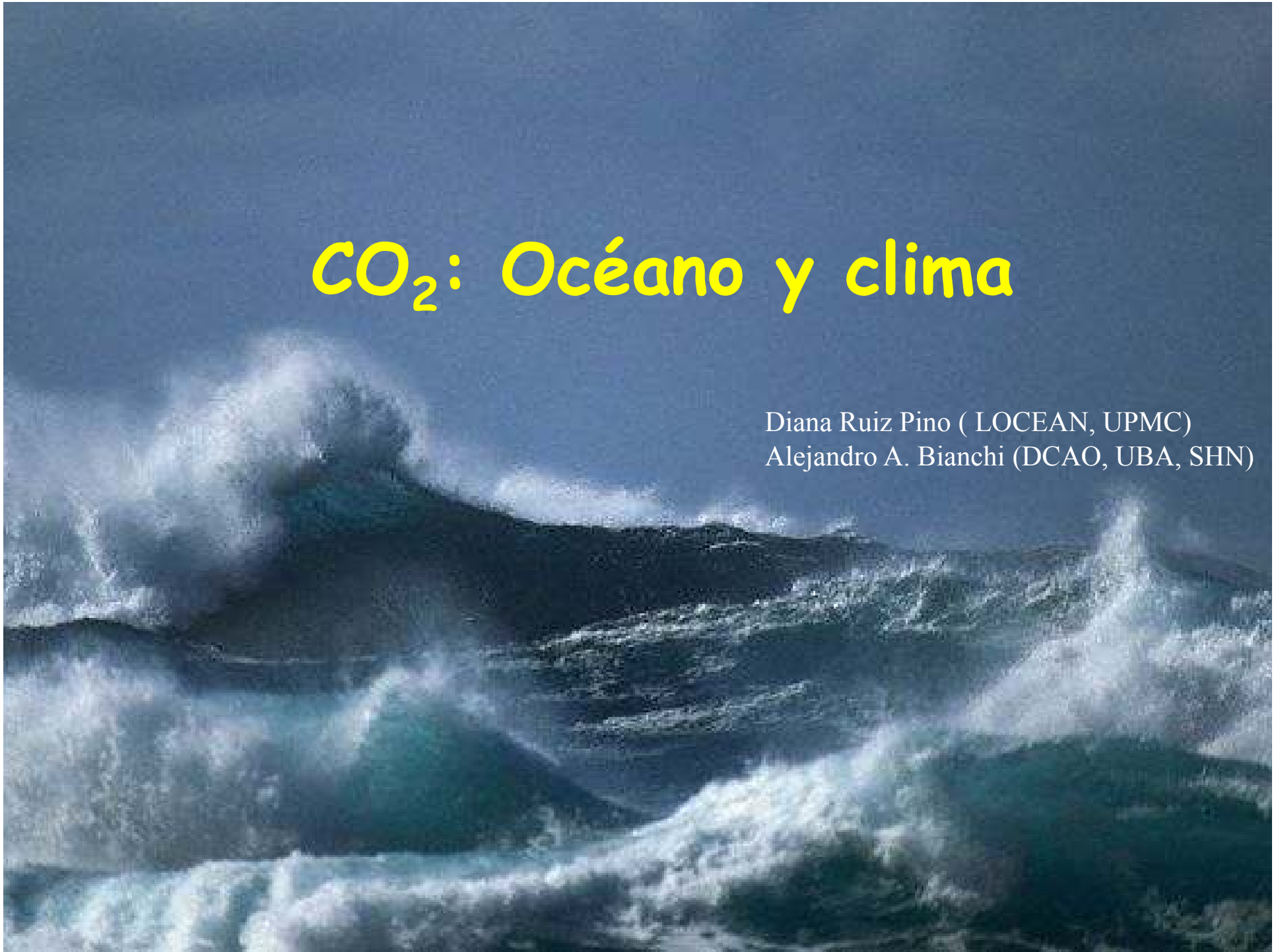


CO_2 : Océano y clima

Diana Ruiz Pino (LOCEAN, UPMC)
Alejandro A. Bianchi (DCAO, UBA, SHN)



Ciclo biogeoquímico del carbono

- Importancia del ciclo
- Esquema ciclo global C
- Cambios CO_2 atmósfera
- Emisiones de CO_2
- Absorción de CO_2 por océanos
- Implicaciones ecológicas del aumento de CO_2

El ciclo del carbono y su variabilidad son importantes por:

- su rol central entre los ciclos biogeoquímicos
- su interacción con el clima (como GEI)
- porque la humanidad ha comenzado a perturbar dramáticamente el ciclo del carbono y seguramente lo seguirá haciendo

Además...

- Ejemplo de sistemas: Depósitos, flujos, interconexión entre distintos compartimentos
- Importancia de la vida en el mantenimiento del ciclo
- Importancia de la actividad del hombre
- Mucho dinero en juego: Acuerdos de Kioto, etc
- Diversos efectos sobre los ecosistemas.
- Acidificación del océano

El efecto invernadero

Principales GEI

- Vapor de agua (~ 50 %)
- CO₂ (25 %)
- Metano
- Oxido nitroso
- Clorofluorocarbones
- Ozono
-

Sin efecto invernadero

- 18°C

Con efecto invernadero

+ 15°C

Promedio anual Radiación solar entrante al sistema tierra atmósfera (W/m^2)

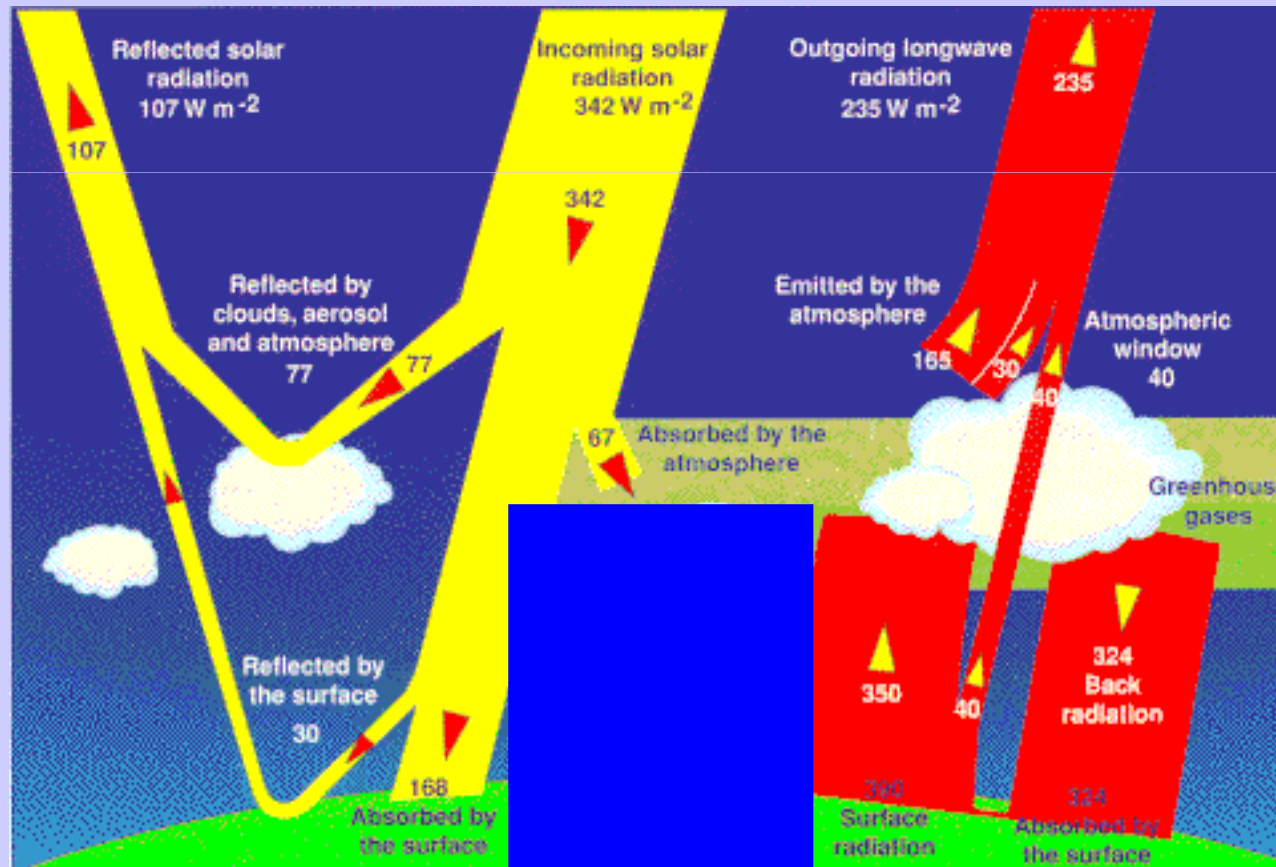
$$342 = 168 + 67 + 77 + 30$$

Absorbida por la superficie

Absorbida por la atmósfera

Reflejada por la atmósfera

Reflejado por la superficie



¿Que entra efectivamente al sistema tierra-atmósfera en onda corta ?

$$235 = 168 + 67 + 77 + 30$$

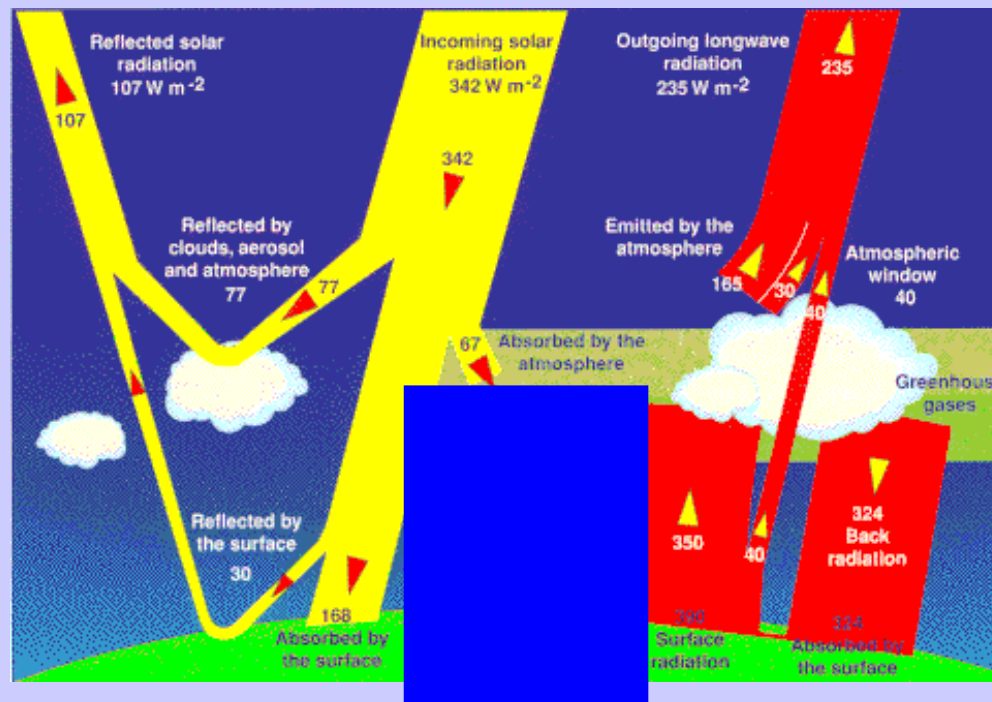
Absorbida por la superficie

Absorbida por la atmósfera

Reflejada por la atmósfera

Reflejado por la superficie

Devuelto al espacio en onda corta

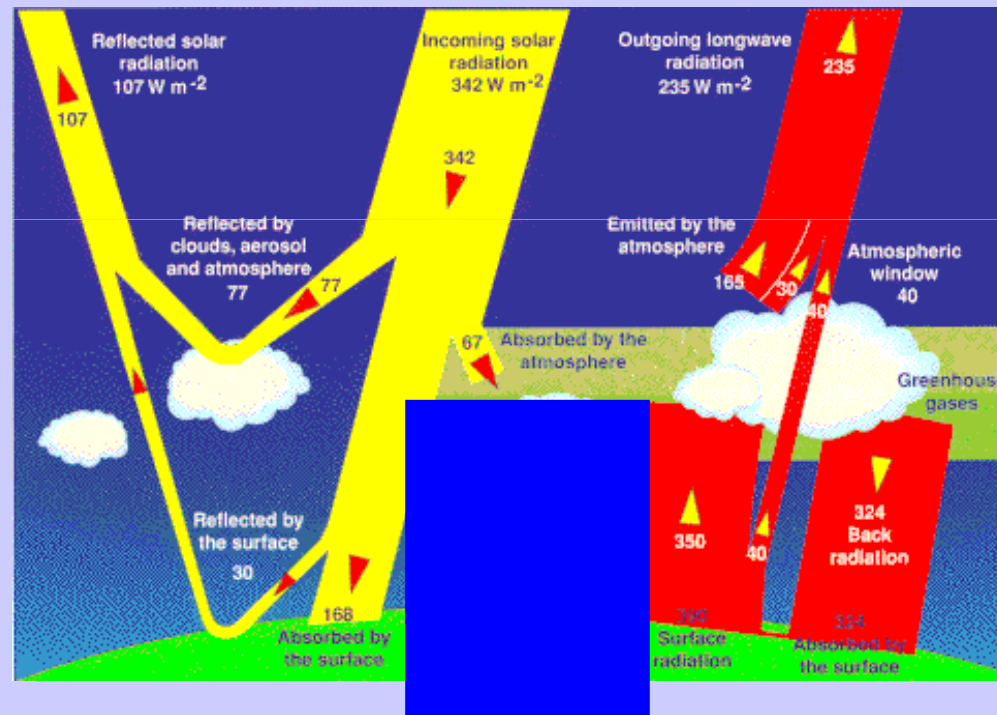


¿Que sale efectivamente al sistema tierra-atmósfera en onda larga ?

$$235 = 165 + 30 + 40$$

Reemitido por la atmósfera

Ventana de radiación atmósfera



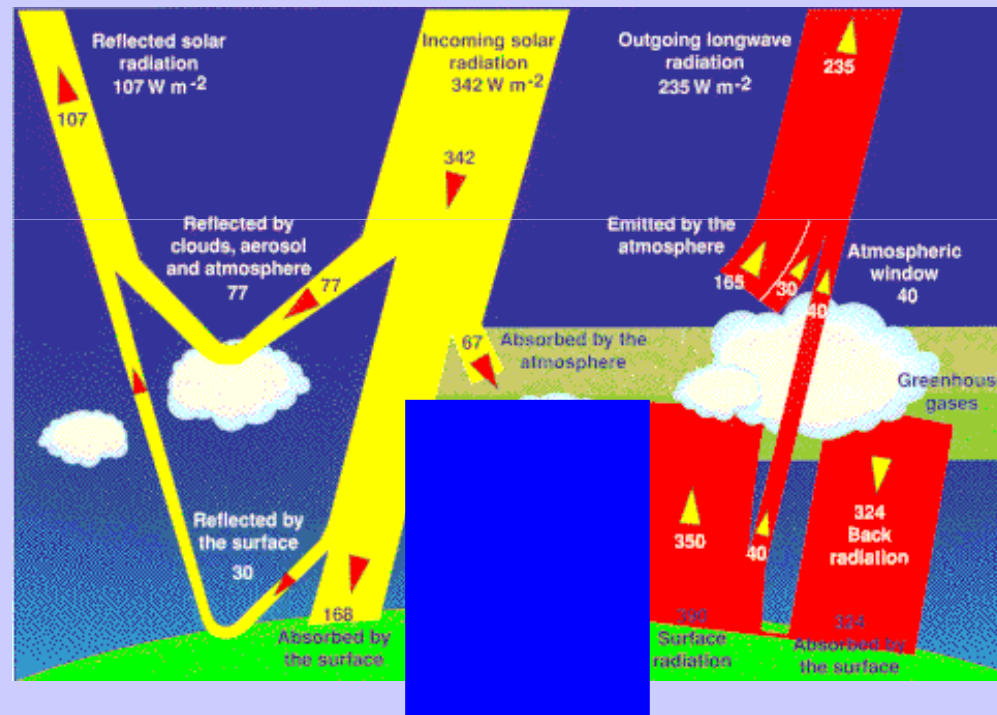
Desde el punto de vista radiativo (corta + larga) sistema tierra-atmósfera está en equilibrio

¿Que sale efectivamente al sistema tierra-atmósfera en onda larga ?

$$235 = 165 + 30 + 40$$

Reemitido por la atmósfera

Ventana de radiación atmósfera



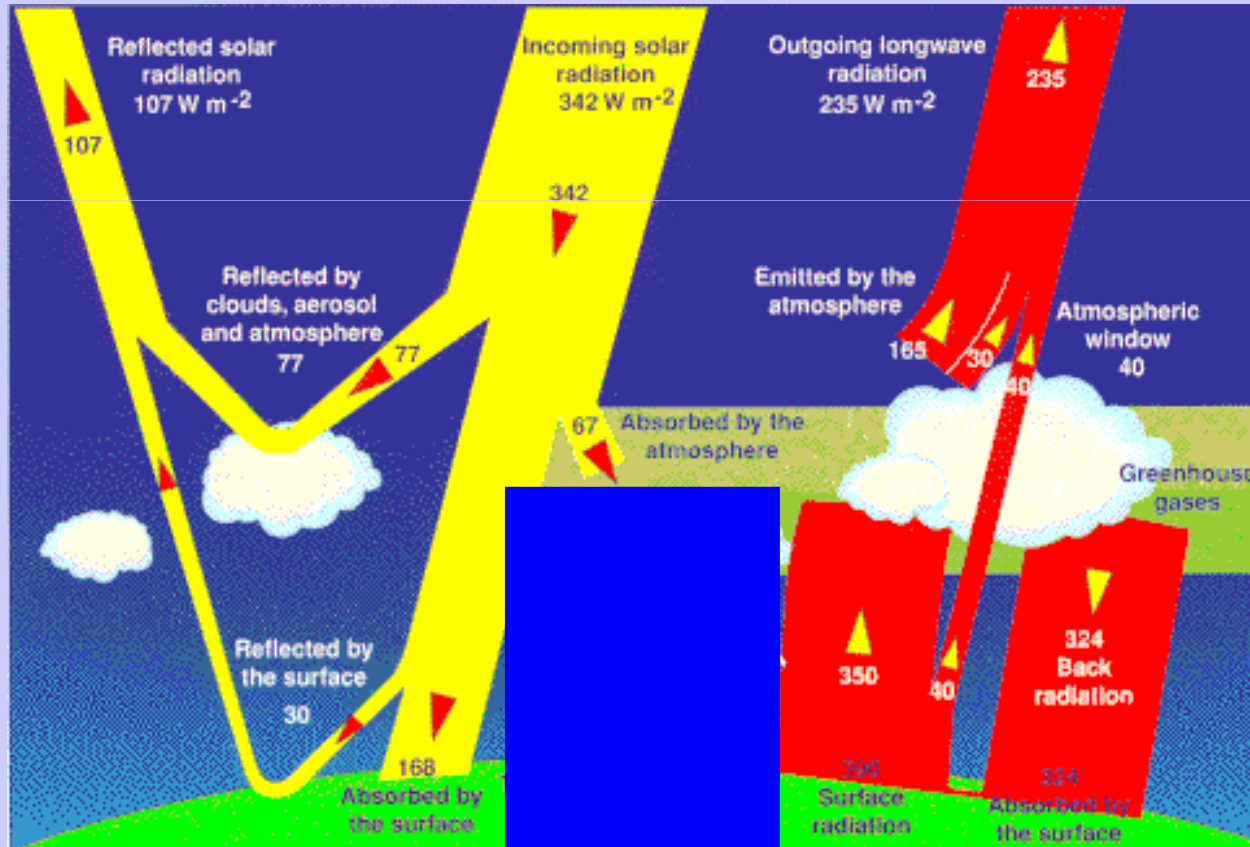
Desde el punto de vista radiativo (corta + larga) sistema tierra-atmósfera está en equilibrio

Subsistema Tierra

$$102 = 168 - 390 + 324$$

$Q^* = K^* - L^*$

$Q^* = 102$
 $K^* = 168$ (Oce)
 $L^* = 390 - 324$ (OLs, OLe)



¿Cómo salvo estos desbalances radiativos entre ambos sub-sistemas (atmósfera y tierra)?

