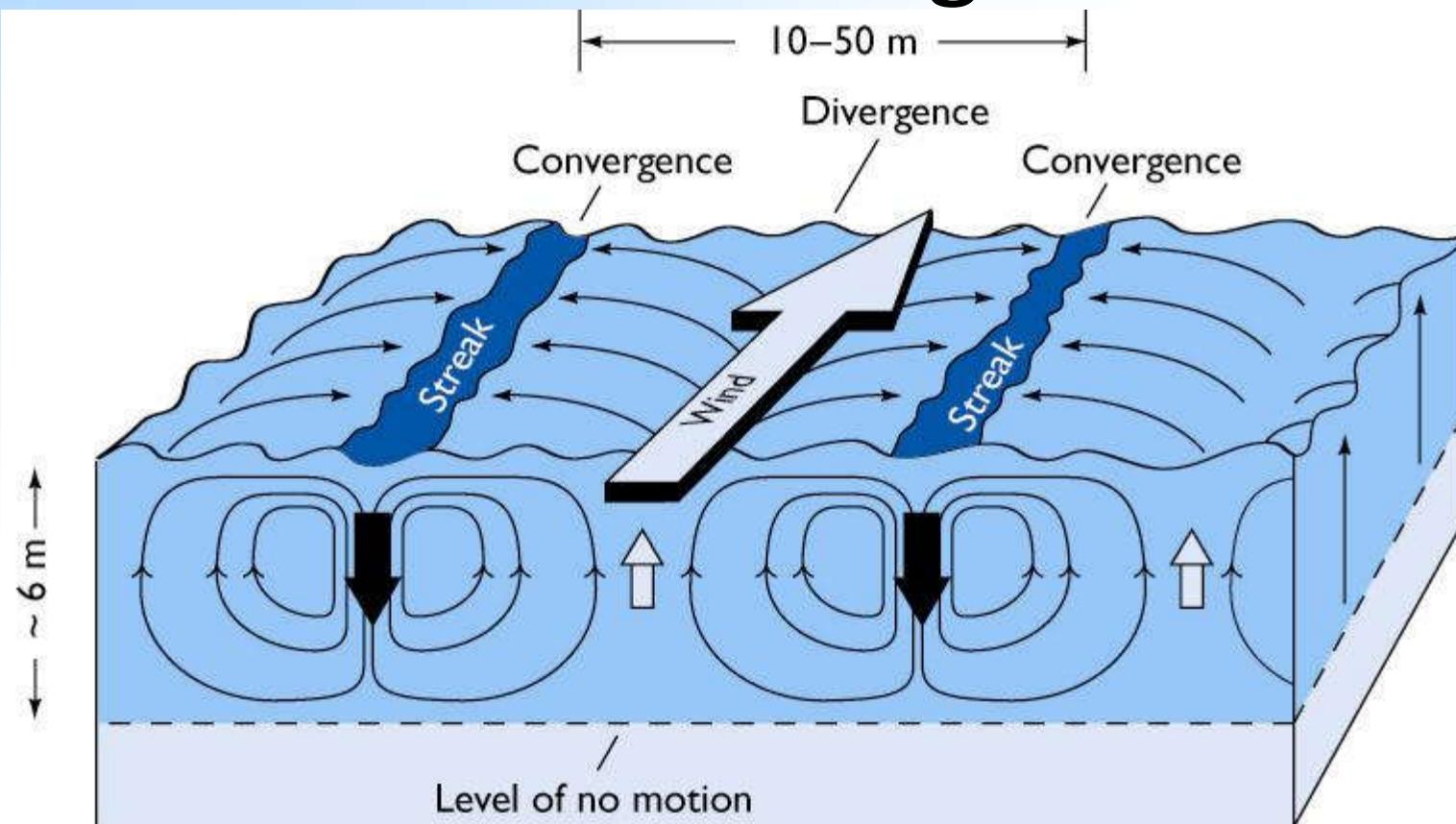
(from Jack Barth, OSU)







Circulación de Langmuir

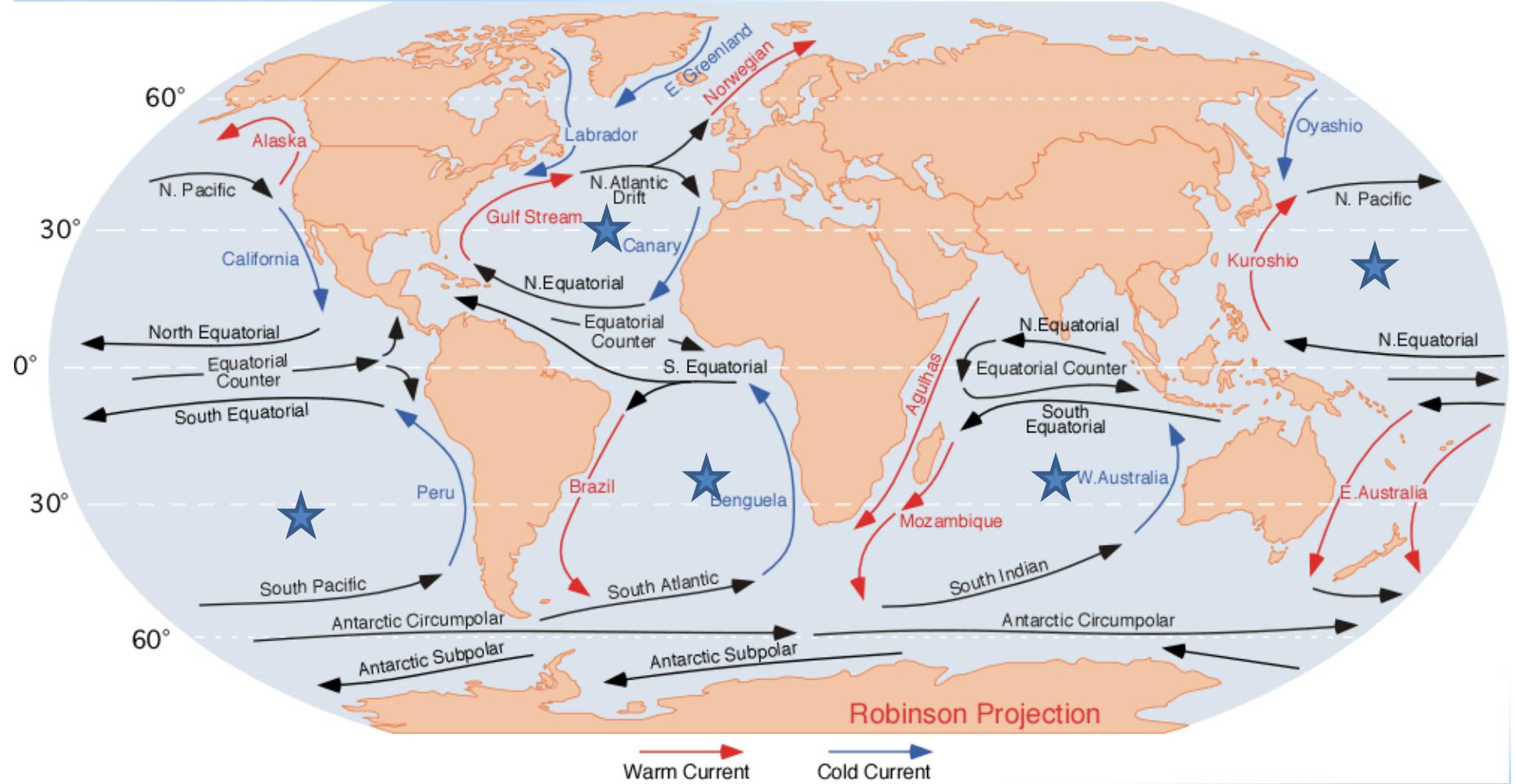


→ Downwelling
(2–6 cm/sec)