Subsistema atmósfera = -102 w/m²

Subsistema océano = 102 w/m²

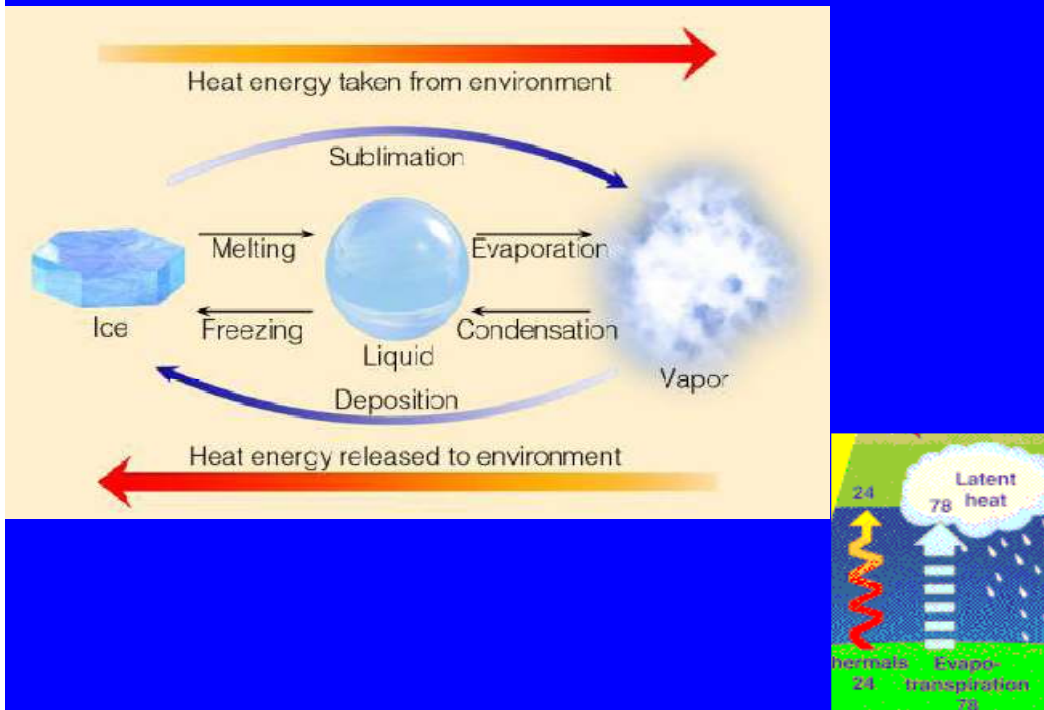
¿Interactúan ambos sub-sistemas (atmósfera y tierra)?

Calor sensible (Qh) conducción y/o convección

Cantidad de calor que cede o absorbe un cuerpo sin cambiar de estado. Puede ser detectado a través del cambio de temperatura del cuerpo.

Calor latente (Qe) Evaporación y/o condensación

Cantidad de calor que cede o absorbe un cuerpo al cambiar de estado. Durante el cambio de estado no se modifica la temperatura del cuerpo.



$$Q^* = Q_e + Q_h$$

Desbalance radiativo para
c/subsistema

78 W/m²

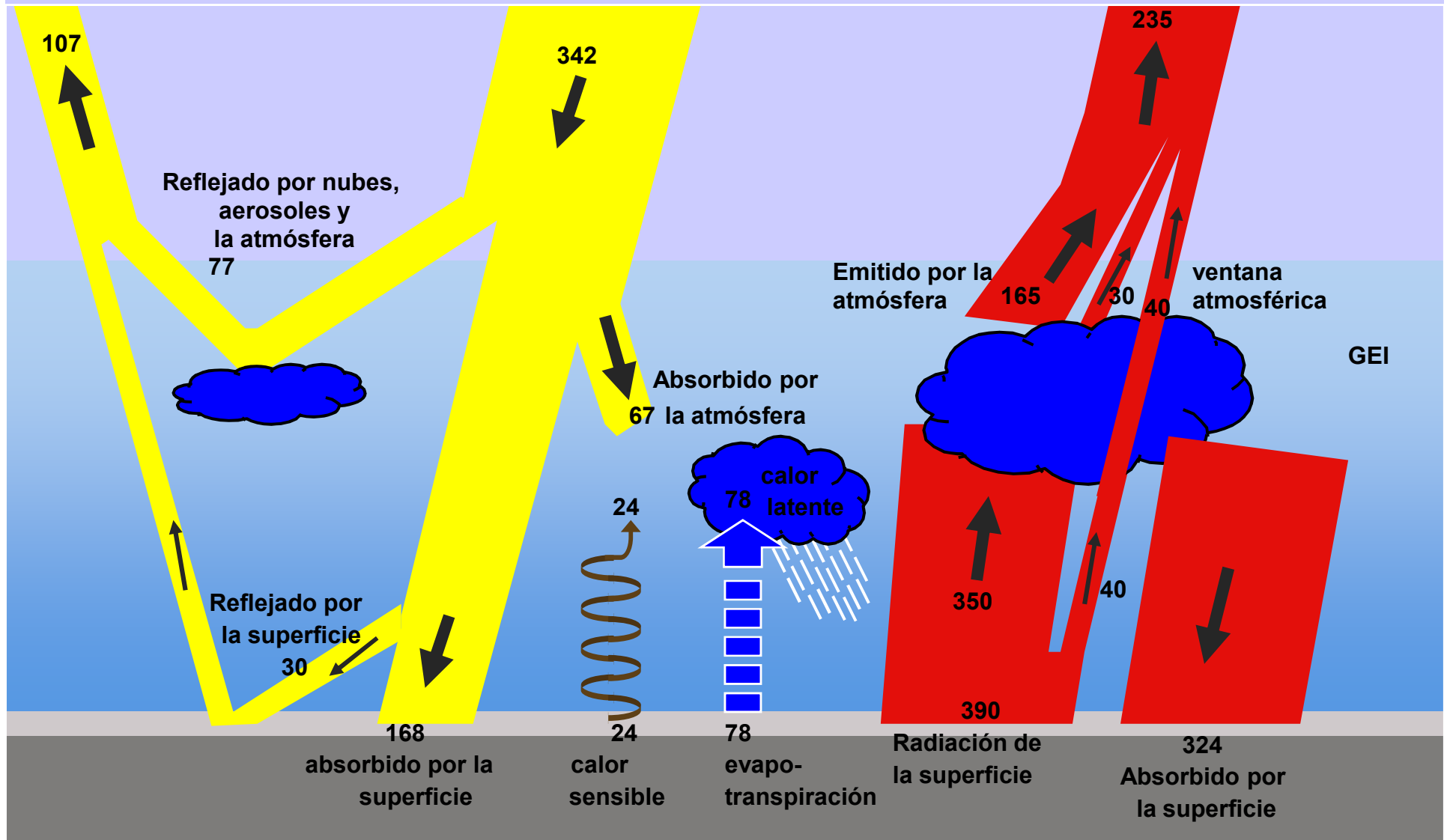
24W/m²

Balance radiativo

Radiación solar
reflejada : 107 W/m^2

Radiación solar
incidente : 342 W/m^2

Radiación IR
saliente : 235 W/m^2



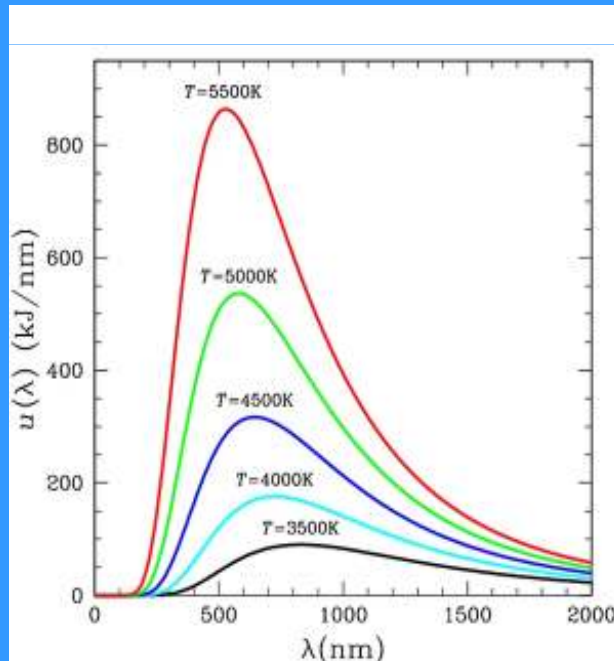
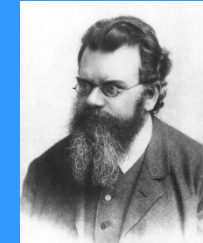
Radiación

Ley de Stefan – Boltzman

$$W = \sigma T^4, \sigma = 5.6696 \times 10^{-8} \text{ J/ (m}^2 \text{ s } ^\circ\text{K}^4)$$

$$\text{Si } T = 6000^\circ\text{K}, W = 7.35 \times 10^7 \text{ W/m}^2$$

$$\text{Si } T = 288^\circ\text{K}, W = 390 \text{ W/m}^2$$



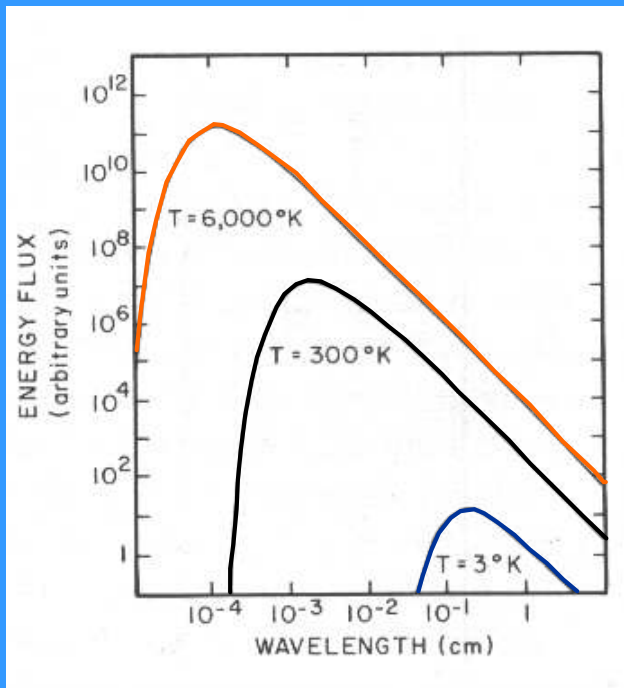
Ley de Wien

$$\lambda_{\text{max}} = b/T, b = 2.89777 \times 10^{-3} \text{ m K}$$

$$\text{Si } T = 6000^\circ\text{K}, \lambda_{\text{max}} = 4.8 \times 10^{-7} \text{ m}$$

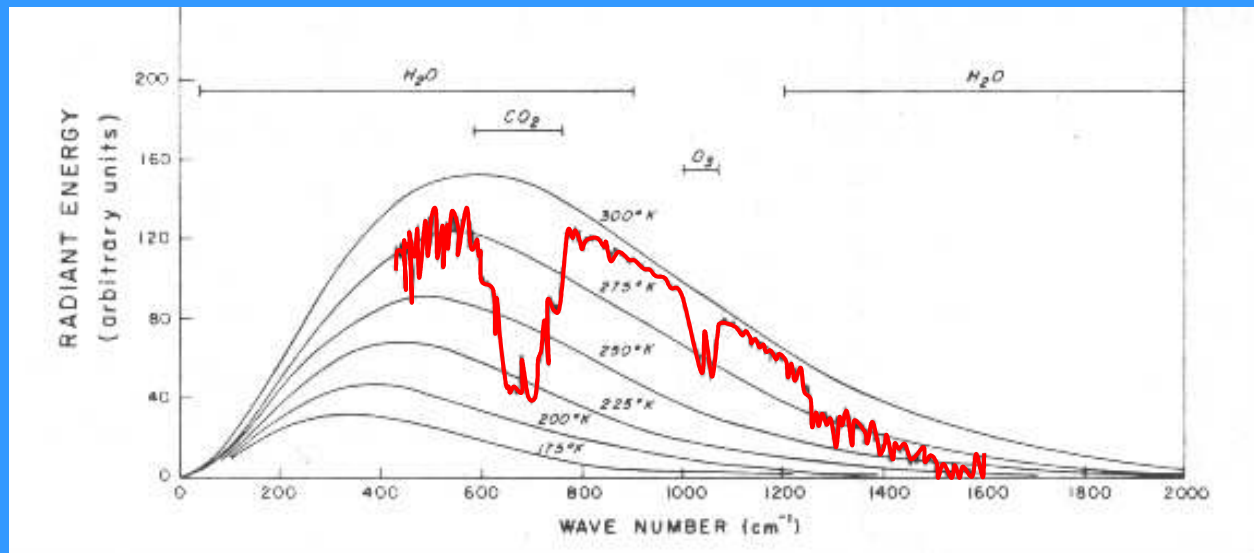
$$\text{Si } T = 288^\circ\text{K}, \lambda_{\text{max}} = 1 \times 10^{-5} \text{ m}$$





Espectro de radiación en función de la temperatura unidades arbitrarias de energía

Espectro de radiación emitida por la tierra en el tope de la atmósfera, en la isla de Guam, en unidades arbitrarias de energía



Las actividades humanas han aumentado en la atmósfera, la cantidad de varios gases radiativamente activos, incluyendo CO₂, metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O) y clorofluorocarbonos (CFCs)

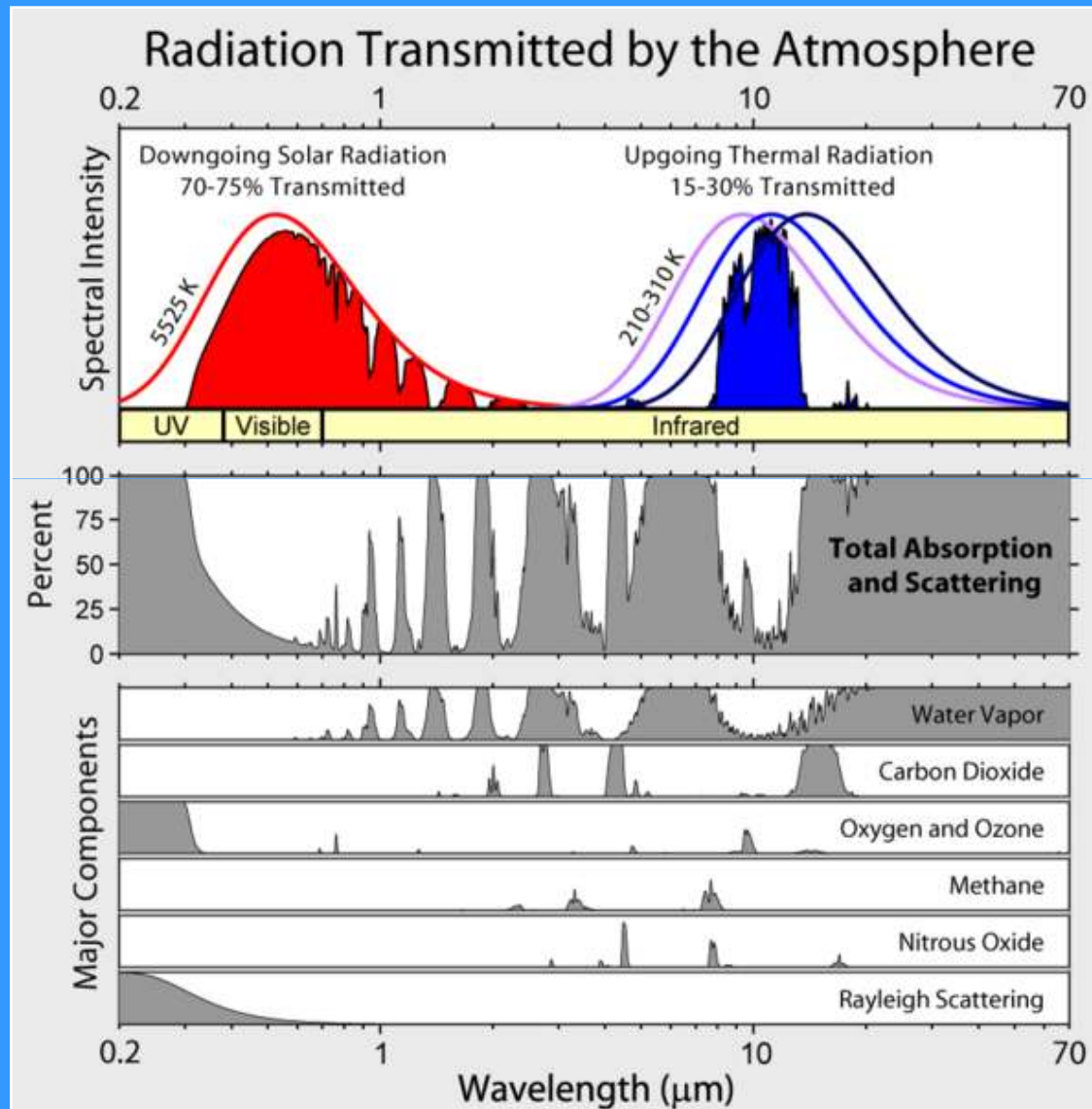
TABLE 10.1.1

Major greenhouse gases

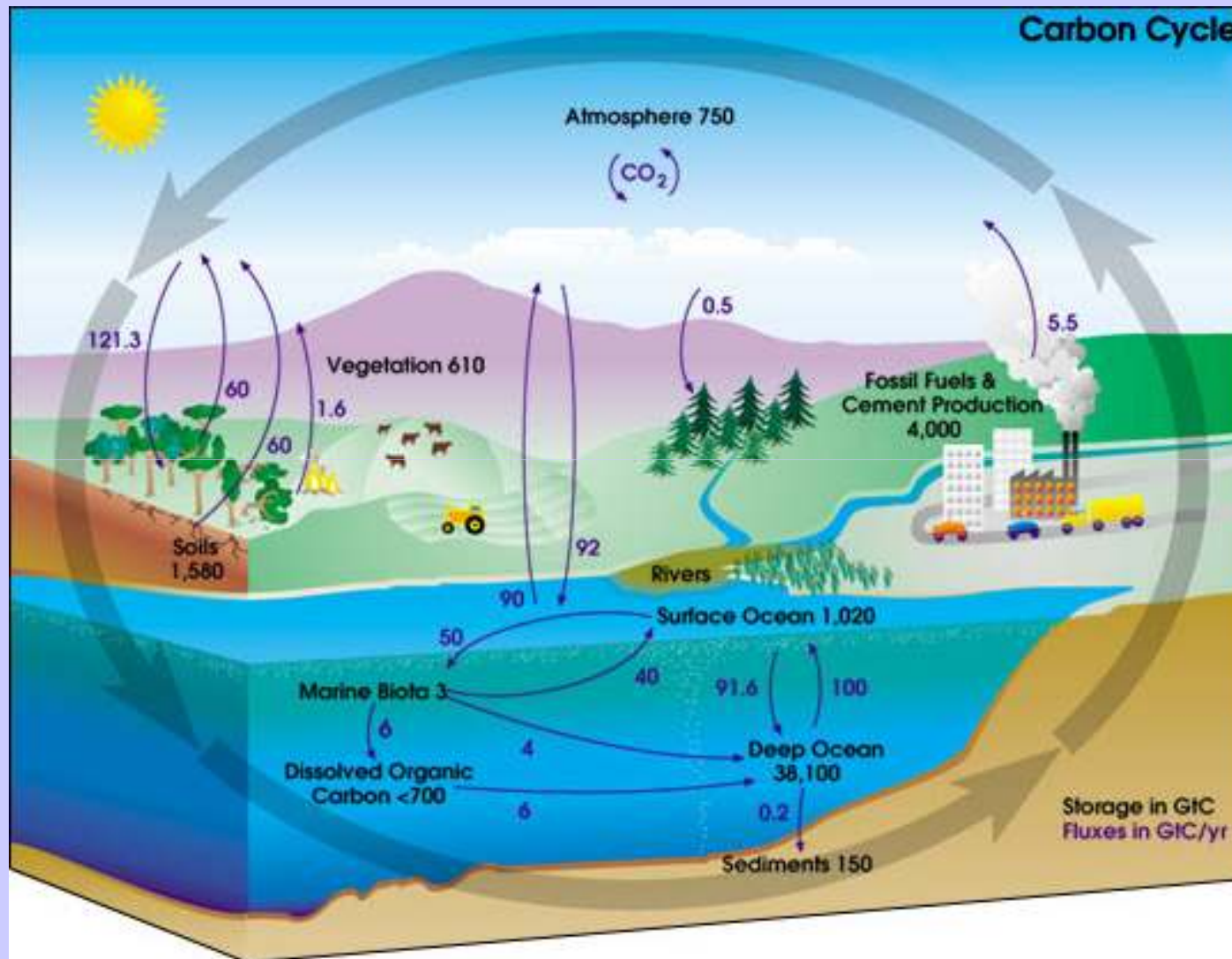
Mixing ratios, present rate of increase, and increase in radiative forcing are from Ramaswamy et al. [2001]. Preindustrial radiative forcing is from Dickinson and Cicerone [1986].

Gas	Mixing Ratio in Dry Air (ppm)		Current Rate of Increase (% yr ⁻¹)	Radiative Forcing (W m ⁻²)	
	1765	1992		Preindustrial (<1765)	Anthropogenic (1765–1990)
H ₂ O	—	—	—	94	—
CO ₂	278	356	0.4	50	1.46
CH ₄	0.7	1.71	0.6	1.1	0.48
CFC-11	0.0	0.000268	0.0	0.0	0.07
CFC-12	0.0	0.000503	1.4	0.0	0.17
Other CFCs	—	—	—	—	0.10
N ₂ O	0.275	0.310	0.25	1.25	0.15
Total				146	2.43

El CO₂: un gas de efecto invernadero



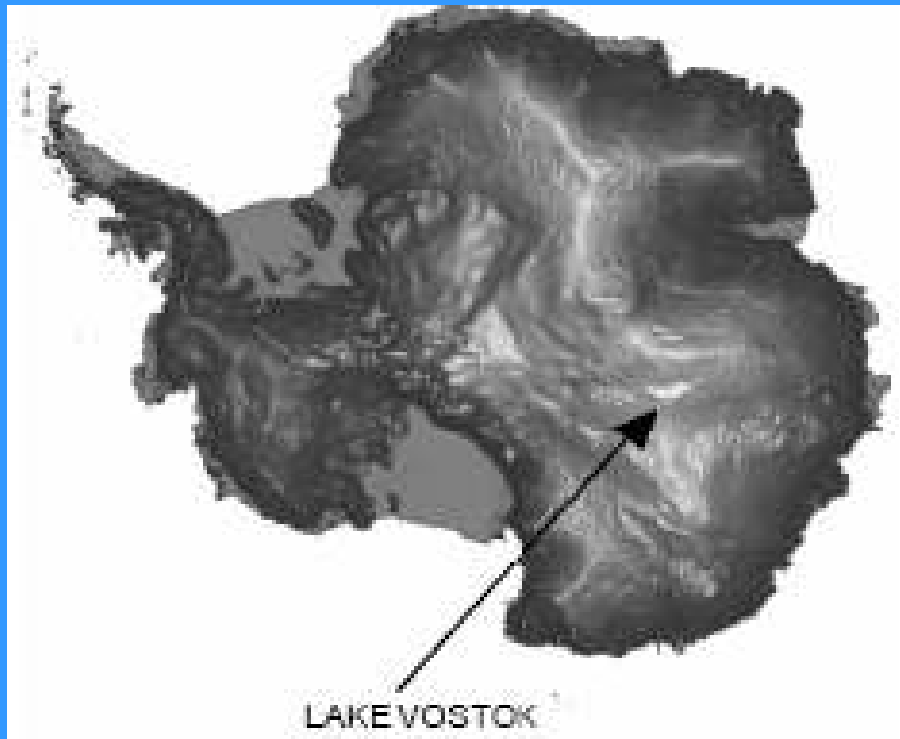
Ciclo global del Carbono



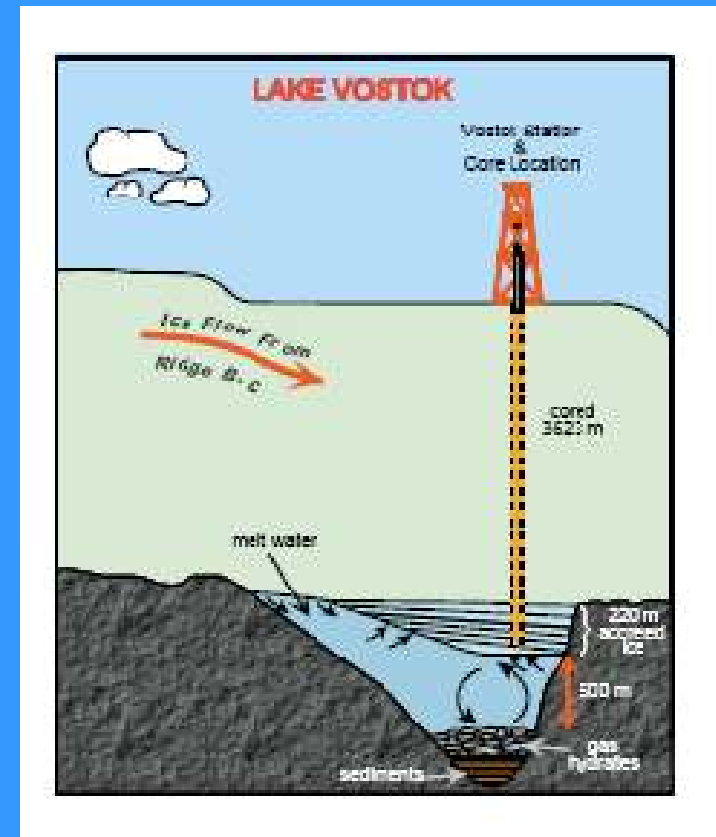
¿Porqué el CO₂ atmosférico?


- Un buen indicador del estado del ciclo global del C es el CO₂ atmosférico, dado que representa la concentración de un reservorio relativamente pequeño que actúa como vía del intercambio de carbono entre los otros dos grandes reservorios: el de la biosfera terrestre (incluyendo los suelos) y el del océano (incluyendo los sedimentos). El CO₂ atmosférico es también pequeño si se lo compara con los grandes flujos entre el océano y la biosfera terrestre, como se puede apreciar por su corto tiempo de residencia (de 6 a 8 años). Todo esto indica que el CO₂ atmosférico reaccionaría sensiblemente ante cambios en el ciclo global del C.

Lago subglacial Vostok



Proxy para el paleoclima del planeta

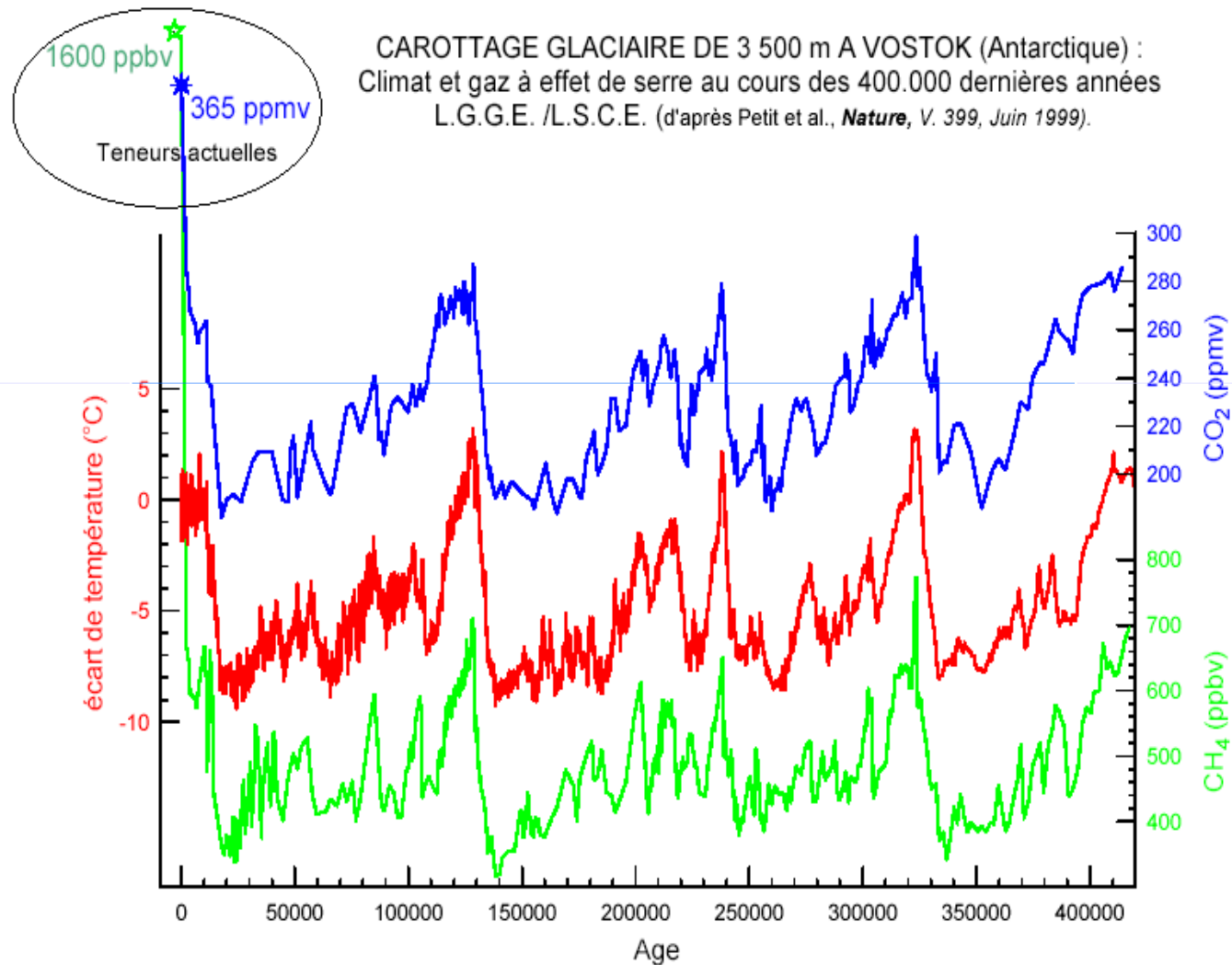




Dos isótopos del oxígeno-deuterio y O_{18} pueden ser utilizados para reconstruir cambios en la temperatura en regiones polares. En la Antártida, un enfriamiento de $1^{\circ}C$ corresponde a un decrecimiento de 9 por mil del deuterio.

Registro histórico de GEI y temperatura en la atmósfera Testigos de hielo a 3500m en Vostok (Antártida)

2008: CO₂>387ppm



Las edades de hielo

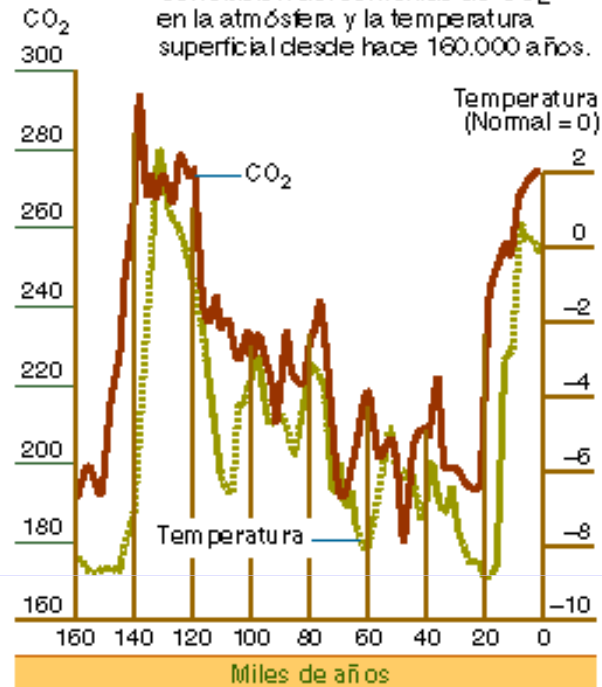
El clima de la Tierra ha sufrido grandes oscilaciones en los últimos millones de años. La causa está en los cambios en la órbita e inclinación de la Tierra alrededor del Sol.

Extensión del casquete glacial ártico hace 18.000 años



CO₂ y temperatura

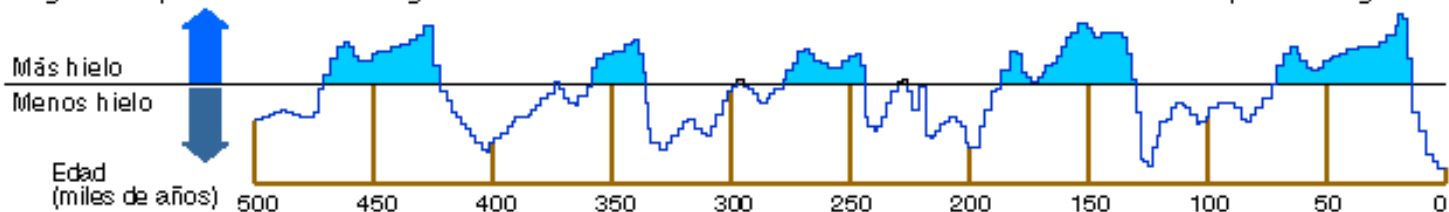
Correlación del contenido de CO₂ en la atmósfera y la temperatura superficial desde hace 160.000 años.



El estudio de los cilindros de hielo extraídos del suelo antártico en Vostok ha permitido comprobar la correlación de anhídrido carbónico (CO₂) y la temperatura superficial desde hace 160.000 años. No se conoce todavía el mecanismo subyacente.

Glaciaciones a lo largo de la historia

En los últimos 500.000 años ha habido cinco grandes glaciaciones, con un intervalo aproximado de 100.000 años. El gráfico representa su cronología sobre la base de la concentración relativa de los distintos isótopos de oxígeno.



Fuente: Nature, Universidad de Hartwick.

EL PAÍS



Un problema de gran impacto social: El Cambio Climático Global

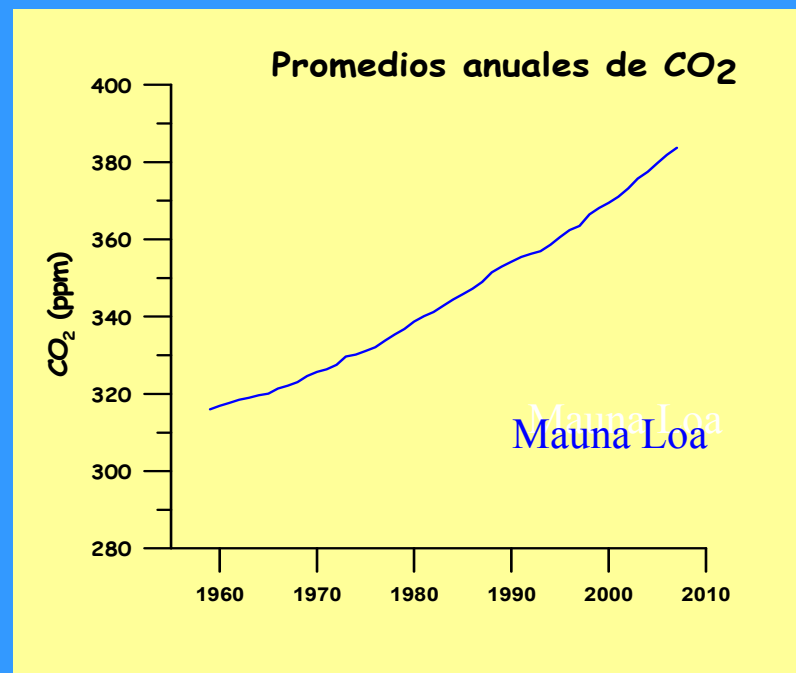
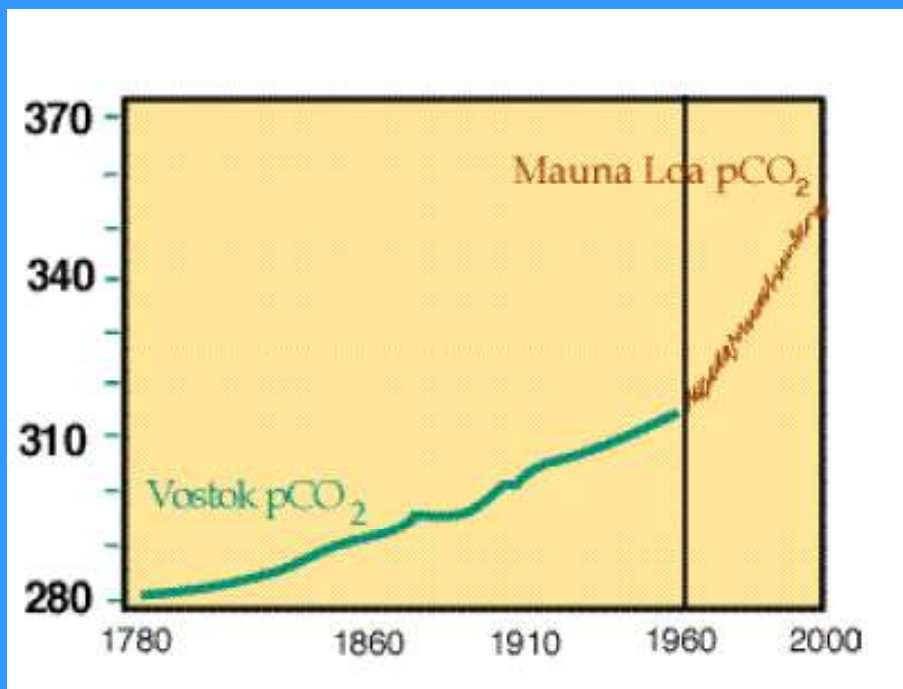
Inequívocas señales del **calentamiento global**:

- Aumento de temperaturas medias del aire y del mar
- Fusión de hielo y aumento del nivel del mar (IPCC, 2007).

El más importante GEI antropogénico es el. Sus emisiones anuales **han crecido cerca de un 100%** en los últimos 45 años

El escenario en los próximos años para países de América Latina (como Brasil, México y Argentina) indica un aumento en la **demanda de energía** asociada a una mayor emisión de CO_2

Concentración CO_2 en la atmósfera



Evolución reciente del CO_2 atmosférico estimado antes de 1959 a partir de las burbujas de aire apresadas en el hielo de la base rusa de Vostok en la Antártida. A partir de 1959, los datos son obtenidos por un sistema de medición directa de este gas en el observatorio norteamericano de Mauna Loa, Hawai. A partir de 1780, a comienzos de la era industrial, se observa una tendencia creciente de la concentración de CO_2 (en ppm) que se acentúa en los últimos 50 años (1.4 ppm/año). Por otra parte, a partir del año 2000, la tendencia observada es aún más fuerte, llegando a 2.1 ppm/año.

Emisiones de Carbono por quema de combustibles fósiles



- Incremento exponencial desde 1940
- Está afectando a los depósitos

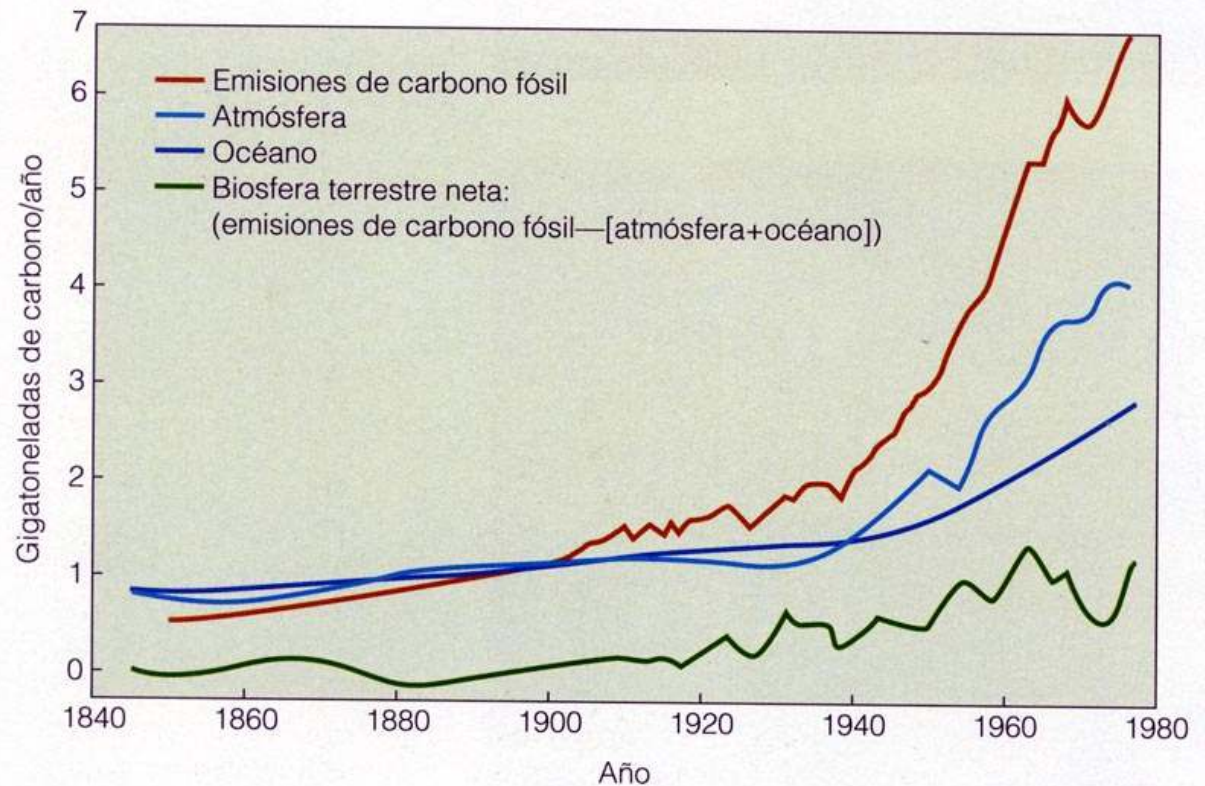


Figura 26.7 Emisión de carbono debida a la quema de combustibles fósiles y cambios en los principales reservorios globales. Los valores atmosféricos están basados en observaciones directas y en estimaciones a partir del análisis de testigos cilíndricos de hielo. La absorción por parte del océano se ha estimado utilizando el modelo de carbono oceánico desarrollado por el GFDL, y la absorción neta por parte de los ecosistemas terrestres se ha calculado como la diferencia restante.