→ Upwelling
(1–2 cm/sec)



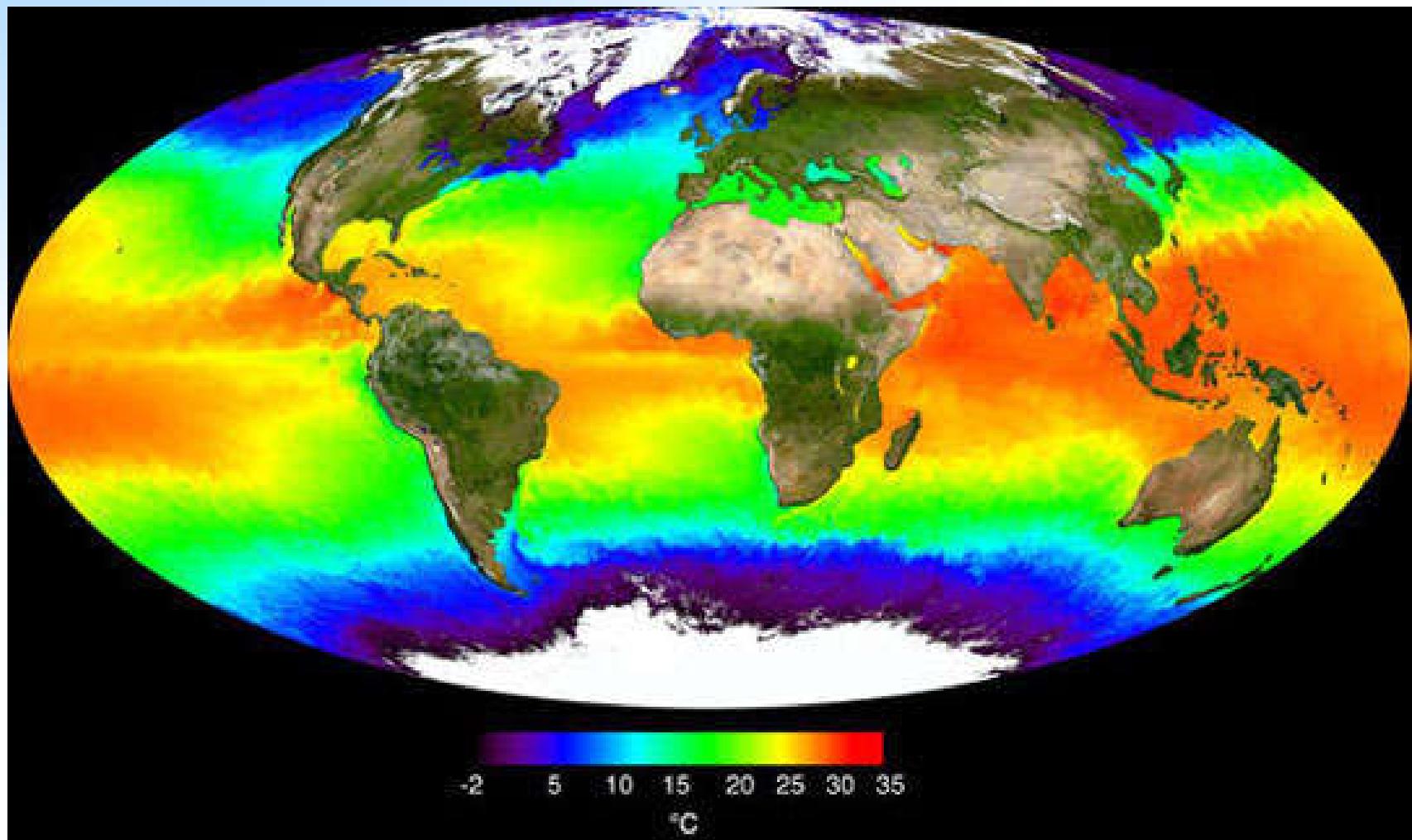
Principales patrones de circulación superficial



Giros Subtropicales:
Generalmente cuentan con 4 corrientes
en cada giro.
Centrados alrededor de 30° N/S latitud

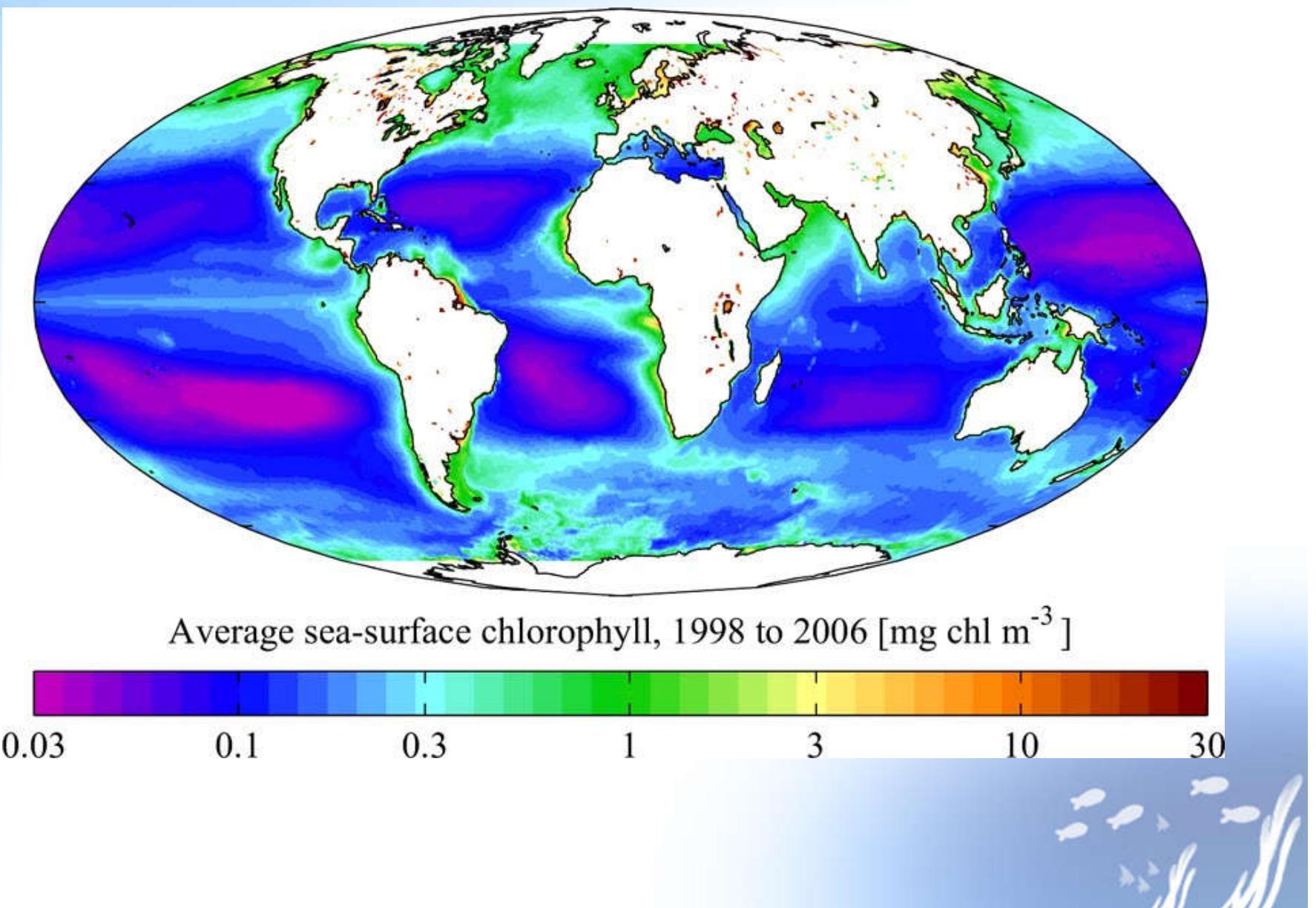
Giros Subpolares:
Mas pequeños que los giros subtropicales
Generalmente cuentan con 2 corrientes por giro.
Centrados alrededor de 60° N/S latitud
Rota en la dirección opuesta al giro adyacente.