Emisiones por aclarado y quema de bosques

- Distinta tendencia en continentes
- Gran deforestación en Latinoamérica y África tropical, que son los países menos desarrollados

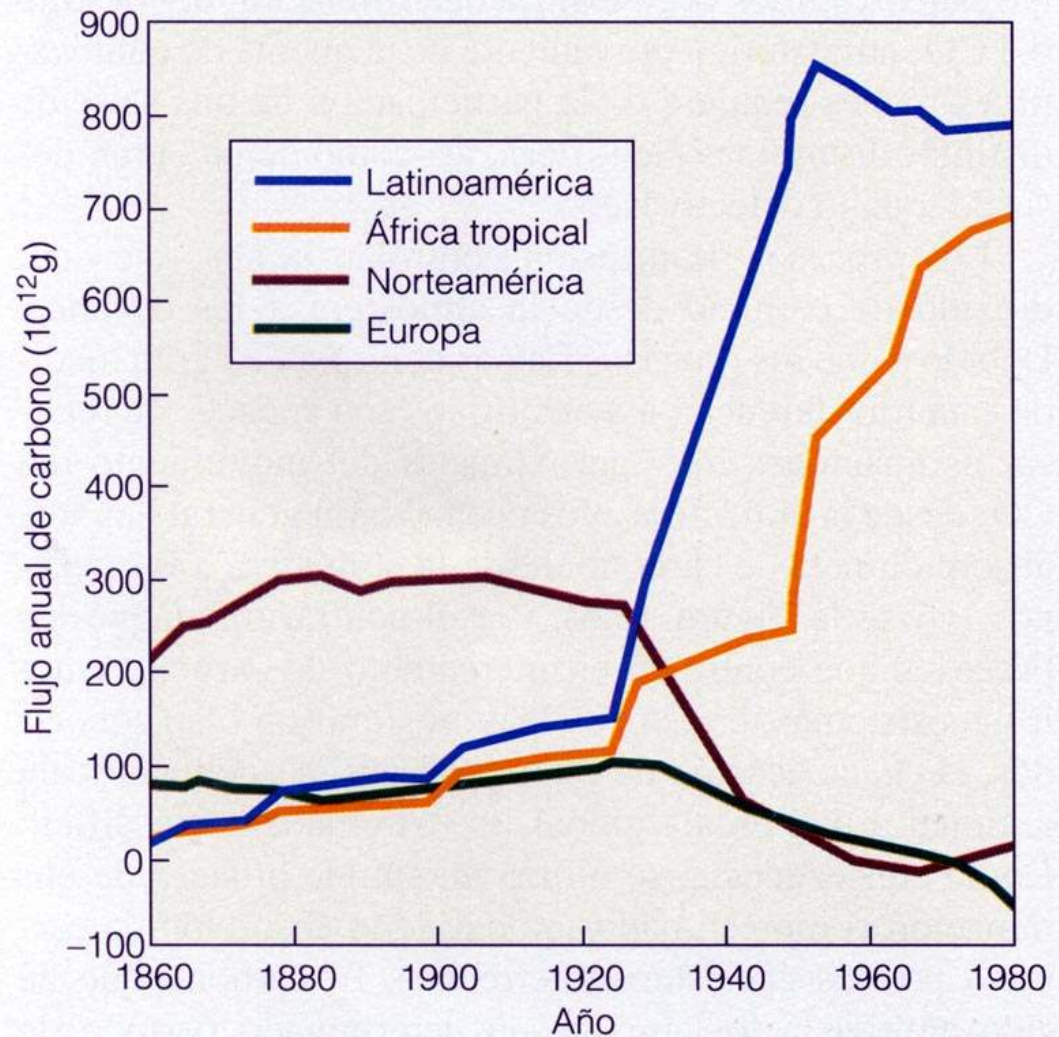
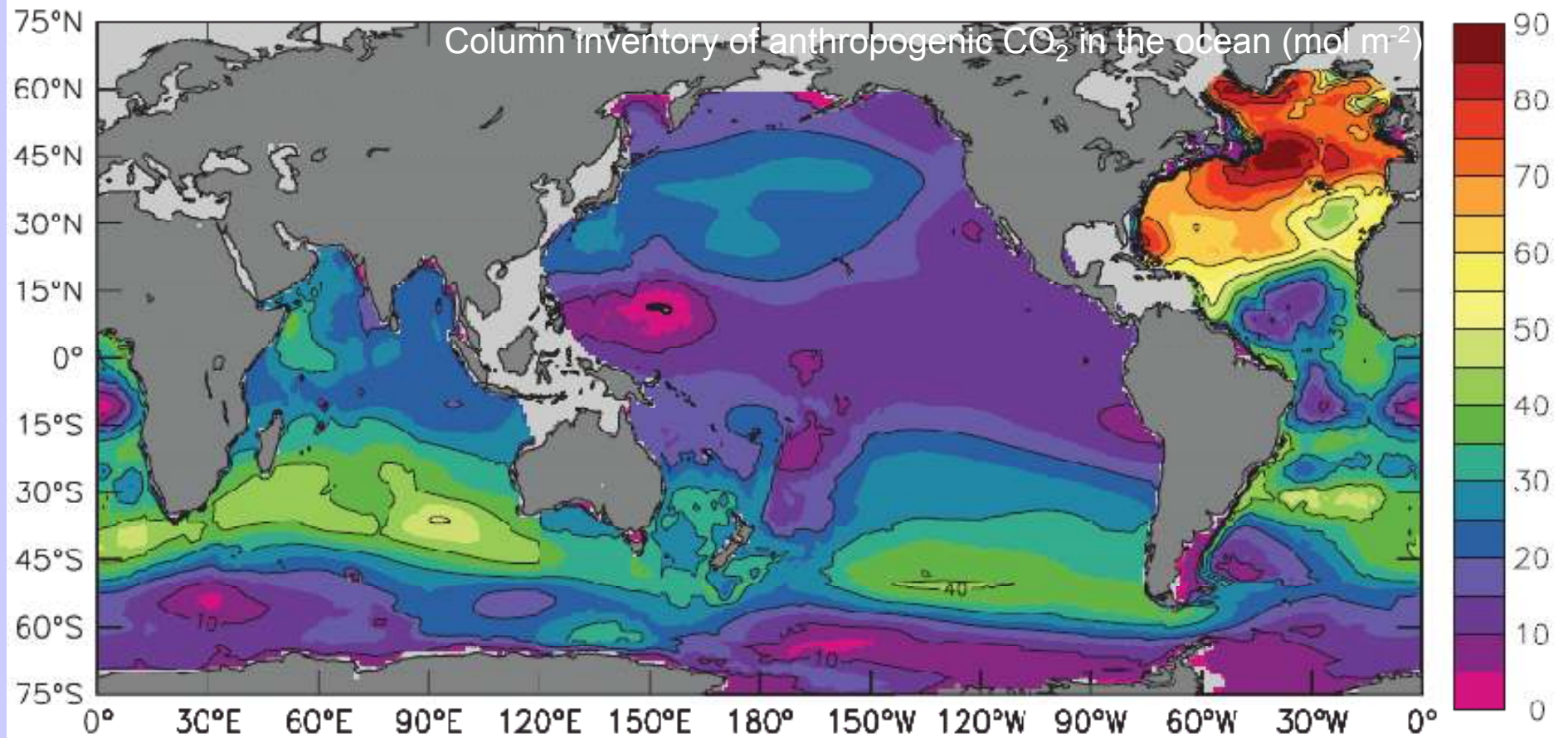


Figura 26.5 Registro histórico de la entrada anual de CO₂ a la atmósfera como resultado de las prácticas de aclarado y quema de bosques en Norteamérica, Sudamérica, Centroamérica, Europa y África.

Almacenamiento de CO₂ antropogénico en el océano



after Sabine *et al.* (2004), *Science* **305**, 367-371.

Captura de CO₂ por los océanos

- Los océanos actúan, en forma global, como sumideros de Carbono.
- También los depósitos de formaciones vegetales
- Importancia de conocer la magnitud de los sumideros y fuentes

TABLE 10.2.1

Anthropogenic CO₂ budget for the Anthropocene (1800–1994) and for the period of the 1980s and 1990s.

From Sabine et al. [2004].

	1800–1994 Pg C	1980–1999 Pg C	1980–1999 (Avg) Pg C yr ⁻¹
<i>Constrained sources and sinks</i>			
(1) Emissions from fossil fuel and cement production	244 ± 20	117 ± 5	5.9 ± 0.3
(2) Storage in the atmosphere	-165 ± 4	-65 ± 1	-3.3 ± 0.1
(3) Ocean uptake	-118 ± 19	-37 ± 7	-1.9 ± 0.4
<i>Inferred net terrestrial balance</i>			
(4) Net terrestrial balance = [-(1)-(2)-(3)]	39 ± 28	-15 ± 9	-0.8 ± 0.5
<i>Terrestrial balance</i>			
(5) Emissions from changes in land use	100–180	24 ± 12	1.2 ± 0.6
(6) Terrestrial biosphere sink = [-(1)-(2)-(3)-(5)]	-61 to -141	-39 ± 18	-2.0 ± 1.0

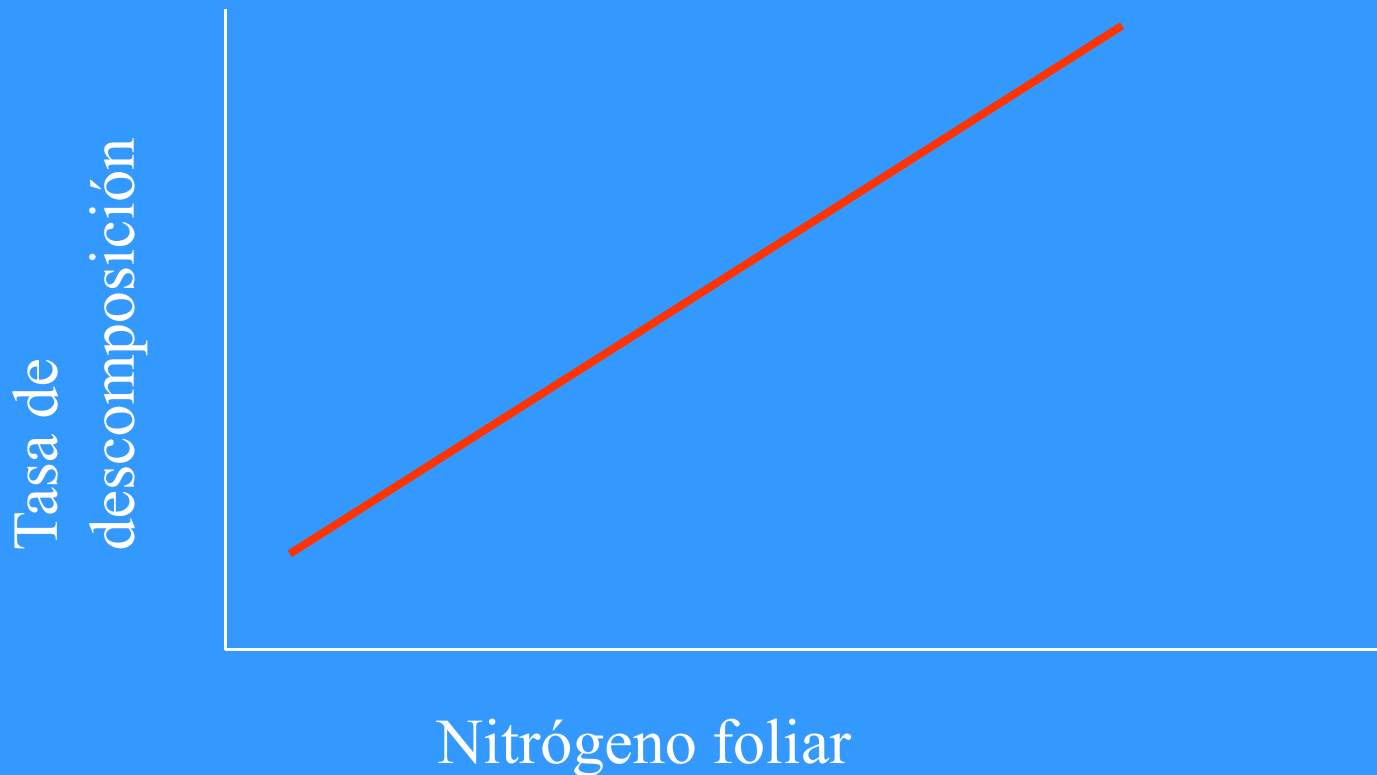
El futuro en un mundo más caliente

- ¿Cómo fueron estimadas estas capturas de CO_2 y qué controla la tasa de captura?
- ¿Cómo podría cambiar en el futuro el hundimiento de CO_2 en el océano teniendo en cuenta que se pronostica una significativa alteración del clima?
- Pensemos que con el forcing radiativo existente asociado al CO_2 atmosférico sería un 30% más alto en ausencia de hundimiento en el océano. Más aún, se podrían desarrollar feedbacks positivos si el océano pasa a ser menos eficiente en la captura de CO_2 en un mundo más cálido. Esto conduciría a una aceleración del aumento de CO_2 en la atmósfera con un consecuente mayor calentamiento global.
- Sobre estas preguntas volveremos luego.

Efectos del aumento de CO₂

- CO₂ como recurso para las plantas (Efecto directo)
- CO₂ como gas con efecto invernadero (Efectos indirectos)
 - Incremento de la temperatura
 - Cambios en los regímenes de precipitaciones
 - Implicaciones ecológicas.
 - Acidificación de los océanos

Descomposición



- Limitada por la concentración de Nitrógeno
- El descenso en N por aumento de CO_2 puede disminuir la descomposición y ralentizar el reciclado de nutrientes (retroalimentación positiva)

Impactos del Cambio Climático

(Jouzel,2002)

Ecosistemas acuáticos y terrestres

- Desplazamientos de las isotermas entre 150 y 550 km
- Un tercio (entre 1/7 y 2/3) de la superficie forestada sufrirá importantes mutaciones en los tipos de vegetación (máxima en latitudes altas, menor en zonas tropicales).
- Riesgo de condiciones extremas en regiones áridas y semi-áridas.
- Los ecosistemas más sensibles son los de montaña y los costeros.

Hidrología y Recursos de Agua

- Aprovechamiento (residenciales, industriales, agricultura)
- Energía Hidroeléctrica, Navegación
- Ecosistemas fluviales, Esparcimiento (30 à 50 % de los glaciales alpinos podrían desaparecer)

Agricultura.

- La producción mundial podría mantenerse en su nivel actual.
- Los riesgos de cambios en la dieta alimentaria y hambrunas podrían aumentar en ciertos países.

Infraestructura

- Riesgo de inundación que afectarán a más de 100 millones de personas (p.ej. Bangladesh, 80% del área)
- Tormentas severas
- Mayor erosión costera

Salud

- Riesgo de recrudescimiento de enfermedades infecciosas.
(Paludismo, Dengue, Fiebre amarilla, encefalitis virales).

Desarrollo de modelos de circulación general

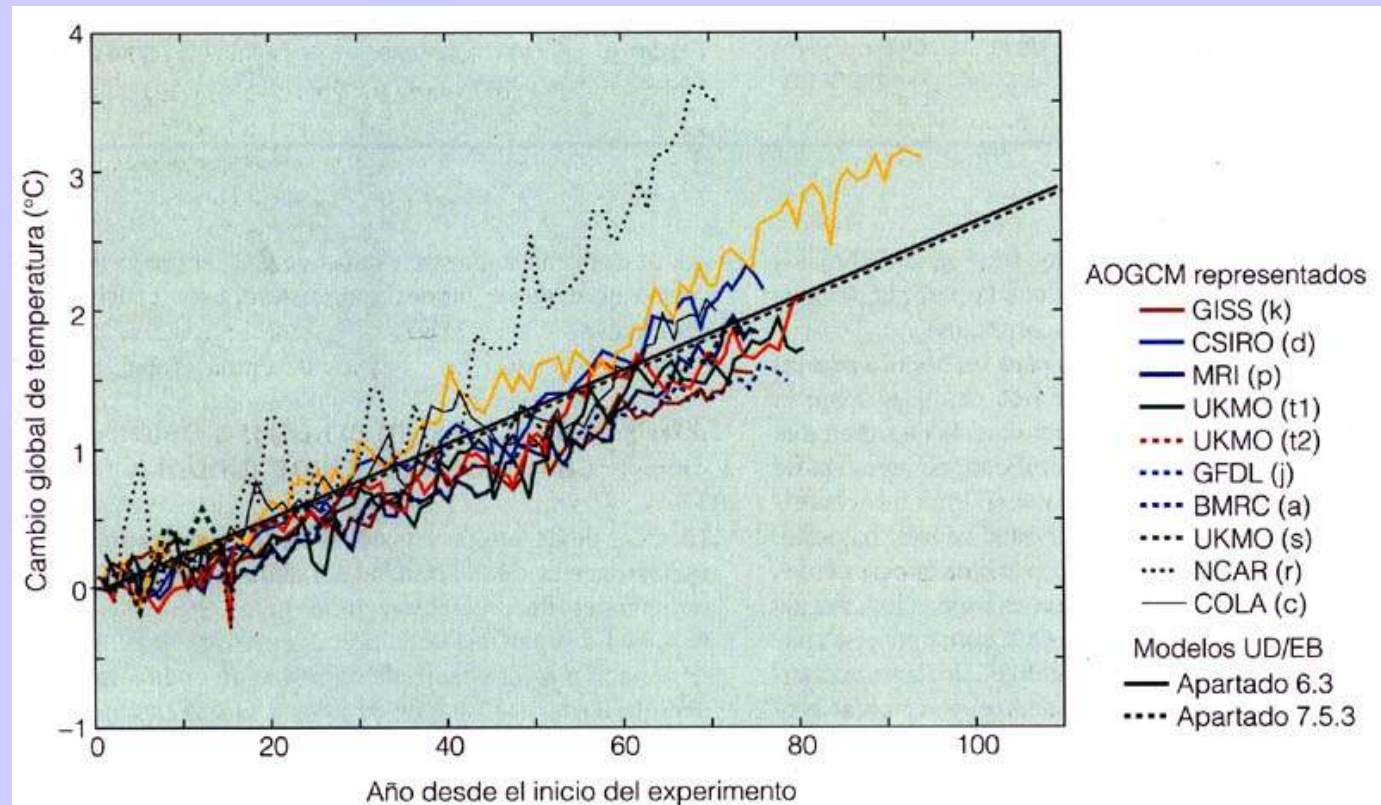


Figura 26.10 Comparación de los patrones predichos de cambio promedio de las temperaturas globales entre diversos modelos de circulación general.

- Variaciones entre modelos
- Todos predicen aumento de temperatura y aumento global de precipitaciones
- Para Mediterráneo aumento 2-3 ° y descenso 30 % lluvia

Distribución ecosistemas a escala mundial

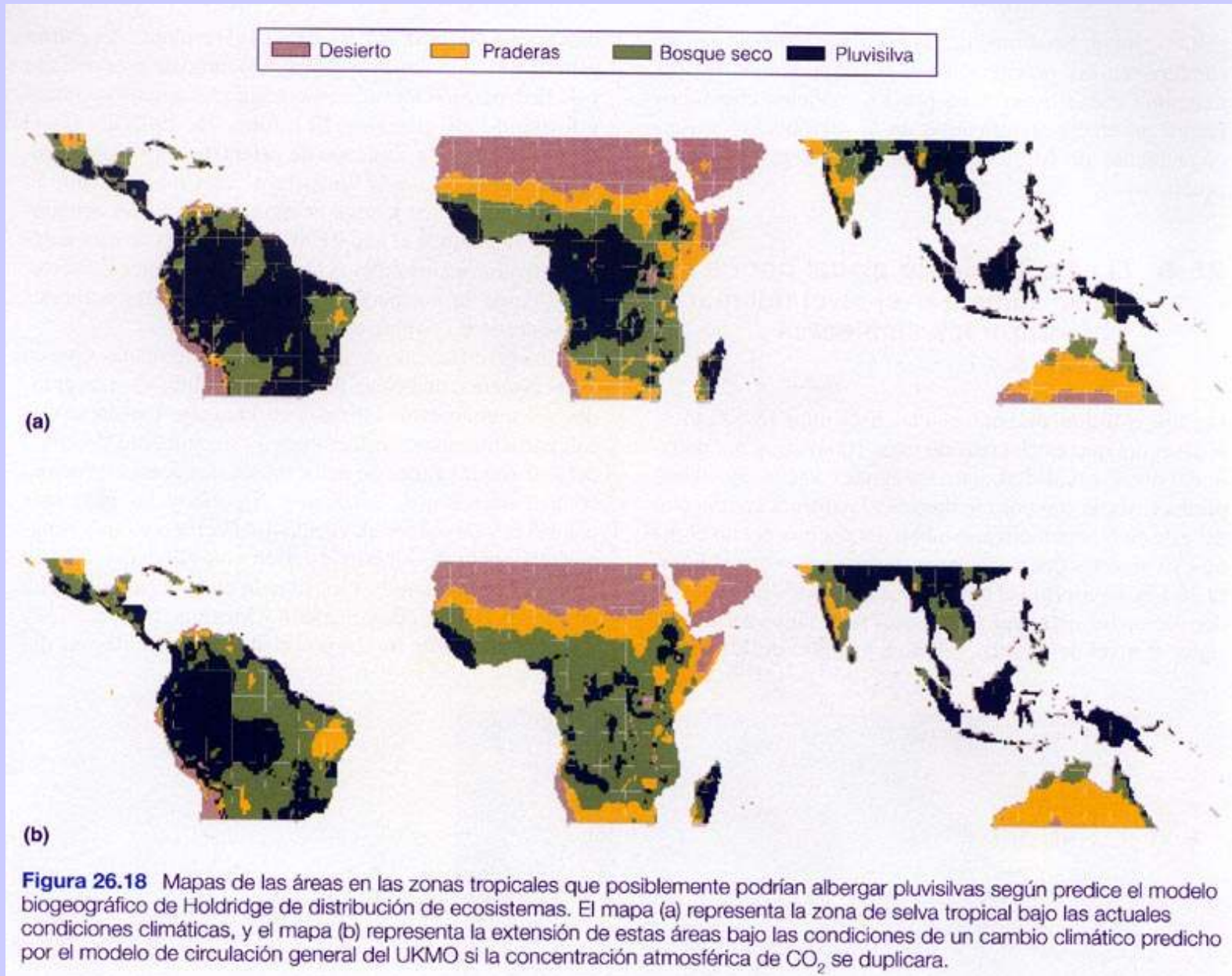


Figura 26.18 Mapas de las áreas en las zonas tropicales que posiblemente podrían albergar pluvisilvas según predice el modelo biogeográfico de Holdridge de distribución de ecosistemas. El mapa (a) representa la zona de selva tropical bajo las actuales condiciones climáticas, y el mapa (b) representa la extensión de estas áreas bajo las condiciones de un cambio climático predicho por el modelo de circulación general del UKMO si la concentración atmosférica de CO₂ se duplicara.



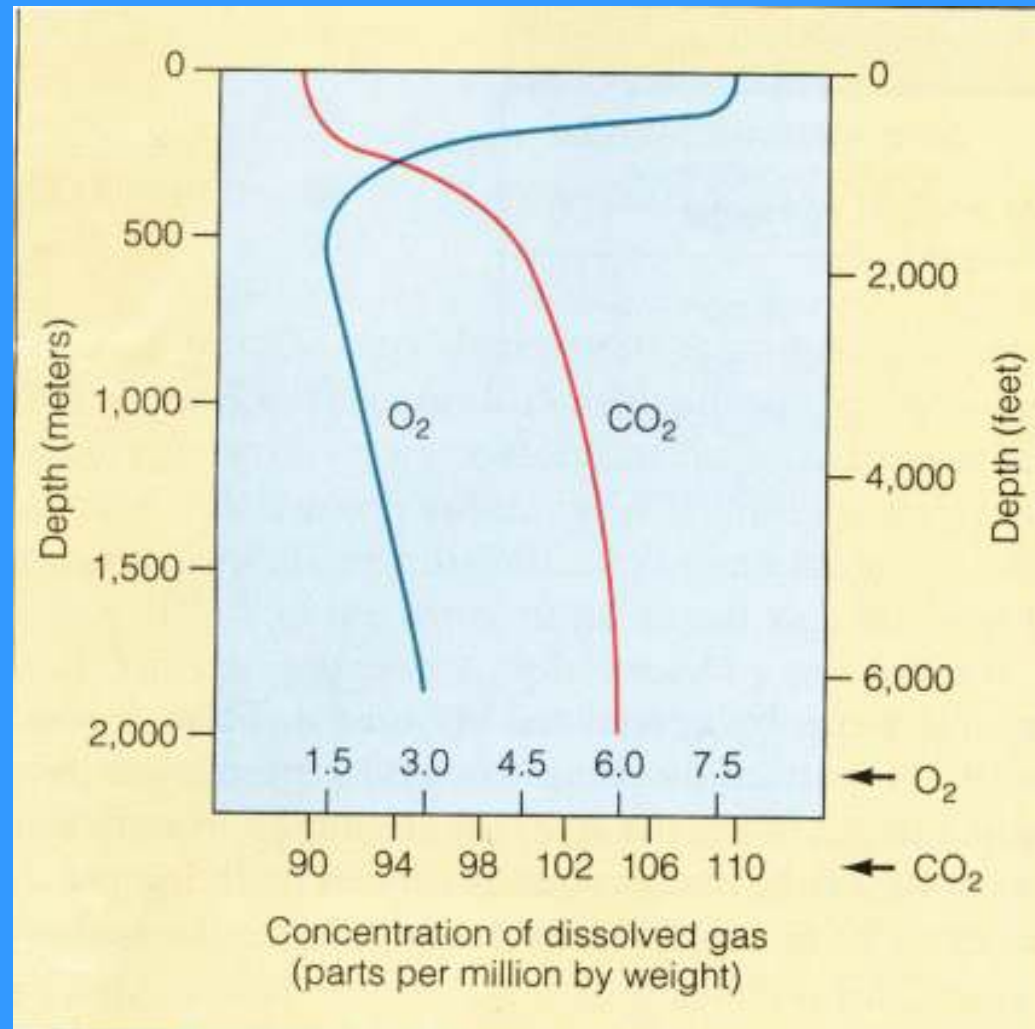
Algo de Química Oceánica del CO₂

DIOXIDO DE CARBONO

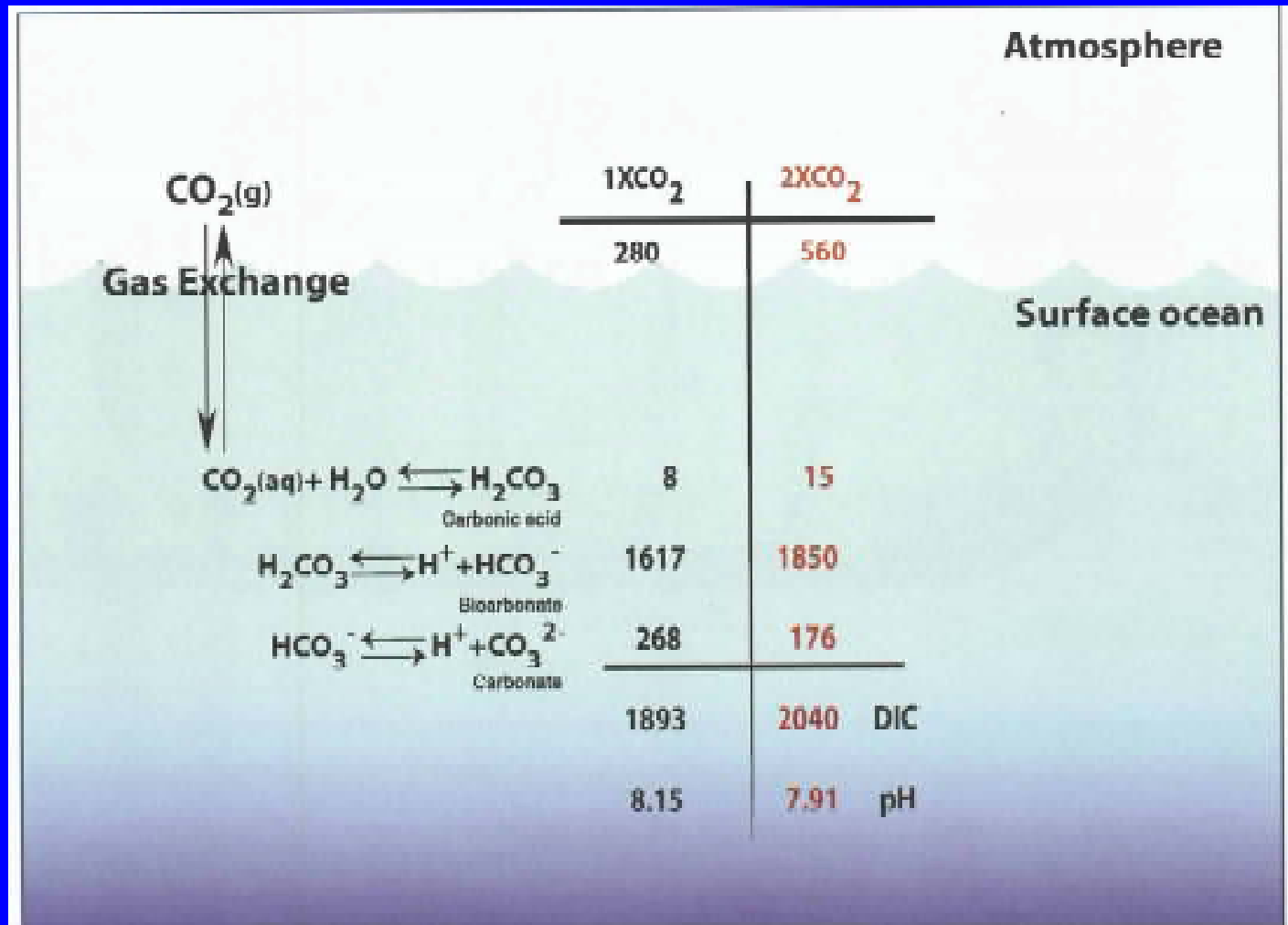
Se combina con el agua para formar ácido carbónico

Océano: puede tener mil veces más CO_2 que N u O antes de la saturación

Hay 50 veces más que en la atmósfera



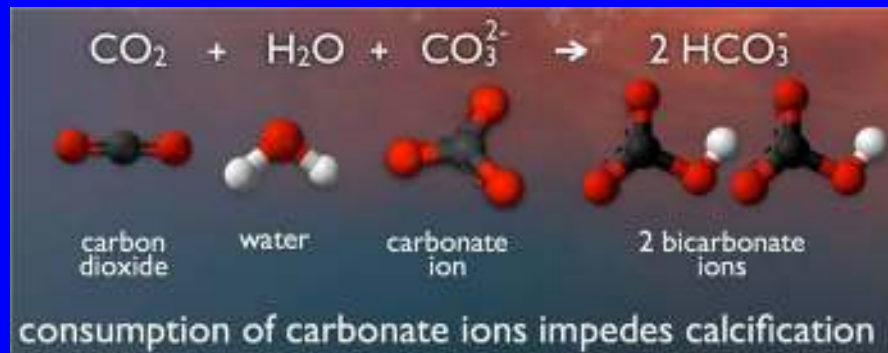
Sistema del CO₂ en el agua de mar



Acidificación

- El pH de las aguas superficiales ha decrecido ya 0.10 unidades, desde un promedio de 8.21 hasta 8.11 desde el comienzo de la era industrial. A mediados de este siglo, el CO_2 atmosférico alcanzaría unas 500 ppm, y hacia finales del siglo sobrepasaría las 800 ppm. Esto resultaría en una disminución del pH en la capa superior del mar de 0.3 unidades en 2100, un 150% más ácido que a comienzos de la revolución industrial.
- Este aumento del CO_2 antropogénico es absorbido por el agua de mar, provocando reacciones químicas que reducen el pH y la concentración del ion carbonato en un proceso comúnmente llamado acidificación oceánica. El carbonato es básico para la construcción de los esqueletos y valvas para una gran cantidad de organismos marinos como corales, bivalvos y plancton.

Acidificación del océano



Qué le ocurre a la valva del pterópodo en agua de mar con el pH y los niveles de carbonato proyectados para 2100.
Se disuelve en 45 días

Variaciones:

Zona fótica: consumo de CO_2 , pH aumenta. Zona más cálida, poca disolución gas, pH 8.5

Profundidad media: respiración, producción de CO_2 , pH disminuye

En profundidad: frío, no hay fotosíntesis, cada vez más ácida

Debajo de 4500 m: pH 7.5 (lisoclina)

Piso oceánico: hasta 7, reducción de sulfatos

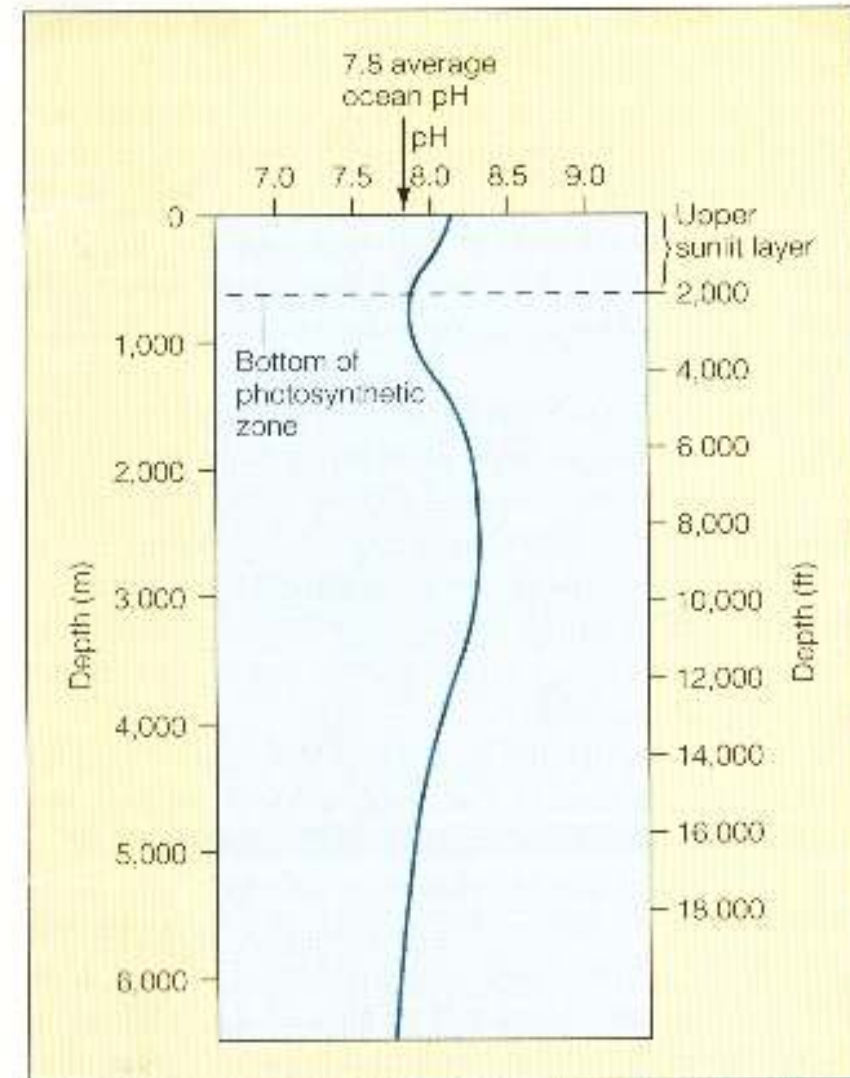


Figure 6.13 The variation in pH with depth.

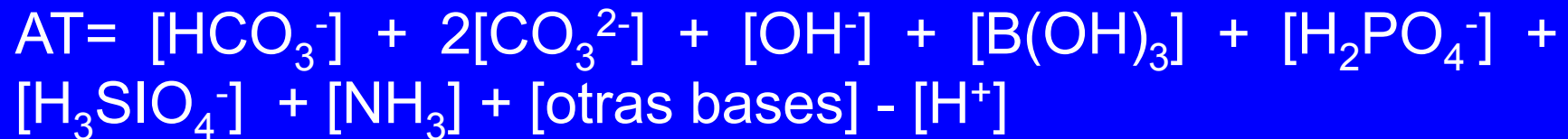
CO₂ total: TCO₂ ó $\sum \text{CO}_2$,



↙ ↘
Medibles

↘ ↓ ↙
Calculados a partir de
consideraciones termodinámicas

Alcalinidad total: medida de la capacidad de la solución (agua de mar) para neutralizar un ácido fuerte. Cantidad de iones hidrógeno necesaria para convertir todos los aniones de ácidos a formas no ionizadas



En el mar, carbonato y bicarbonato son 1000 veces mayores que los demás iones:

Alcalinidad por carbonatos:

$$AC=[\text{HCO}_3^-]+2[\text{CO}_3^{2-}]$$

Y como son las formas más abundantes del C, TCO_2 se puede simplificar:

$$\text{TCO}_2=[\text{HCO}_3^-]+[\text{CO}_3^{2-}]$$

Y combinando:

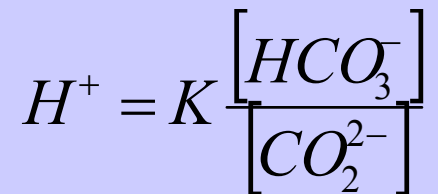
$$AC-\text{TCO}_2=[\text{CO}_3^{2-}]$$

Sólo es necesario medir alcalinidad y carbono disuelto total

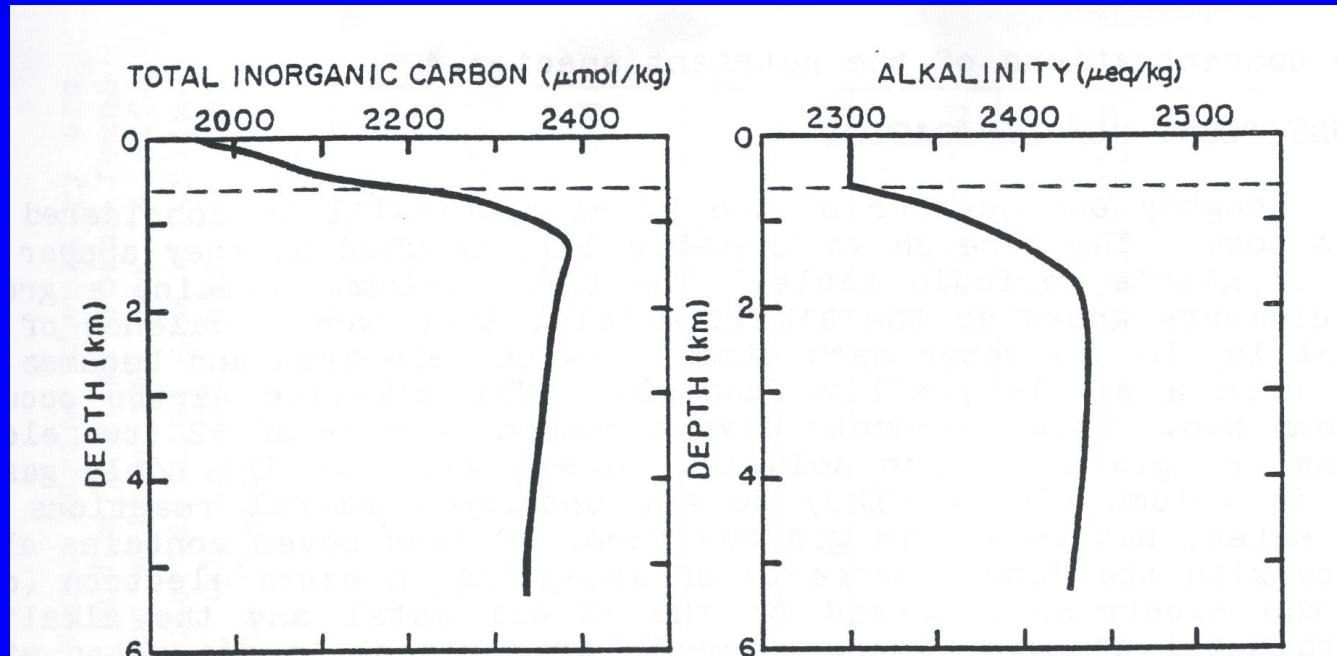
AC: sale de AT (titulación), pH, S y una K (tablas)

TCO₂: acidificando la muestra y determinando el CO₂ liberado con analizador de gas infrarrojo, cromatografía de gases.

La fotosíntesis consume CO₂ y aumenta el pH del medio sin alterar la alcalinidad. Si TCO₂ aumenta, aumenta la razón del ión bicarbonato al carbonato:



Aumenta H⁺, disminuye pH, pero la suma total de los carbonatos se mantiene



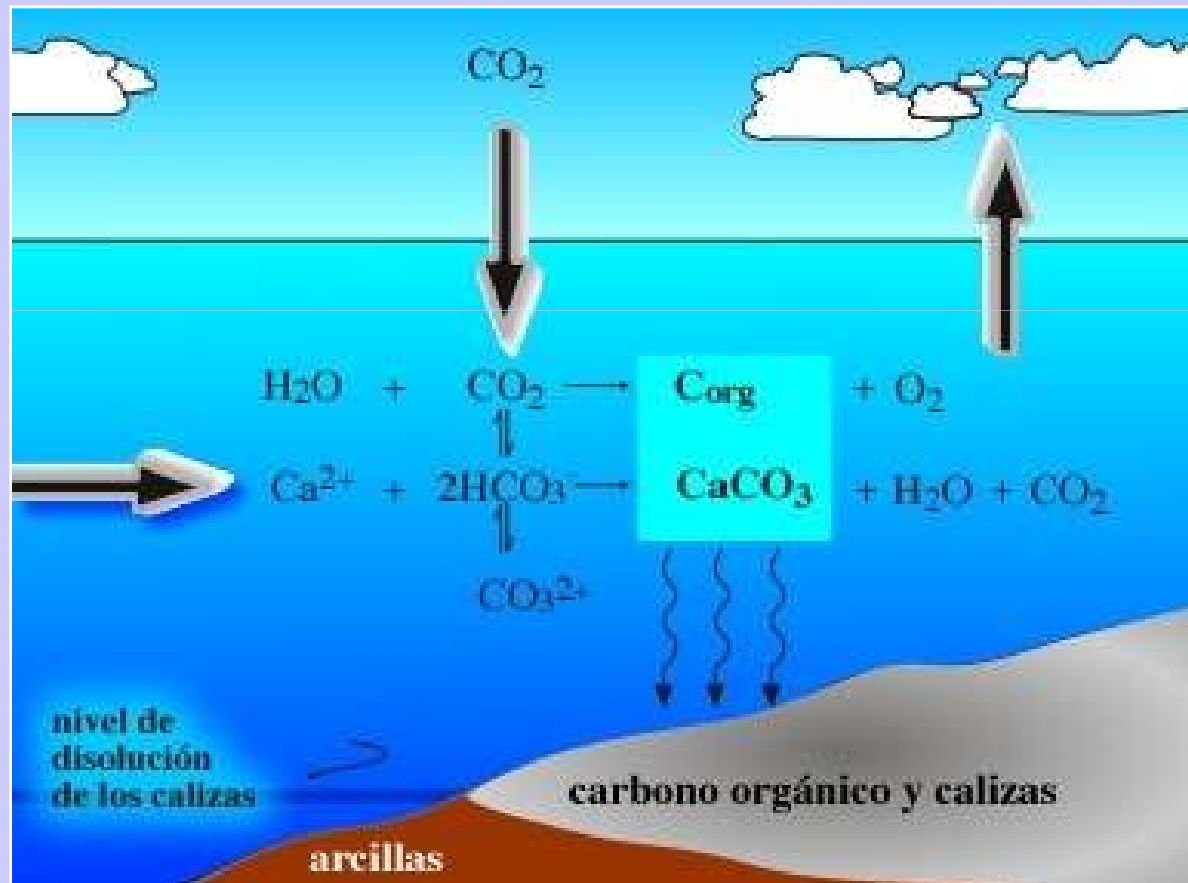
TCO₂ mayor a profundidad

Alcalinidad es baja en superficie (extracción de cationes, calcificación)

Disolución de calcita en profundidad, con pH ácido

- TCO_2 conduce a mayor disolución de calcita (Pacífico > Atlántico)
- Disolución: principalmente en el piso oceánico
- Lisoclina: profundidad en la columna de agua donde empieza disolución de carbonatos ($[\text{CO}_3^{2-}]$, profundidad)

OJO: Diferentes escalas de tiempo para las reacciones



Feely et al, 2001

Capacidad de captura de CO₂ del océano

- Si el CO₂ disuelto en el mar, no tuviese reacciones químicas consecuentes como la mayoría de los otros gases, un 70% del CO₂ antropogénico emitido permanecería en la atmósfera. Sin embargo, la capacidad de capturar del océano es fuertemente aumentada por la reacción del ion carbonato para formar bicarbonato, por lo cual, la concentración del carbonato es determinante principal de la capacidad de captura del océano

Como vimos antes, el ion [CO₃²⁻] está estrechamente ligado al sistema del carbono inorgánico en el agua de mar

Algunos hechos sobre el rol del fitoplancton (biología) en el ciclo global del carbono

- Un océano abiótico podría tener una $p\text{CO}_2$ mucho mayor de los actuales valores (~450 ppm; Shaffer, 1993)
- El stock de Clorofila en el océano es ~ 1 Giga ton (10^{15}g o PG) C
- La producción primaria global anual media es ~50-60 Giga tons C (Longhurst et al., 1995; Antoine et al., 1996; Behrenfeld and Falkowski, 1997; Behrenfeld et al., 2005; Carr et al., 2006)
- La exportación sería ~20% de la producción total (p.ej., Laws et al., 2000), i.e., ~10 Giga tons C

¿Por qué observar la clorofila (fitoplancton) en el contexto de la variabilidad del CO₂ oceánico ?