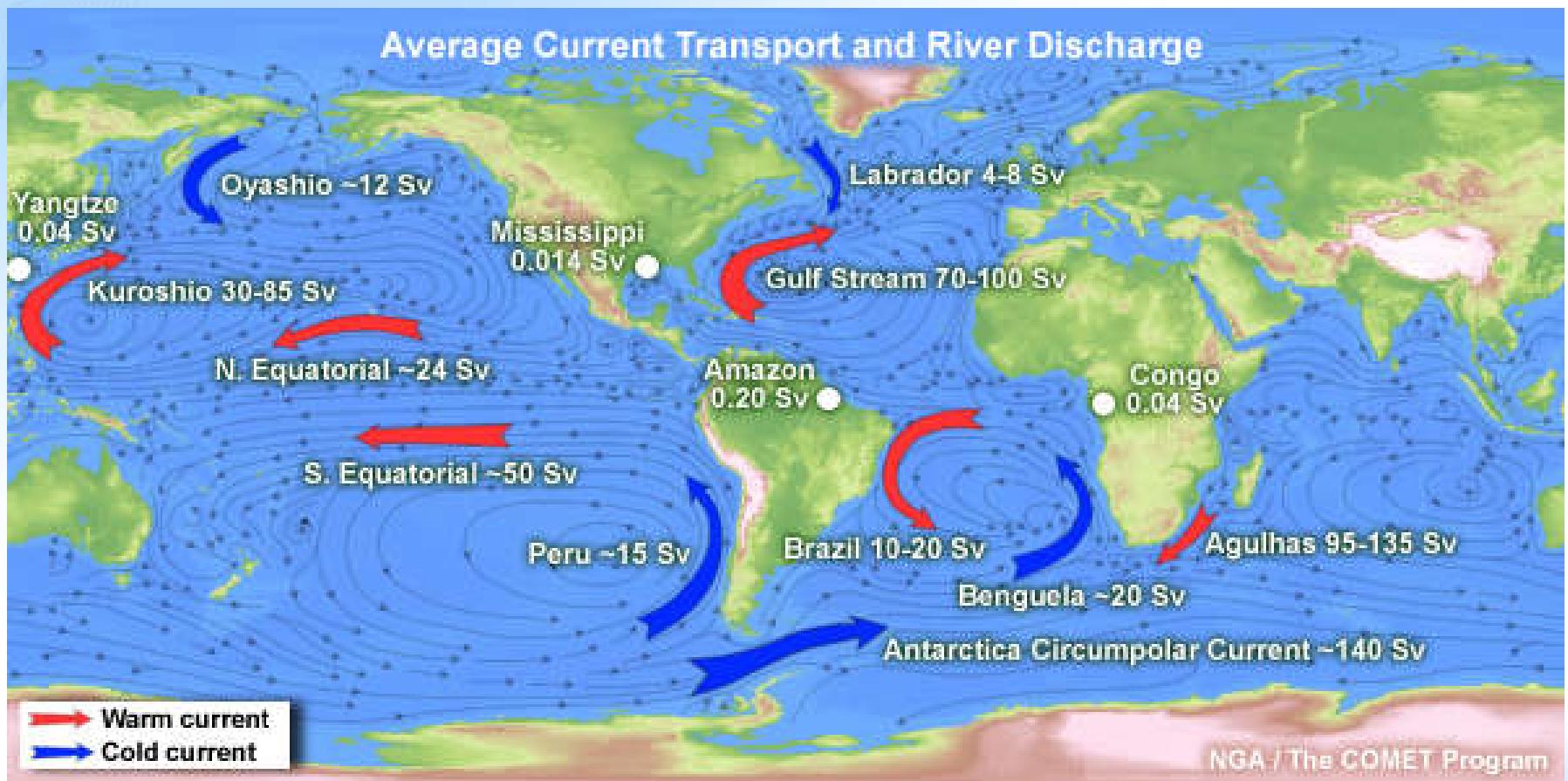
Temperatura Superficial del Mar



http://eoimages.gsfc.nasa.gov/images/imagerecords/55000/55878/sst_lar_321x540.jpg