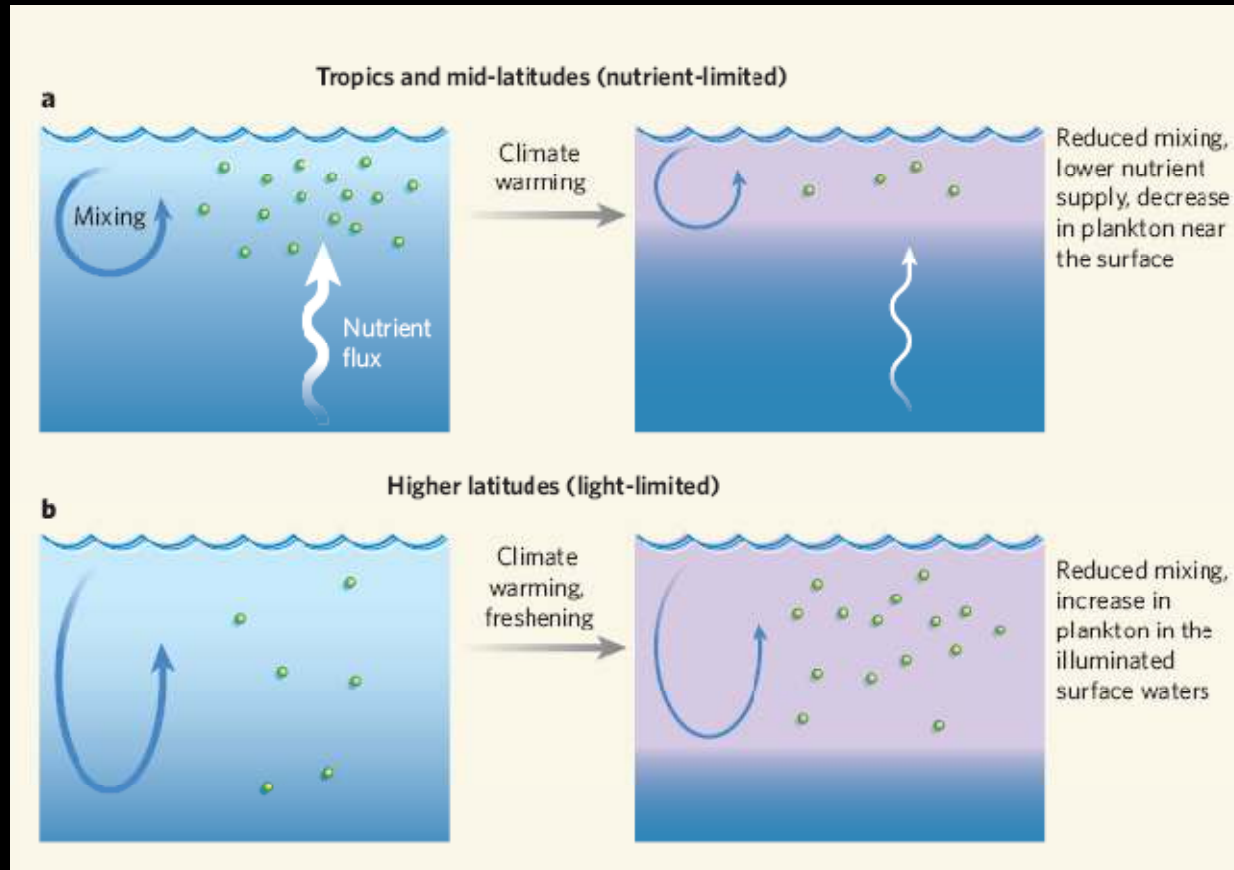


Figura de Doney S., 2006, *Nature*, 444, 695-696.

La bomba biológica es definitivamente afectada por cambios en la estratificación, la circulación y la temperatura del océano

Al igual que los flujos de CO₂ en la interface aire-mar y también desde la superficie hasta el océano profundo.

¿Cuál es el balance entre estos 2 efectos opuestos ?

¿Existen otros mecanismos físicos actuando en la dirección de un aumento o disminución de la clorofila ?

Los frentes

- Los cambios abruptos en las propiedades de las masas de agua definen frentes oceánicos.
- En los frentes en general, existen probables mecanismos de surgencia asociados a la mezcla turbulenta vertical, que aportarían nutrientes a la capa eufótica favoreciendo la producción primaria.
- Por otra parte, de acuerdo a las imágenes satelitales de color del mar y los datos históricos, existen máximos de clorofila asociados a varios frentes.
- La respuesta biológica a los frentes para todos los niveles tróficos involucra la extrema sensibilidad del ecosistema oceánico a los movimientos verticales.
- La fotosíntesis realizada por el fitoplancton es un mecanismo de secuestro de CO_2 por parte del océano superficial.
- Consecuentemente, los flujos de CO_2 mar-atmósfera estarán relacionados con la respuesta del fitoplancton a la dinámica del sistema frontal.

Los actores de la película



Phytoplankton
Imagen tomada de la Universidad de Liverpool



zooplankton

Propiedades del agua

Temperatura, salinidad Su distribución vertical y horizontal

“From a drop of water, a logician could infer the possibility of an Atlantic or a Niagara without having seen or heard of one or the other”

Sherlock Holmes in “A study in Scarlet”, by A. Conan Doyle

Table 1.1 Anomalous physical properties of liquid water.

Property	Comparison with other substances	Importance in physical/biological environment
specific heat ($=4.18 \times 10^3 \text{Jkg}^{-1}\text{°C}^{-1}$)	highest of all solids and liquids except liquid NH_3	prevents extreme ranges in temperature; heat transfer by water movements is very large; tends to maintain uniform body temperatures
latent heat of fusion ($=3.33 \times 10^5 \text{Jkg}^{-1}\text{°C}^{-1}$)	highest except NH_3	thermostatic effect at freezing point due to the absorption or release of latent heat
latent heat of evaporation ($=2.25 \times 10^6 \text{Jkg}^{-1}$)	highest of all substances	large latent heat of evaporation is extremely important in heat and water transfer within the atmosphere
thermal expansion	temperature of maximum density decreases with increasing salinity; for pure water it is at 4°C	freshwater and dilute seawater have their maximum density at temperatures above the freezing point; the maximum density of normal seawater is at the freezing point
surface tension ($=7.2 \times 10^9 \text{Nm}^{-1}$)*	highest of all liquids	important in the physiology of the cell; controls certain surface phenomena and the formation and behaviour of drops
dissolving power	in general dissolves more substances and in greater quantities than any other liquid	obvious implications in both physical and biological phenomena
dielectric constant** ($=87$ at 0°C , 80 at 20°C)	pure water has the highest of all liquids except H_2O_2 and HCN	of utmost importance in the behaviour of inorganic dissolved substances because of the resulting high dissociation
electrolytic dissociation	very small	a neutral substance, yet contains both H^+ and OH^- ions
transparency	relatively great	absorption of radiant energy is large in infrared and ultraviolet; in the visible portion of the energy spectrum there is relatively little selective absorption, hence pure water is 'colourless' in small amounts; characteristic absorption important in physical and biological phenomena
conduction of heat	highest of all liquids	although important on a small scale, as in living cells, the molecular processes are far outweighed by turbulent diffusion
molecular viscosity ($=10^{-3} \text{Nsm}^{-2}$)*	less than most other liquids at comparable temperature	flows readily to equalize pressure differences

*N = Newton = unit of force in kgms^{-2} .

**Measure of the ability to keep oppositely charged ions in solution apart from one another.

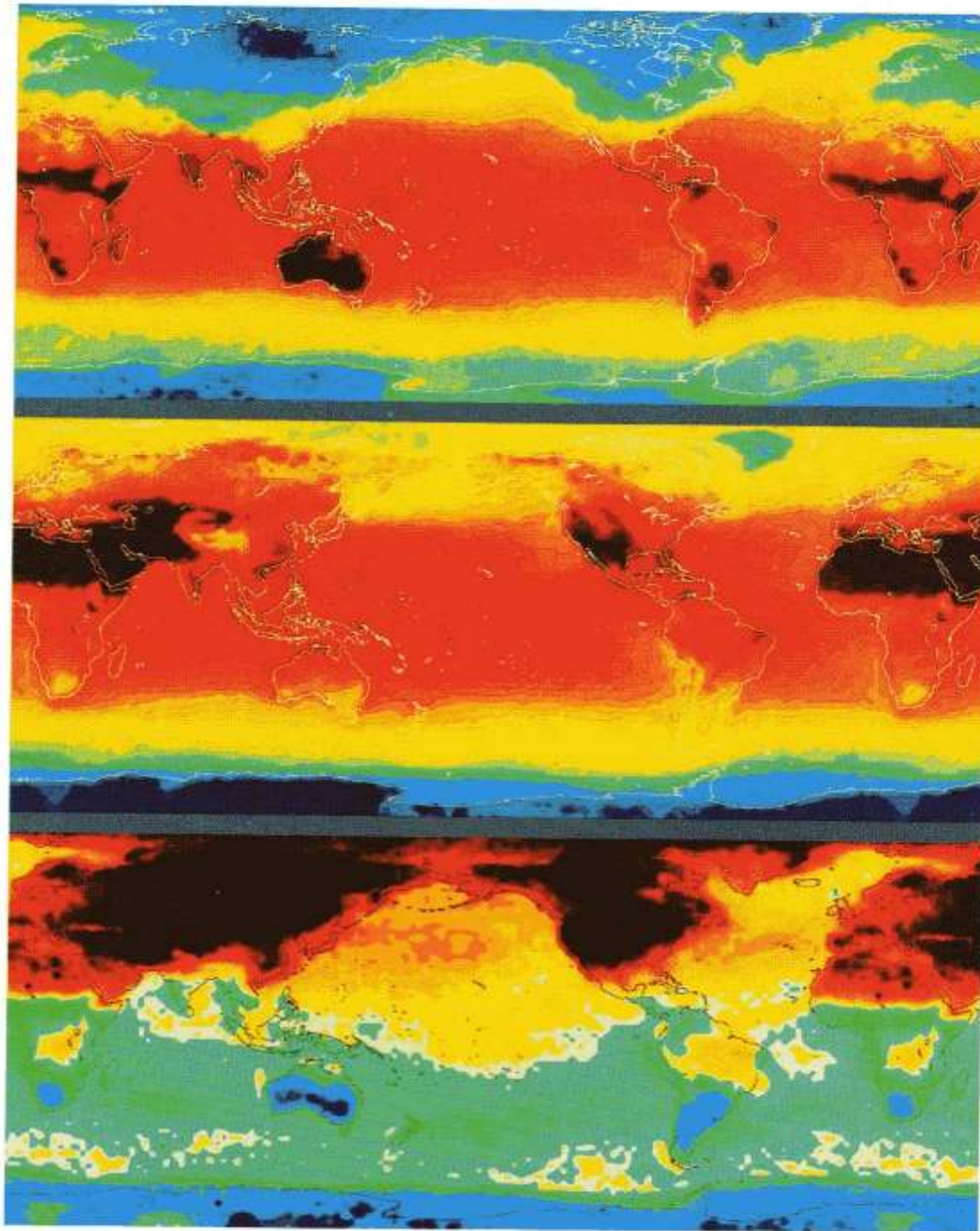
Notes to Table 1.1

Distribuciones de temperatura

Enero

Julio

Diferencias
Enero-Julio



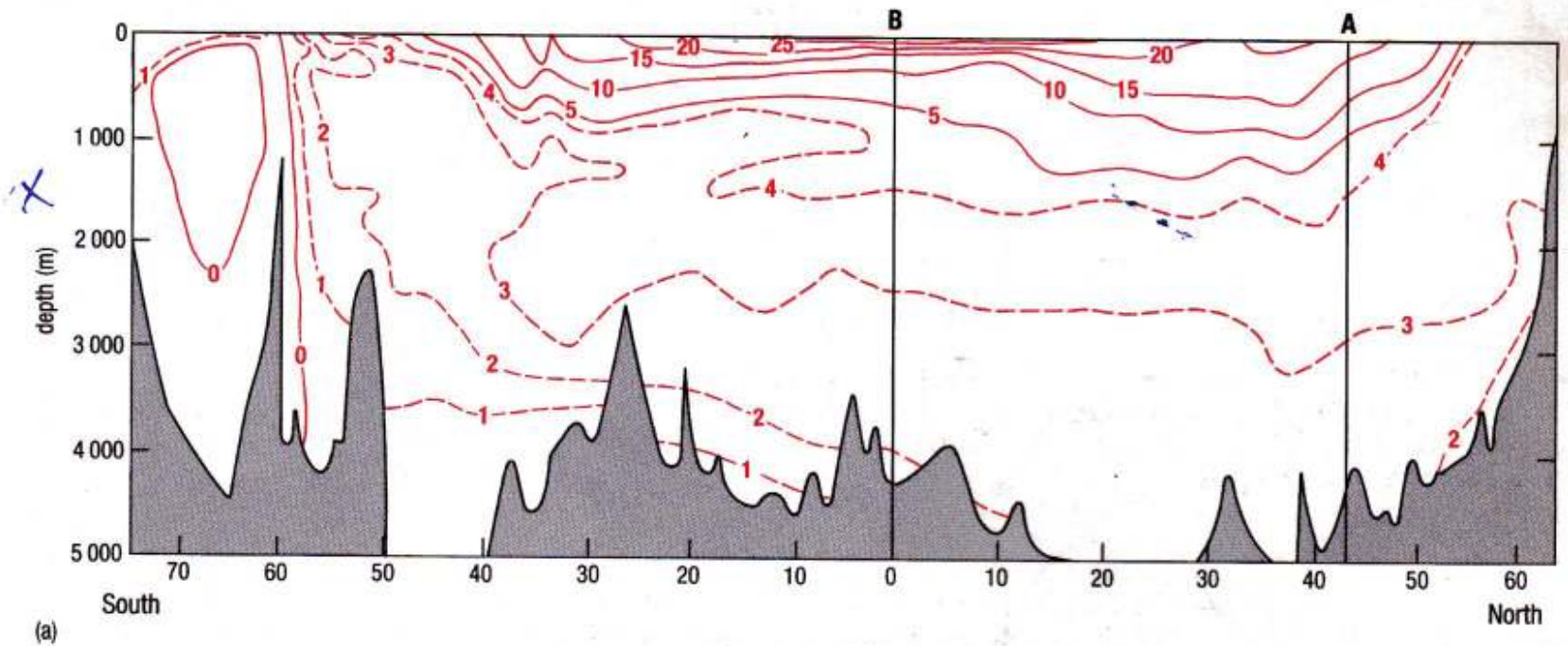
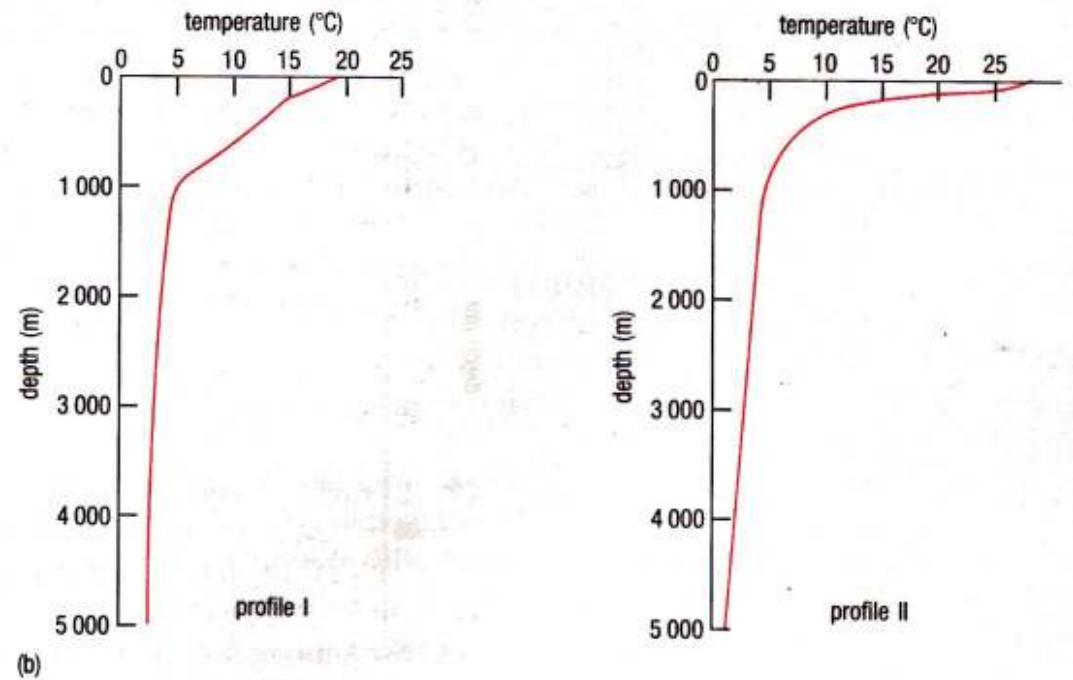
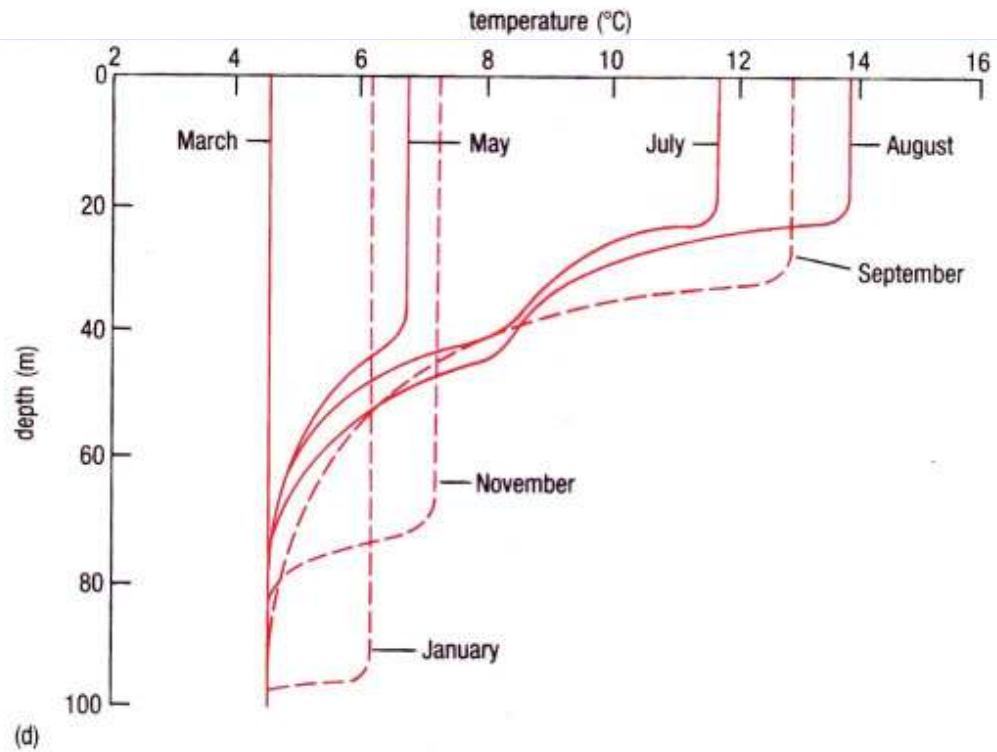
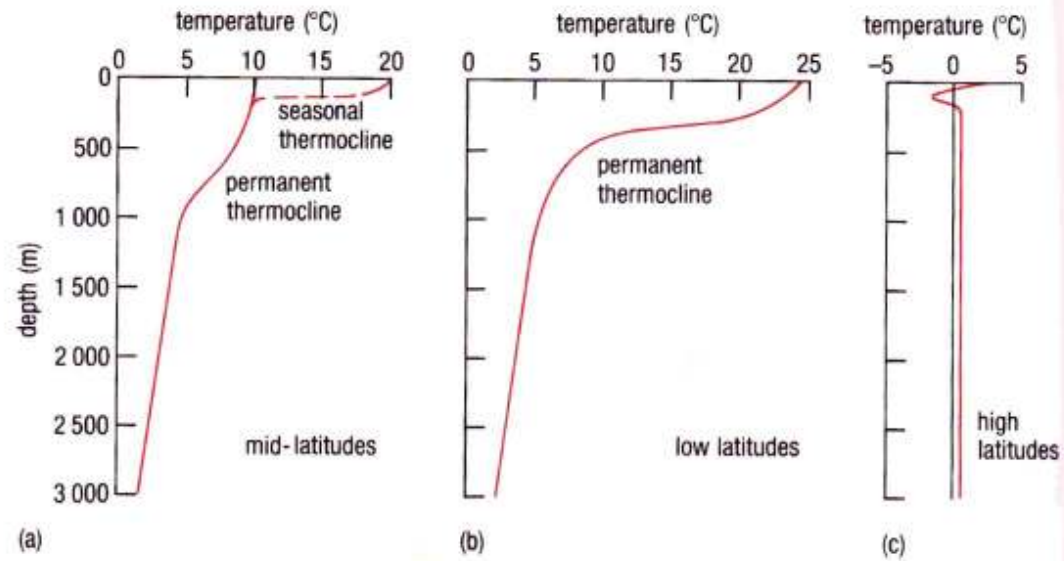


Figure 2.6 (a) A vertical section showing the mean distribution of temperature in the western Atlantic Ocean to illustrate that the range of temperature in surface layers is much greater than that in the main body of ocean water below 1 000 m. This general pattern is typical of all ocean basins (although the detail will vary from ocean to ocean). Note the great vertical exaggeration. Contours of equal temperature are called **isotherms**. Broken line isotherms 1 °C interval; solid lines 5 °C interval. The vertical lines A and B relate to Figure 2.6 (b) and are for use with Question 2.4.