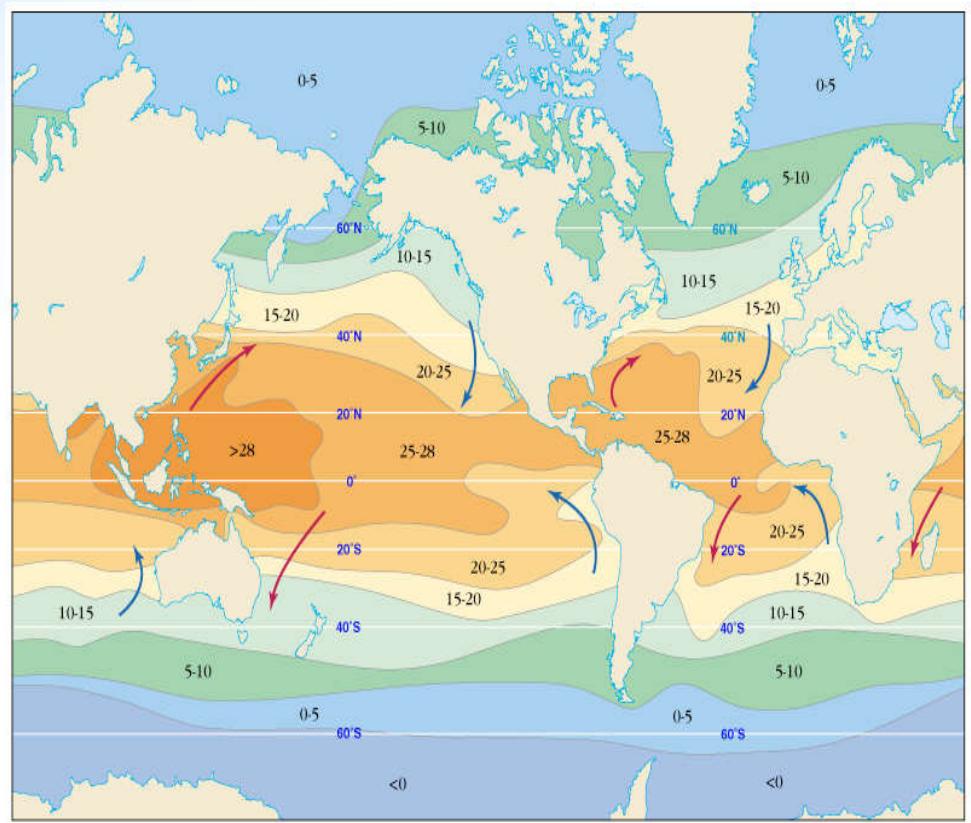
Distribución promedio de Clorofila 1998-2006





Corrientes oceánicas y clima

- Corrientes **cálidas** → aire **cálido** → Alto contenido de vapor de agua → Clima húmedo en las zonas costeras
- Corrientes **frias** → aire **frio** → bajo contenido de vapor de agua → Costas secas

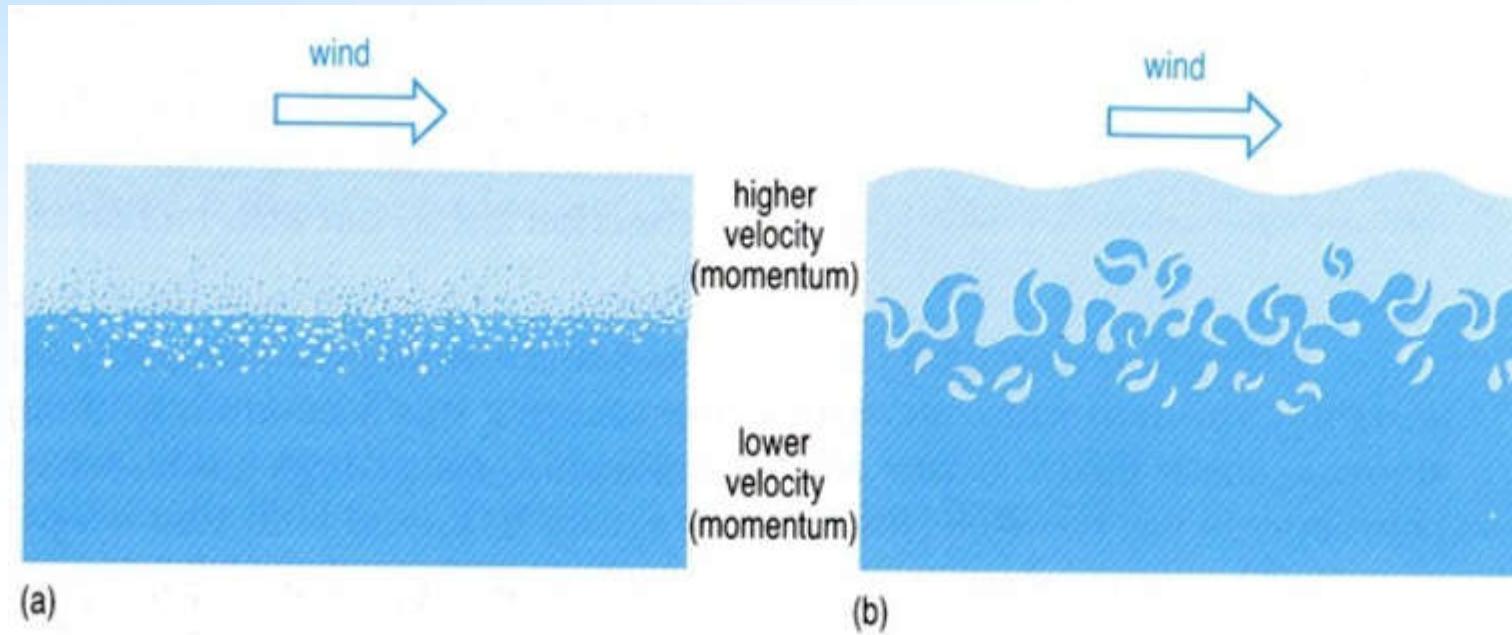


Revisemos ahora algunos cálculos simples que podemos hacer a las corrientes superficiales:

- ✓ Velocidad de corrientes
- ✓ Transporte de Ekman: Profundidad y velocidad de la capa de Ekman
- ✓ Corrientes iniciales
- ✓ Equilibrio hidrostático (movimientos verticales)
- ✓ Equilibrio geostrófico (originados por gradientes de presión)



Velocidad del viento vs velocidad de la corriente superficial



Esfuerzo del viento: Es una fuerza friccional paralela a la superficie del mar por unidad de área.

Efecto del esfuerzo del viento: acelerar la capa superficial del océano

Fuerza friccional del viento (esfuerzo del viento):

$$\tau = cW^2$$

con τ =esfuerzo del viento, W =velocidad del viento (m/s) y
 c =constante

$c \rightarrow f$ (condiciones atmosféricas):

$$c = \rho_a C_D$$

ρ_a = densidad del aire (1.3 kg/m^3)

C_D = coeficiente de arrastre (1.5×10^{-3})

$c=1.95 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^3$

Velocidad corriente = 3% Velocidad del viento



¿Qué nos interesa saber de la capa de Ekman?

- ¿Qué tan profunda puede ser?
- ¿Qué velocidad alcanzaría la capa de Ekman?

$$Z_E \approx 4.3W / (\operatorname{Sen} \phi)^{1/2}$$

Profundidad de la capa de Ekman

$$\overline{U} = \frac{\tau}{Z_E \cdot \rho \cdot f}$$

Velocidad media de la capa de Ekman

f = factor de Coriolis



Fuerza de Coriolis (Fc)

$$Fc = m \cdot 2\Omega \text{Sen}(\phi) \cdot u$$

f = factor de coriolis

f = $2\Omega \text{Sen}(\phi)$

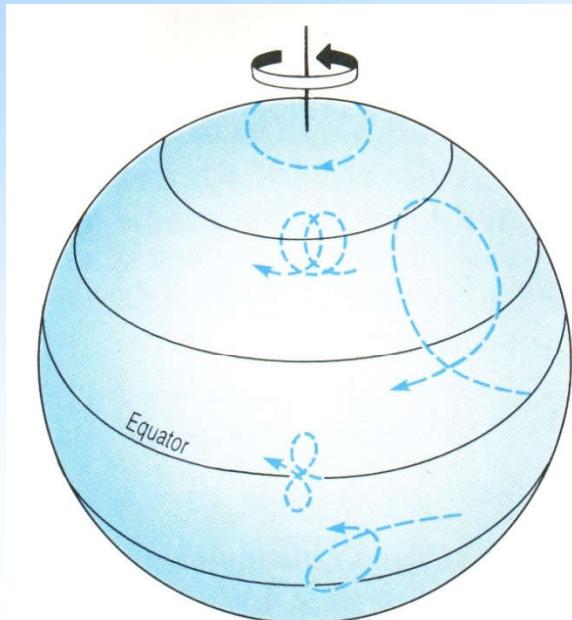
Ω = velocidad angular = $7.29 \times 10^{-5} s^{-1}$

ϕ = latitud

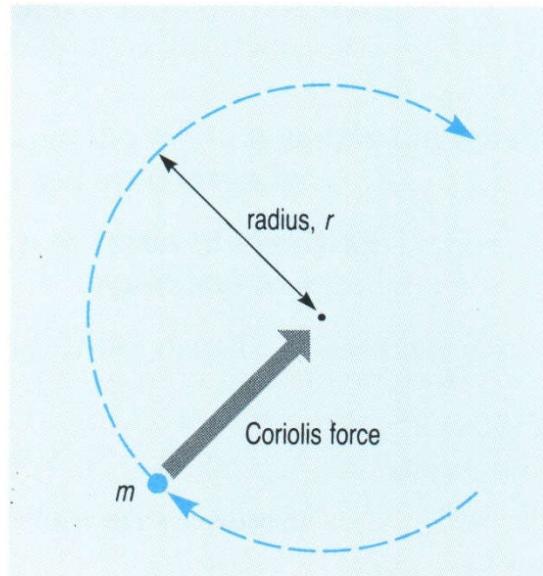
u = velocidad del viento



Corrientes Inerciales



(a)



(b)

Fuerza centrípeta =

$$\frac{mu^2}{r}$$

$$\frac{mu^2}{r} = \boxed{mfu}$$

$$\frac{u}{r} = f$$

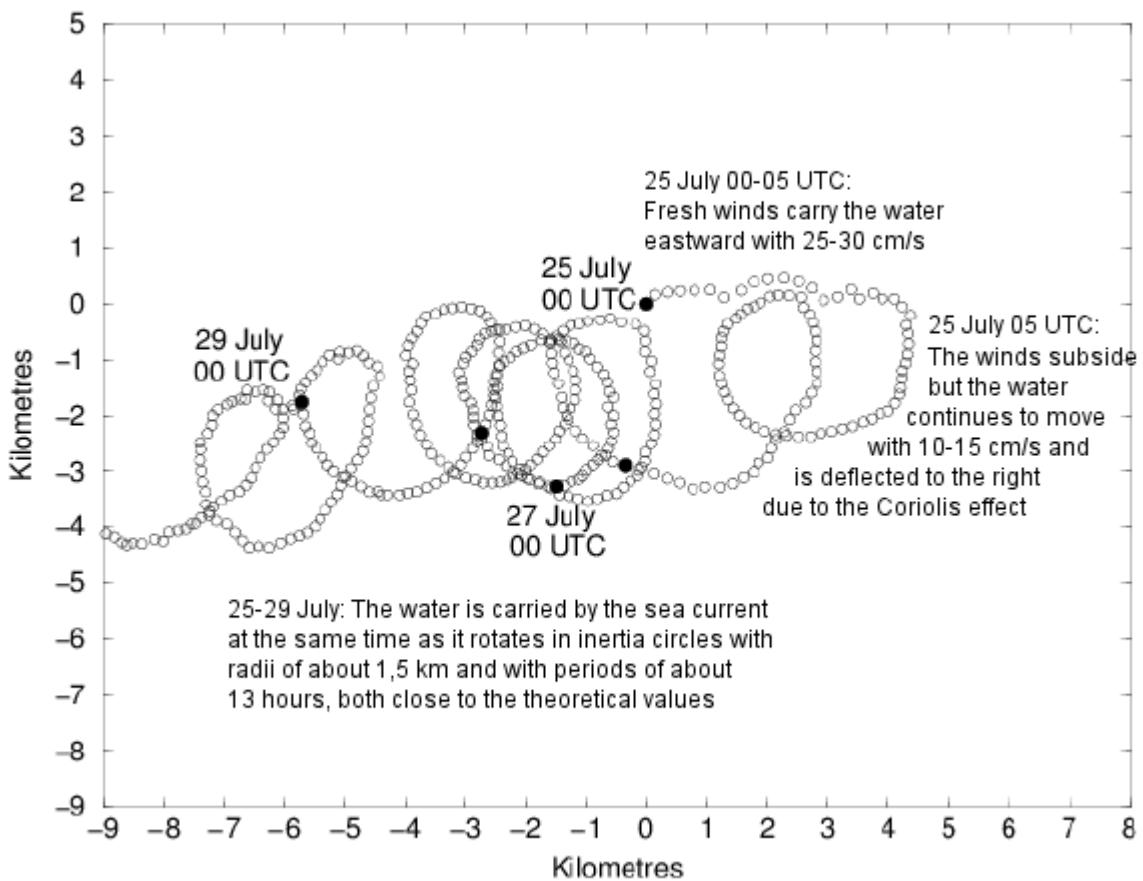
Fuerza de coriolis

$$T = \frac{2\pi r}{u}$$

$$T = \frac{2\pi}{f}$$

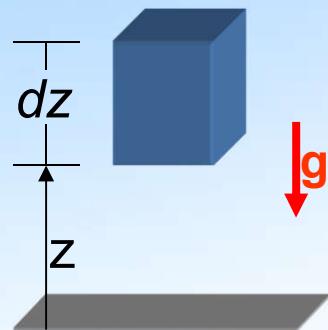
T depende de la latitud





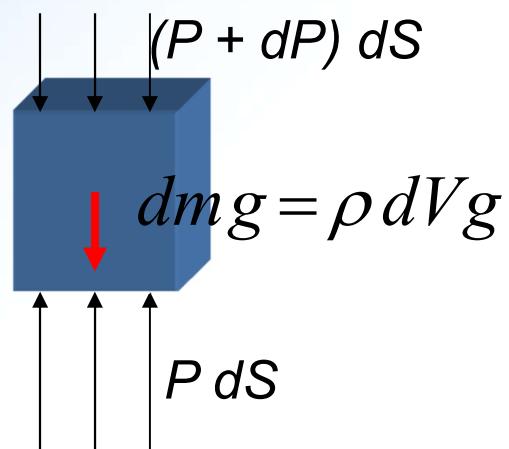
A drifting buoy set in motion by strong westerly winds in the Baltic Sea in July 1969. When the wind has decreased the uppermost water layers of the oceans tend to follow approximately inertia circles due to the Coriolis effect. This is reflected in the motions of drifting buoys. In the case there are steady ocean currents the trajectories will become cycloides. The inertia circles are not eddies; a set of buoys close to each other would be co-moving, rather than revolve around each other

Balance Hidrostático



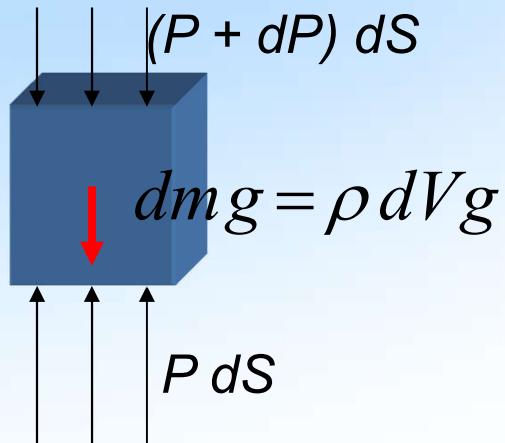
Podemos aislar el volumen del resto de fluido, como se muestra en la figura. En estática, este volumen estará en equilibrio.