(b) Temperature profiles along A and B in (a), for use with Question 2.4.





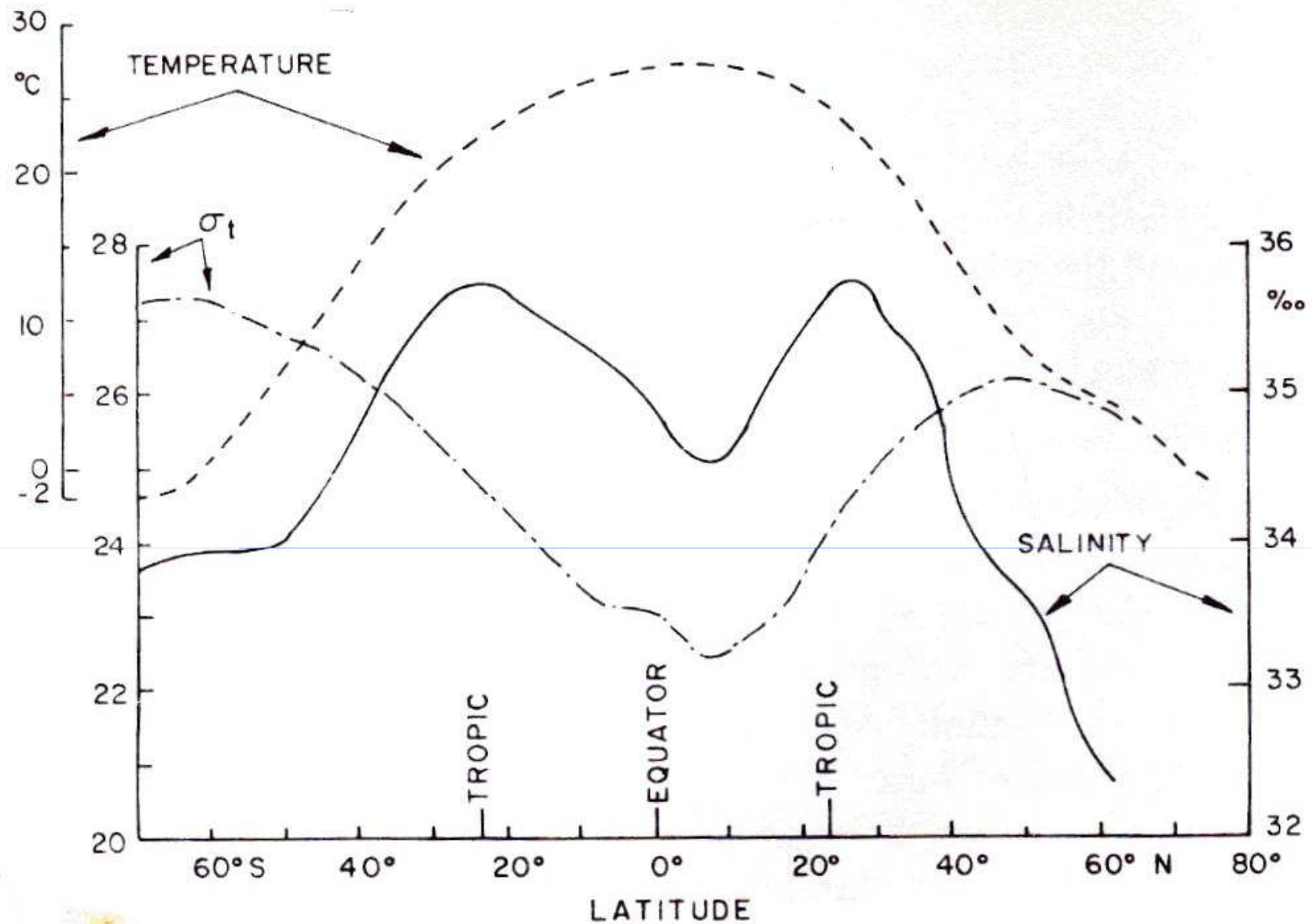


FIG. 4.1. Variation with latitude of surface temperature, salinity and density (σ_t)—average for all oceans.

Estabilidad de la columna de agua

Estabilidad estática

- Para evaluar la estabilidad vamos a considerar el grad. vertical de densidad (ρ).
- Se debe considerar la compresibilidad del fluido debida a los cambios.
- Se analiza una parcela de agua desplazada verticalmente sin intercambiar sal o calor con el medio
- Tres casos:
 - $\delta\rho/\delta z = 0$ ☐ neutra
 - > 0 ☐ estable
 - < 0 ☐ inestable

Las masas de agua

- El diagrama T-S y sus aplicaciones.
- El océano, los mares australes.
- La formación de las aguas de fondo
- Algo de oceanografía regional

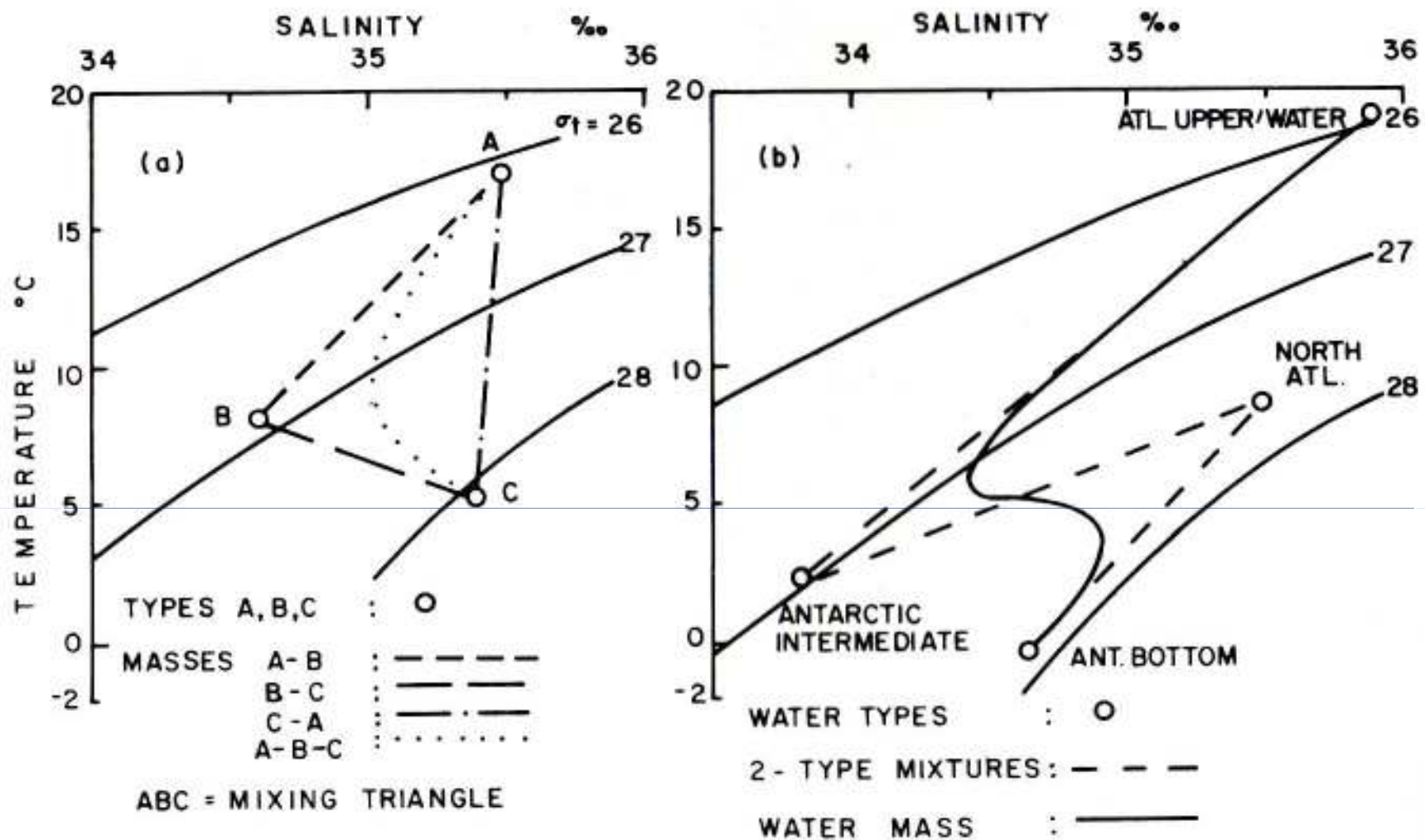


FIG. 6.8. (a) T-S diagram showing three water types and four water masses, (b) example of realistic T-S water mass diagram (Atlantic) and basic water types.

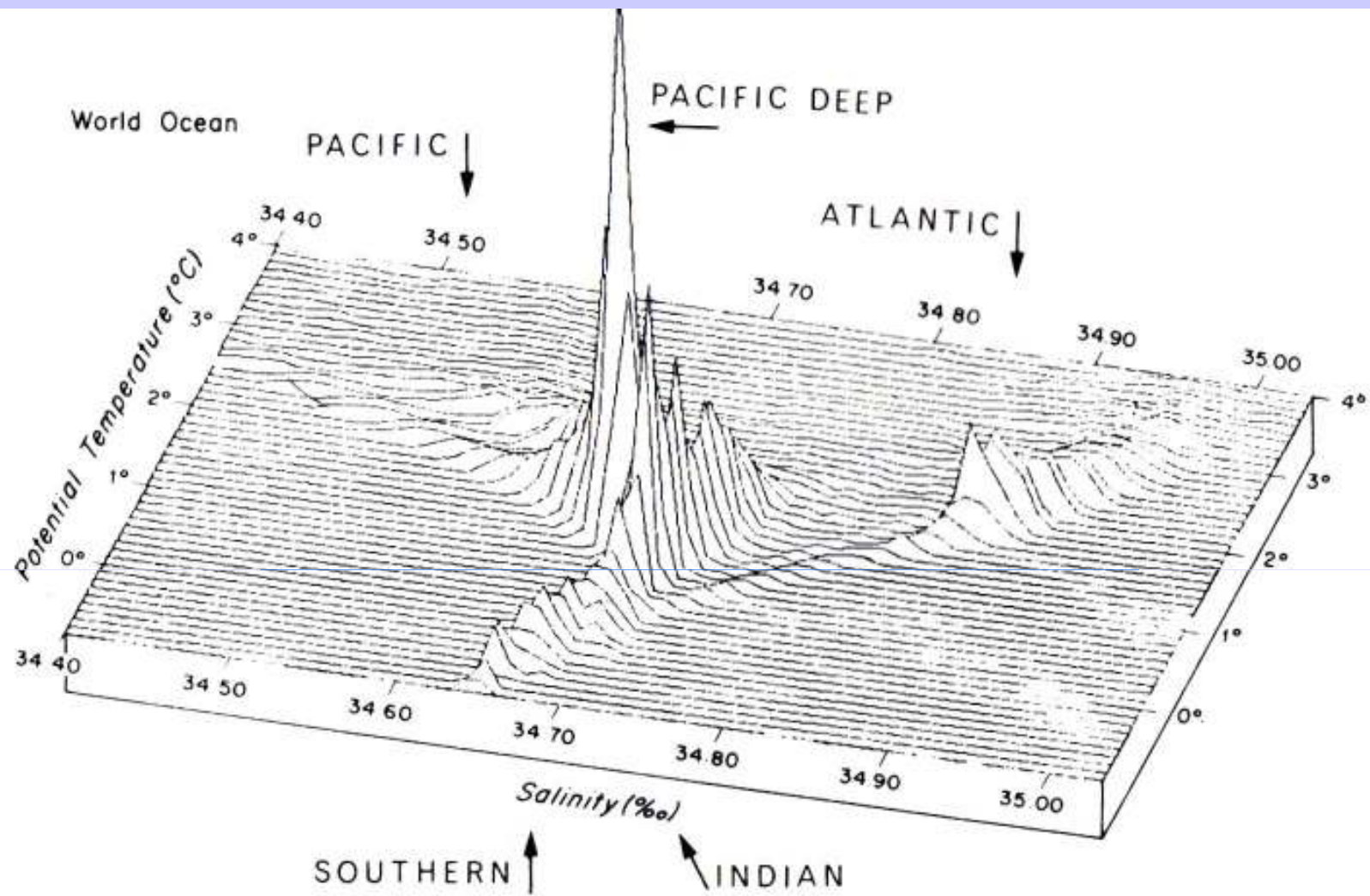
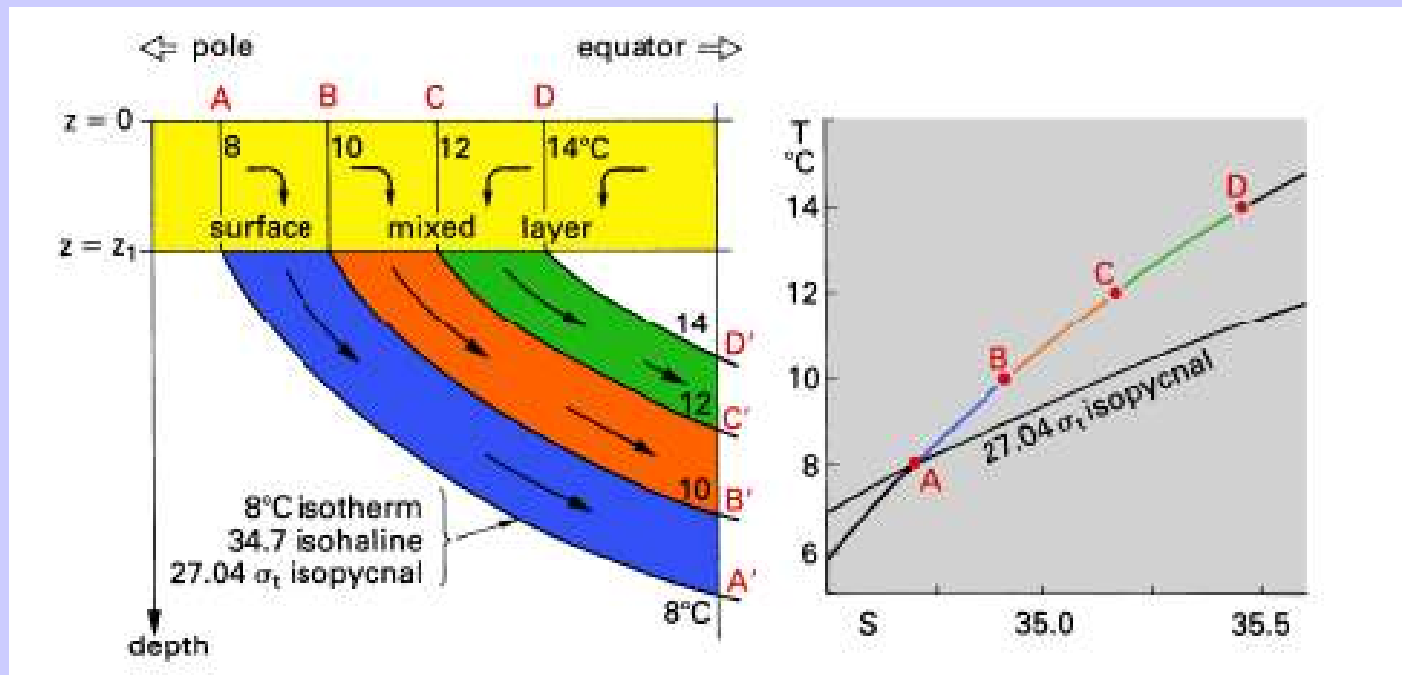


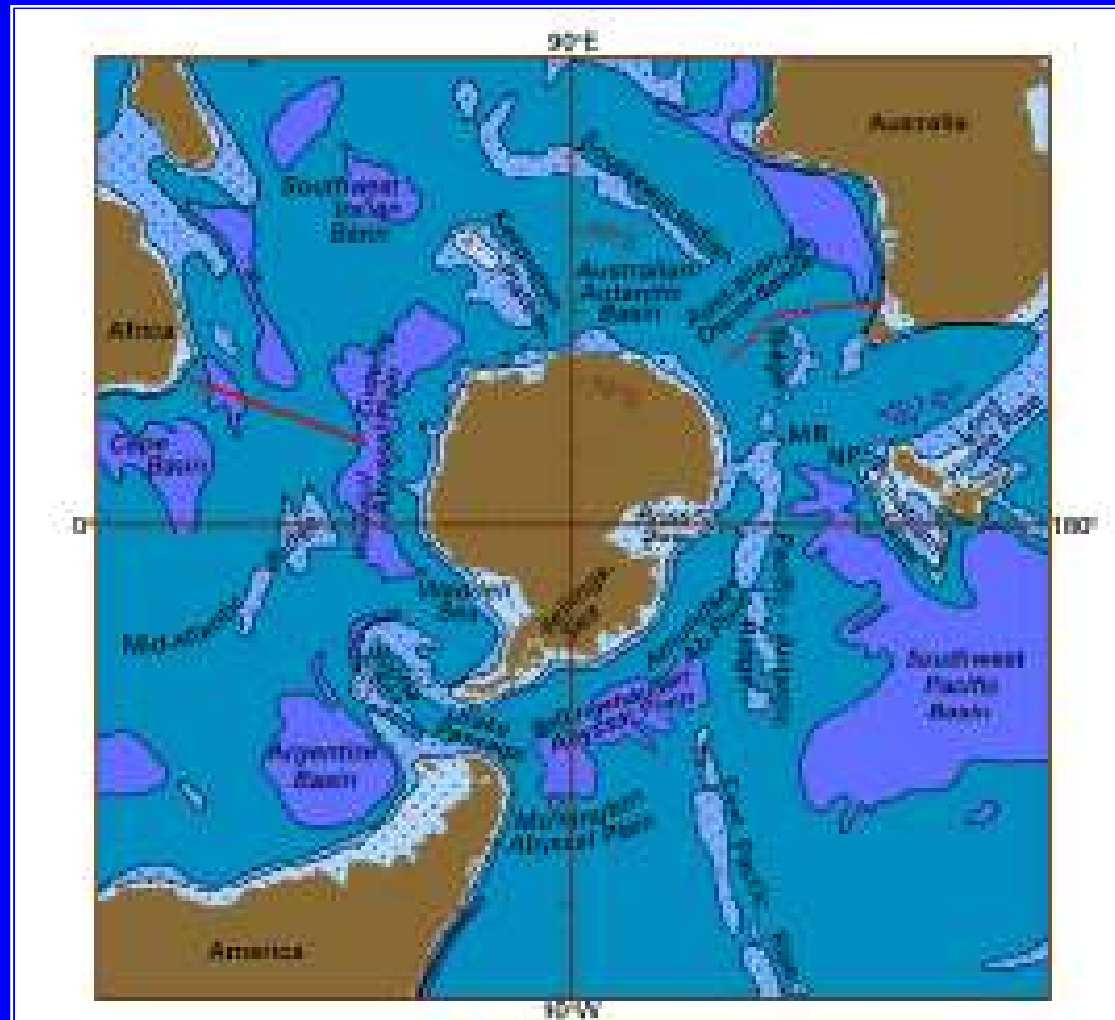
FIG: 6.11. Simulated three-dimensional T-S-V diagram for the cold water masses of the World Ocean.