Diagrama de sólido libre sobre el volumen



Las fuerzas verticales que actúan sobre el volumen son las ejercidas por el resto del fluido y por el peso. Las fuerzas horizontales no se muestran en la figura porque están equilibradas por cada dos caras. La presión P en la cara inferior debe ser mayor que aquella que se ejerce en la cara superior para equilibrar el peso del elemento de volumen.

Condición de equilibrio



$$\sum \overrightarrow{F}_{ext} = O$$

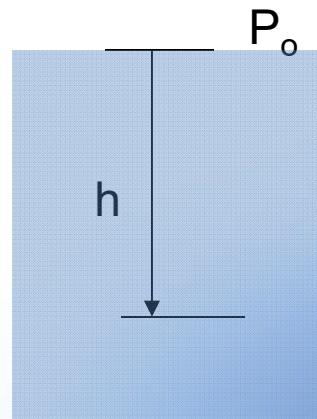
$$\begin{aligned}\sum F_z &= 0 \rightarrow P dS - (P + dP)dS - \rho g dV = 0 \\ y \text{ como } dV &= dS dz\end{aligned}$$

$$dP = -\rho g dz$$

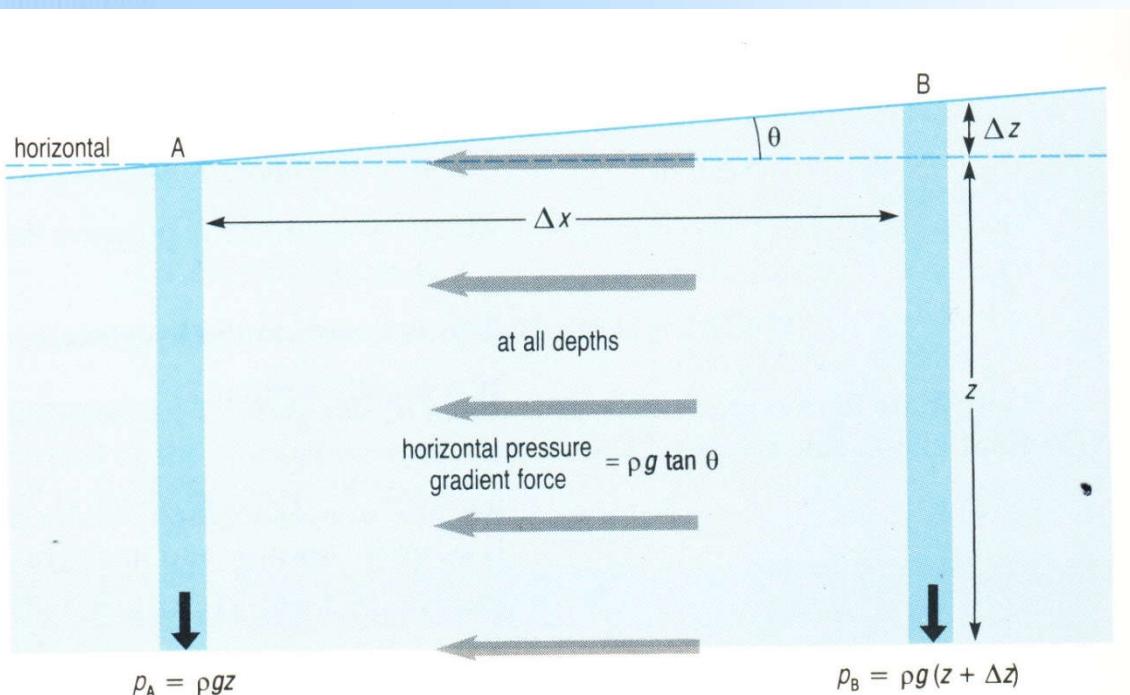
En el caso de un líquido, ρ constante

$$\Delta P = \rho g \Delta h$$

$$P = P_0 + \rho g h$$



Caso más simple de gradiente de presión horizontal



Gradiente de presión horizontal generado por la pendiente de la superficie libre del océano.
El gradiente de presión horizontal (flechas grises) es $\rho g \tan \theta$ para todas las profundidades

$$\Delta p = p_B - p_A = \rho g(z + \Delta z) - \rho g(z) = \rho g \Delta z$$

Si A y B están separados por una distancia Δx , el gradiente de presión horizontal entre los dos será:

$$\frac{\Delta p}{\Delta x} = \rho g \frac{\Delta z}{\Delta x} = \rho g \tan \theta$$



Si Δp y Δx son extremadamente pequeños:

$$\frac{dp}{dx} = \rho g \tan \theta$$

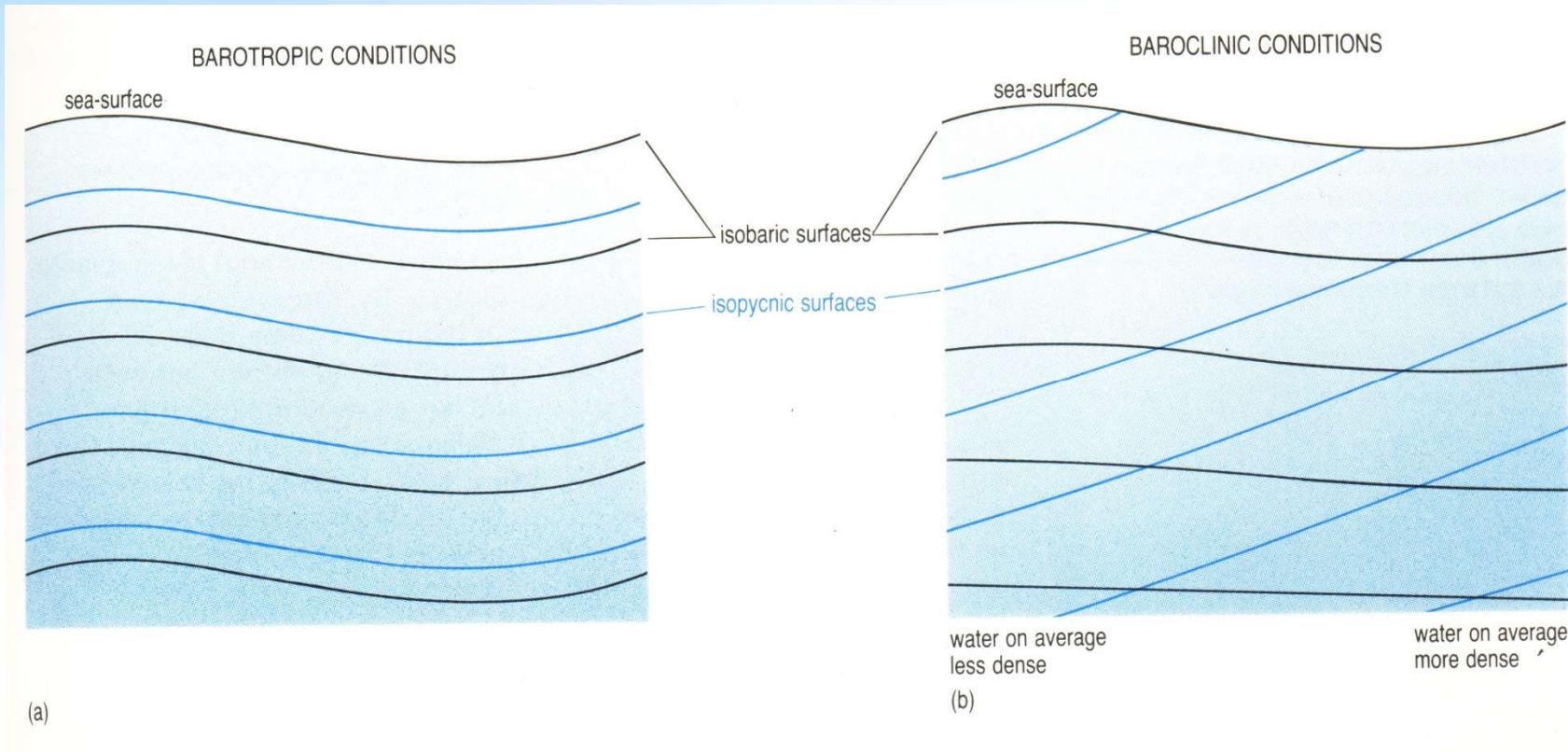
Y esta es la velocidad de cambio de la presión, o la fuerza del gradiente de presión horizontal en dirección de x. Con mayor precisión, esta es la fuerza de presión horizontal que actúa por unidad de volumen en el agua de mar.

Gradiente de presión horizontal por unidad de masa = $\frac{1}{\rho} \frac{dp}{dx} = g \tan \theta$

El gradiente de presión será mayor mientras mayor la pendiente de la superficie.



Las superficies de igual presión son paralelas a la superficie del agua, la densidad aumenta con la profundidad y las isopicnas son paralelas.



Si hay variaciones laterales de densidad: isóbaras intersectan isopicnas



Corrientes: en cualquiera de las dos condiciones.

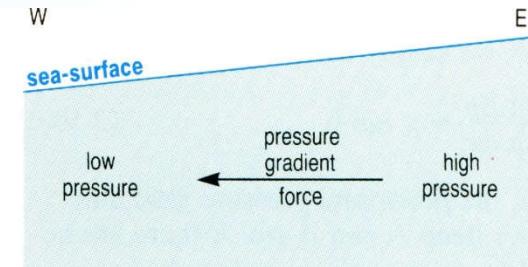
Movimiento: en dirección del gradiente de presión

Al ser balanceado por Coriolis:

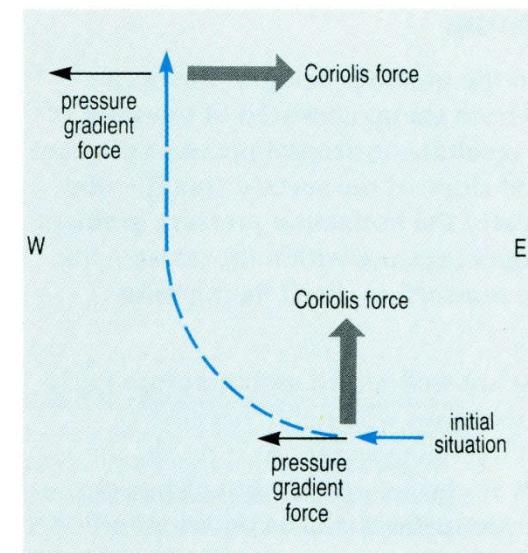
$$mg \tan \theta = mfu$$

ó $\tan \theta = \frac{fu}{g}$

Ecuación del gradiente.



(a) CROSS-SECTION



(b) PLAN

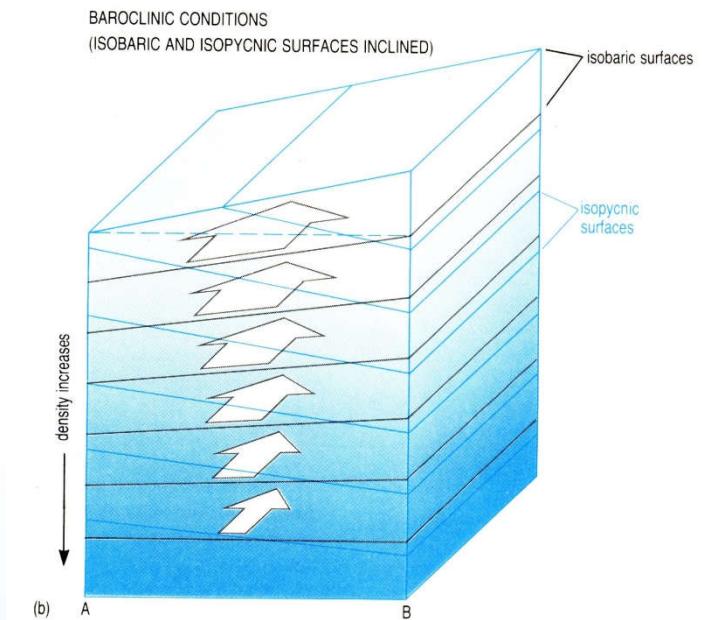
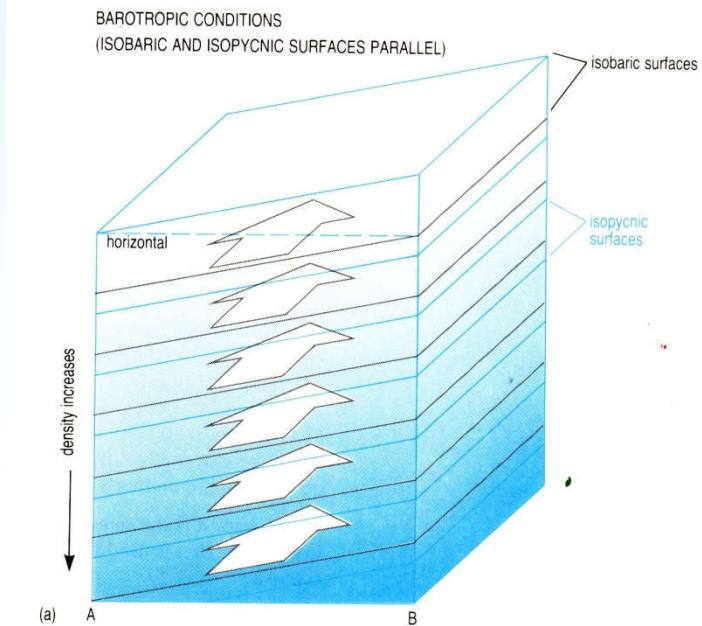
Figure 3.12 (a) In the Northern Hemisphere, a sea-surface slope up towards the east results in a horizontal pressure gradient force towards the west. (b) Initially, this causes motion 'down the pressure gradient', but because the Coriolis force acts at right angles to the direction of motion, the equilibrium situation is one in which the direction of flow (blue line) is at right angles to the pressure gradient.

$$\tan \theta = \frac{fu}{g}$$

Se cumple para toda superficie isobárica.

Barotrópicas: isóbaras paralelas, velocidad constante

Baroclínicas: la pendiente cambia con la profundidad, la velocidad disminuye



Condiciones Barotrópicas:

$$u = \frac{g}{f} \tan \theta$$

Condiciones Baroclínicas (z_1):

$$u_1 = \frac{g}{f} \tan \theta_1$$

Z a partir de nivel de referencia.

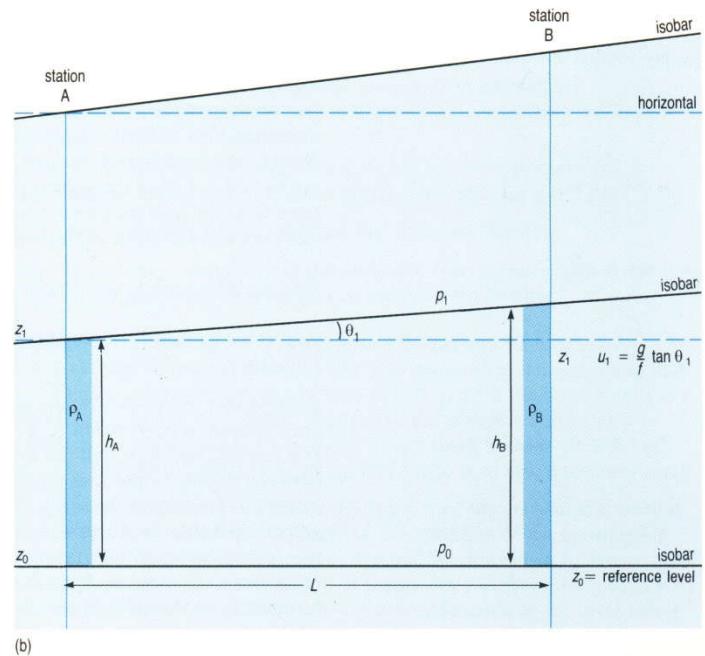
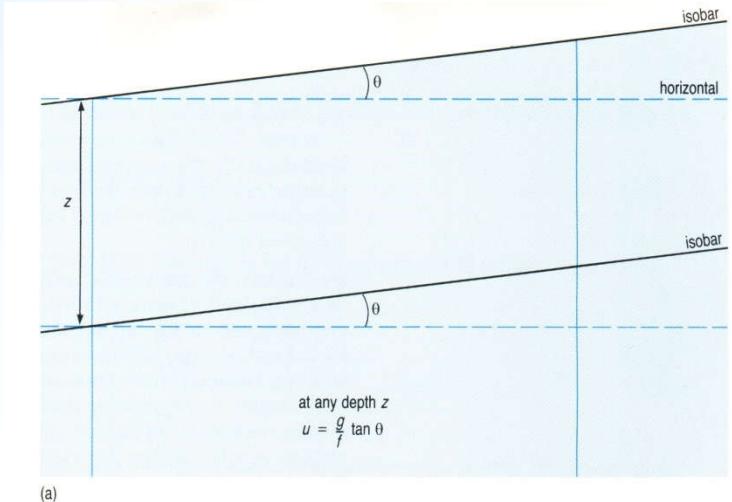


Figure 3.16 (a) In barotropic conditions, the slope of the isobars is $\tan \theta$ at all depths; the geostrophic current velocity u is therefore $(g/f) \tan \theta$ at all depths.

(b) In baroclinic conditions, the slope of the isobars varies with depth. At depth z_1 , the isobar corresponding to pressure p_1 has a slope of $\tan \theta_1$. At depth z_0 (the reference level), the isobar corresponding to pressure p_0 is assumed to be horizontal. (For further details, see text.)

$$\tan \theta = \frac{h_B - h_A}{L}$$

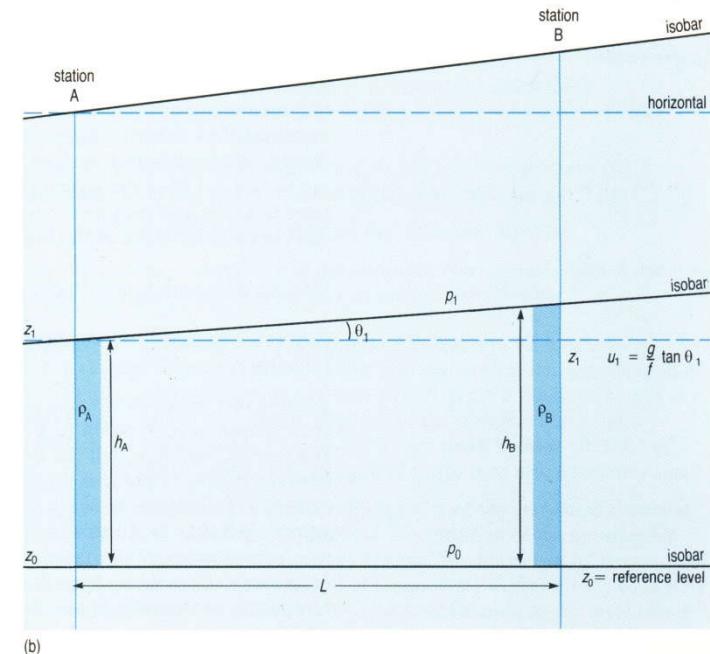


Figure 3.16 (a) In barotropic conditions, the slope of the isobars is $\tan \theta$ at all depths; the geostrophic current velocity u is therefore $(g/f) \tan \theta$ at all depths.

(b) In baroclinic conditions, the slope of the isobars varies with depth. At depth z_1 , the isobar corresponding to pressure p_1 has a slope of $\tan \theta_1$. At depth z_0 (the reference level), the isobar corresponding to pressure p_0 is assumed to be horizontal. (For further details, see text.)

$$u = \frac{g}{f} \cdot \left(\frac{h_B - h_A}{L} \right)$$

La altura es la diferencia entre dos superficies isobáricas p_A y p_B , por tanto la diferencia de presión es constante en los dos puntos

$$\rho_A gh_A = \rho_B gh_B$$

$$h_A = h_B \frac{\rho_B}{\rho_A}$$

$$u = \frac{g}{f} \left(\frac{h_B - h_B \frac{\rho_B}{\rho_A}}{L} \right) = \frac{gh_B}{fL} \left(1 - \frac{\rho_B}{\rho_A} \right)$$

Corrientes Profundas