Algunos conceptos básicos relacionados con las masas de agua

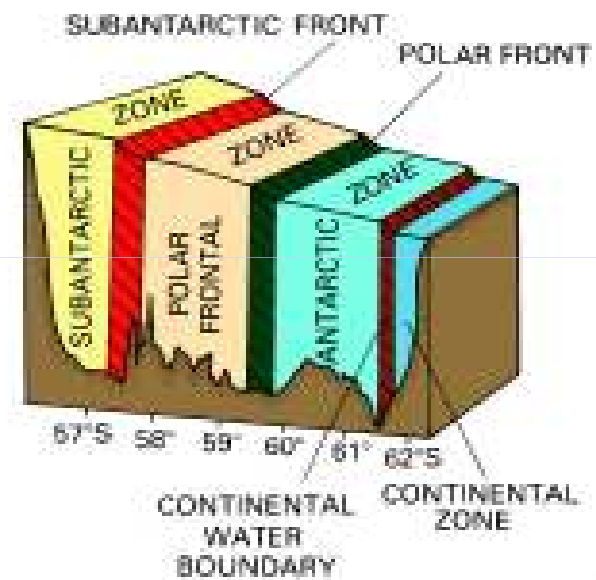
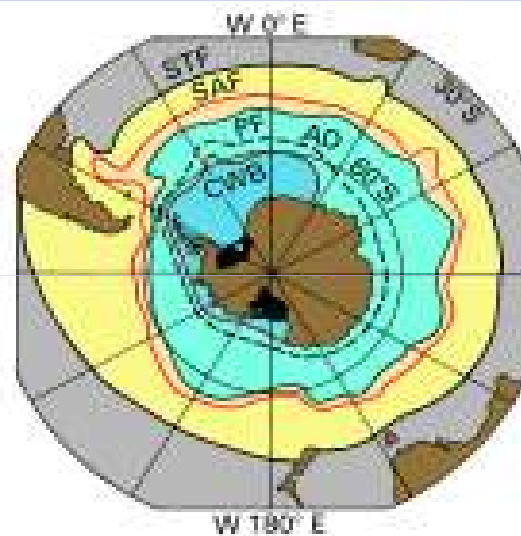


Océanos Australes

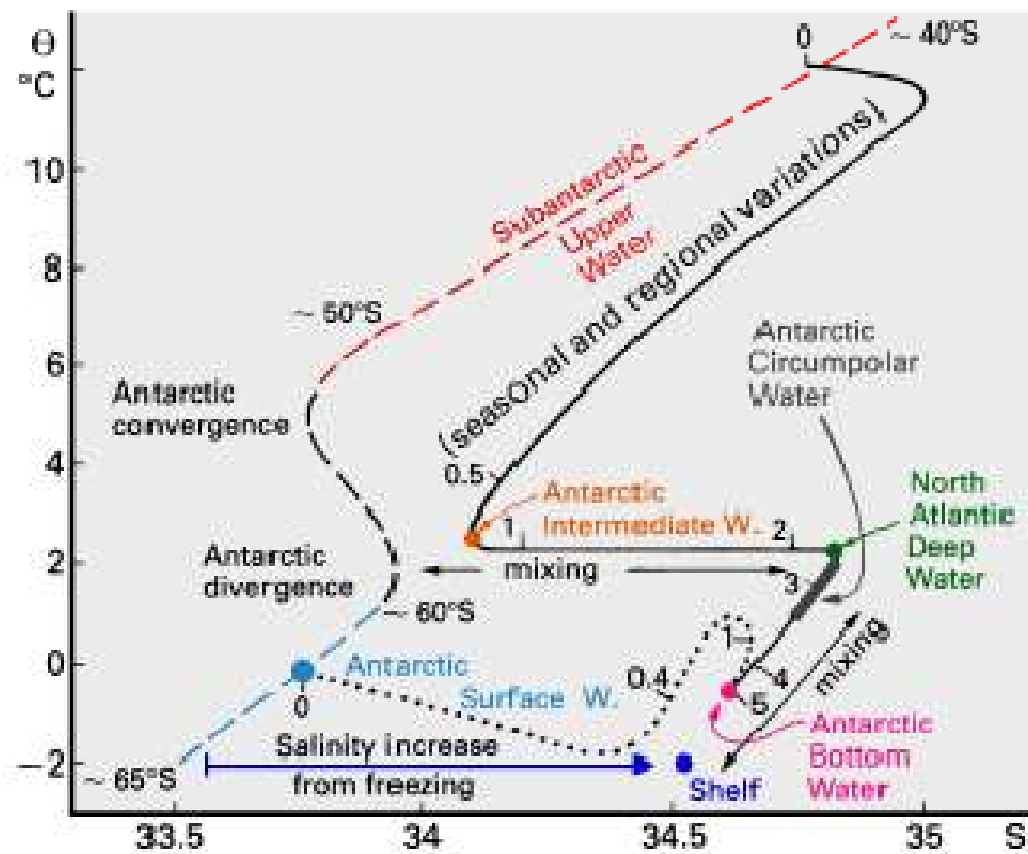
Topografía de fondo



“Zonation” de los océanos australes



Diagramas T-S de las regiones subantártica (SAZ) y Antártica y de una línea superficial que atraviesa el FP y la divergencia Antártica



La formación del Agua de Fondo Antártica

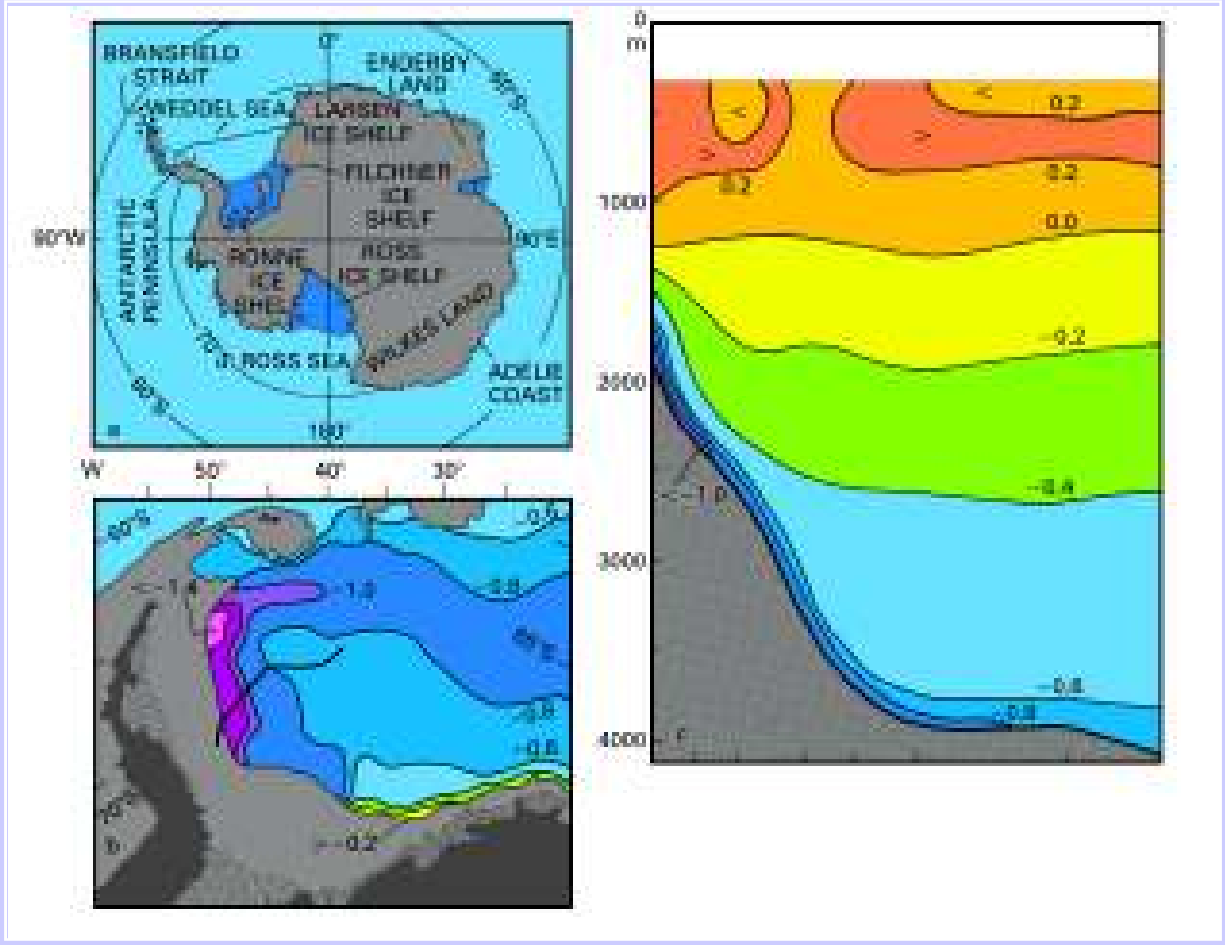
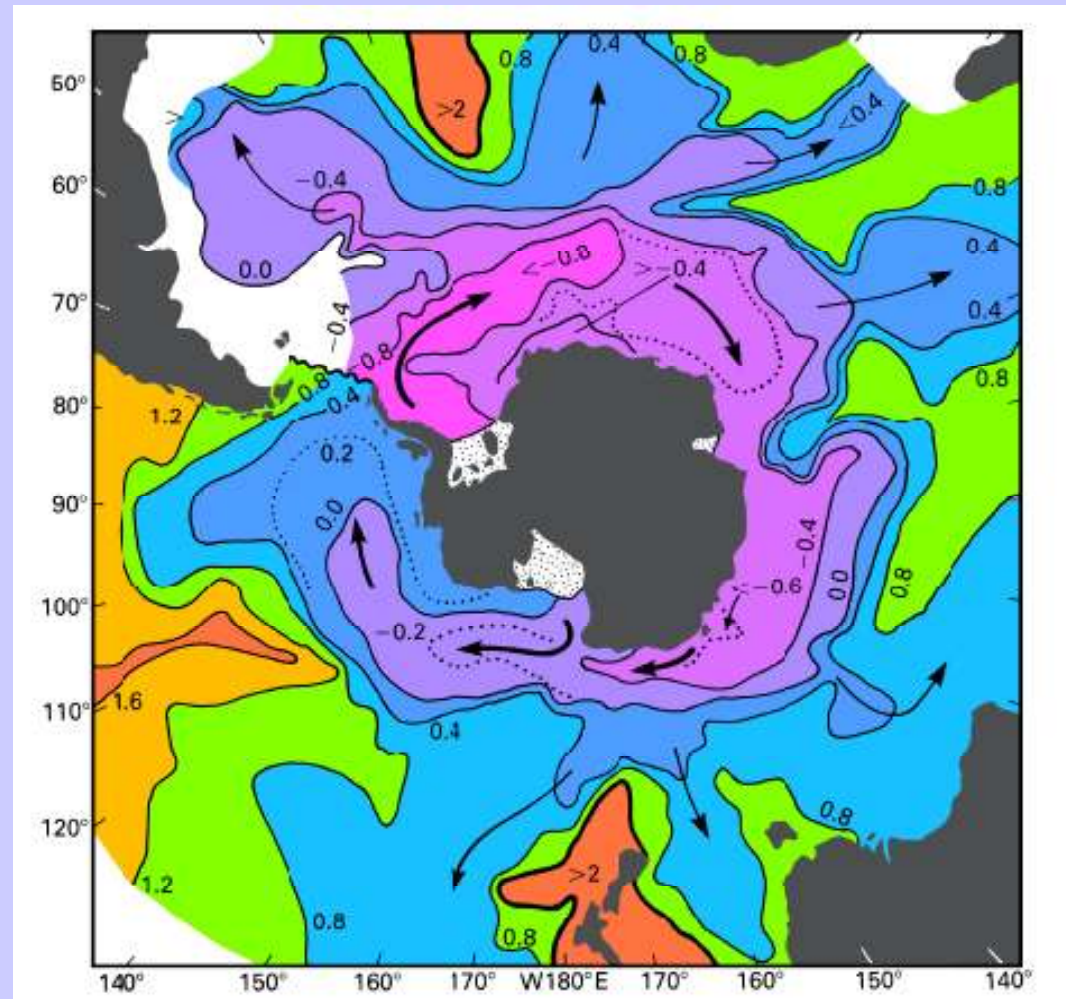
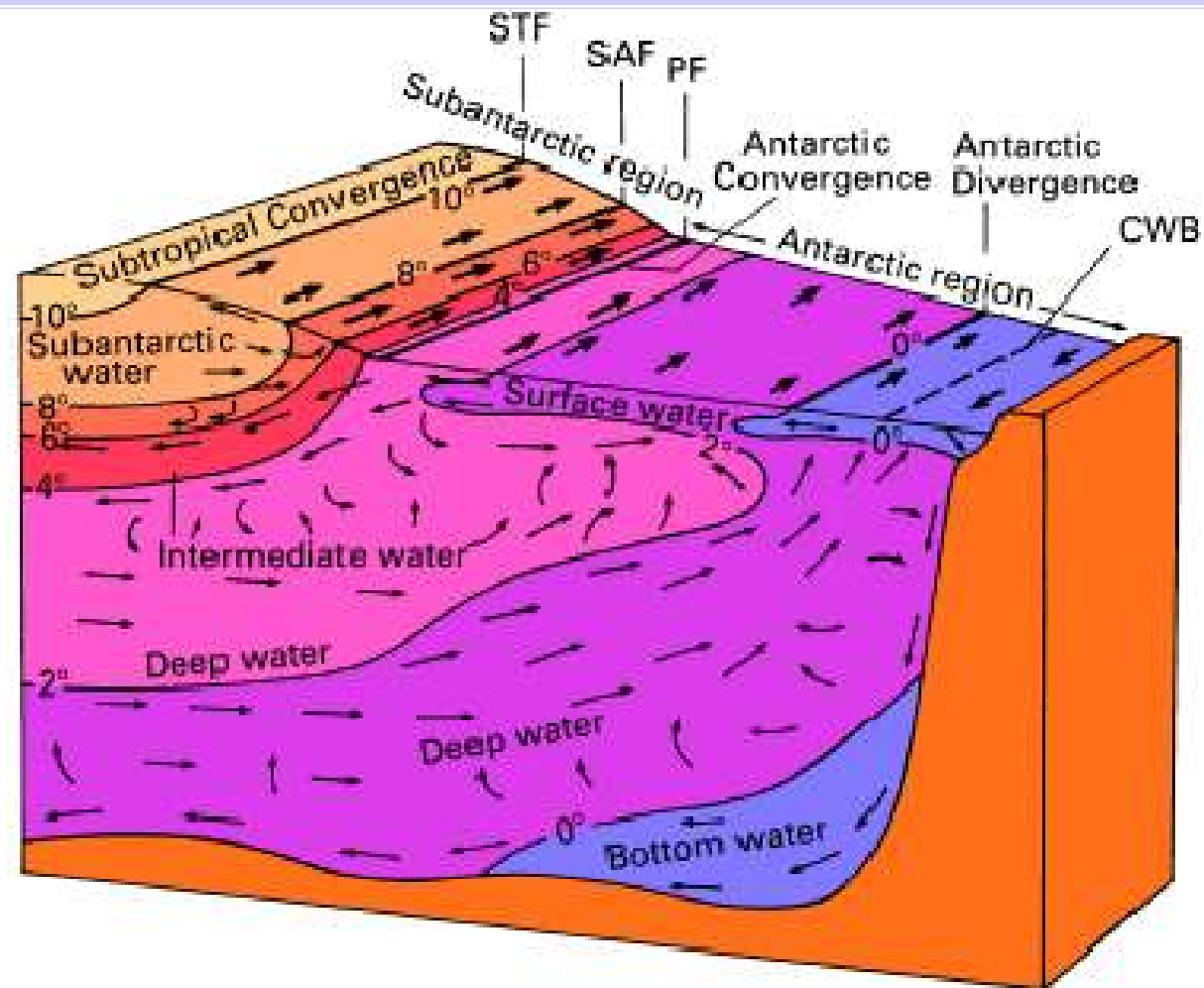


Fig.8: Procesos que intervienen en la conversión y formación de masas de agua antárticas. El Mar de Weddell

Temperatura potencial de fondo. Las flechas indican movimientos inferidos del AFA. Observar que a mayor profundidad de los umbrales corresponden menores temperaturas



Clásica representación de la circulación y masas de agua del océano austral Sverdrup et al (1942)



Cuencas del Océano Atlántico

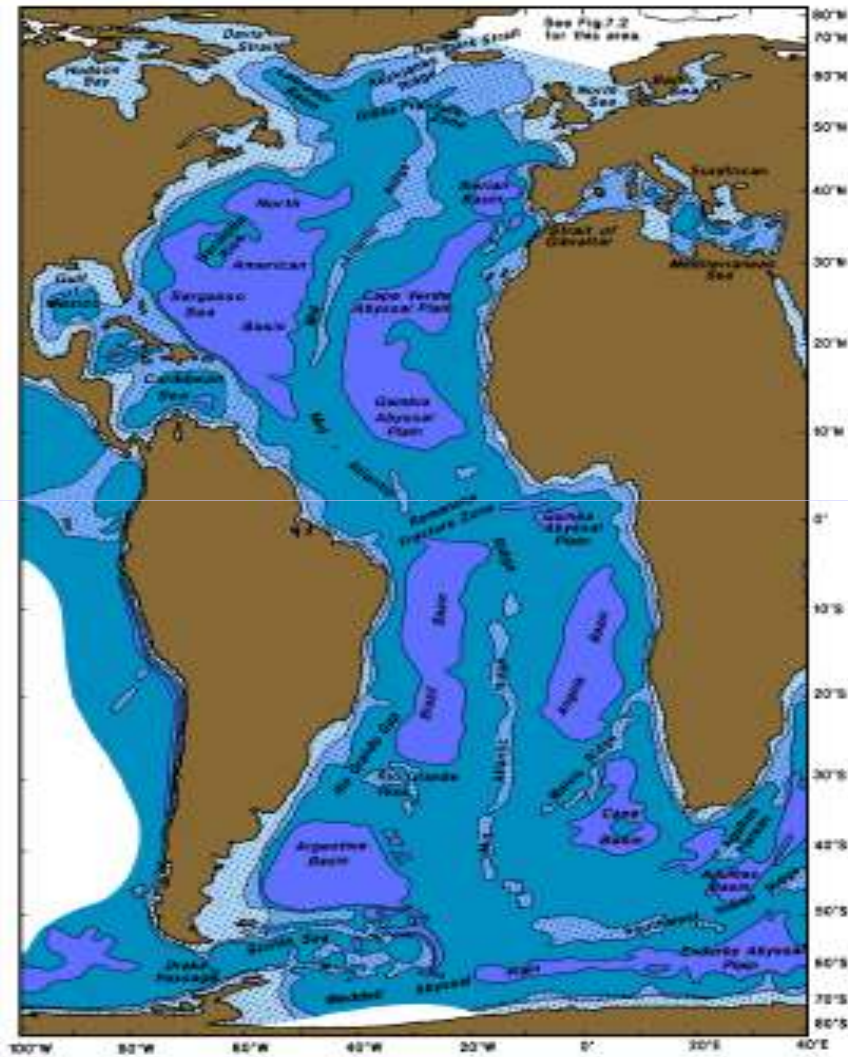
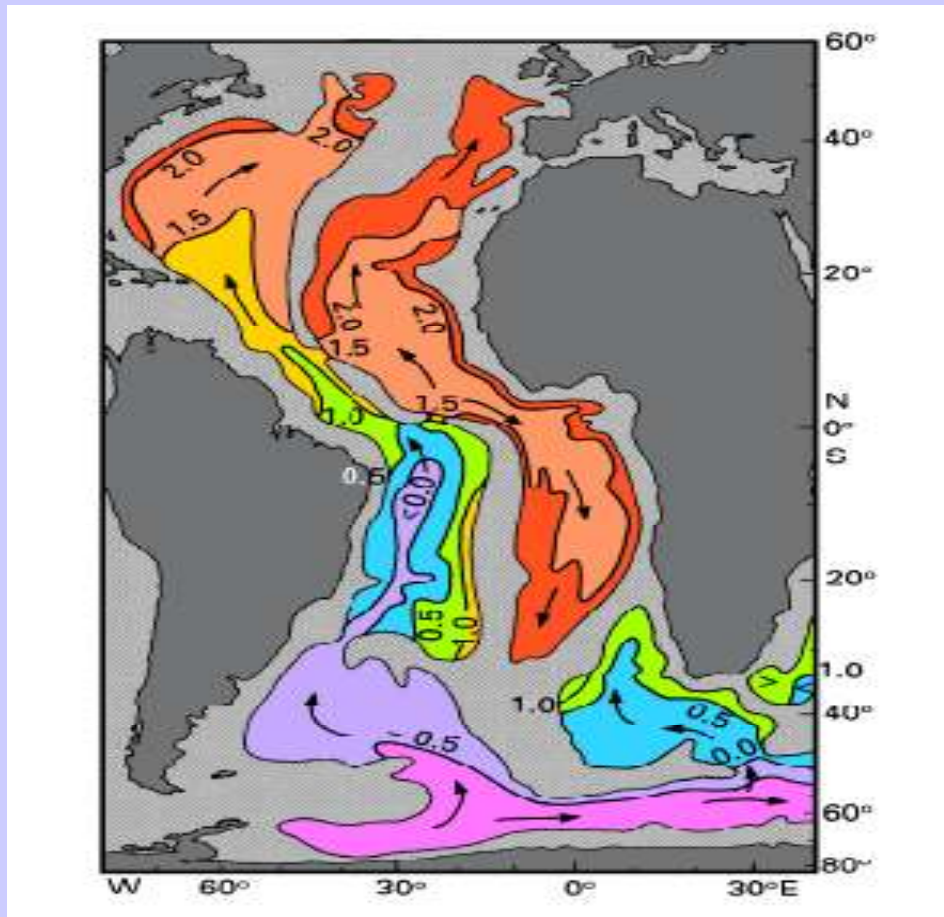


Fig. 14.1. Topography of the Atlantic Ocean. The 1000, 3000, and 5000 m isobaths are shown, and regions less than 3000 m deep are shaded.

Masas de agua del Océano Atlántico



Temperatura potencial del agua por debajo de los 4000m de profundidad (inferida de la circulación del AFA, Wust, 1936)

Transportes de volumen meridionales en el Atlántico Sur

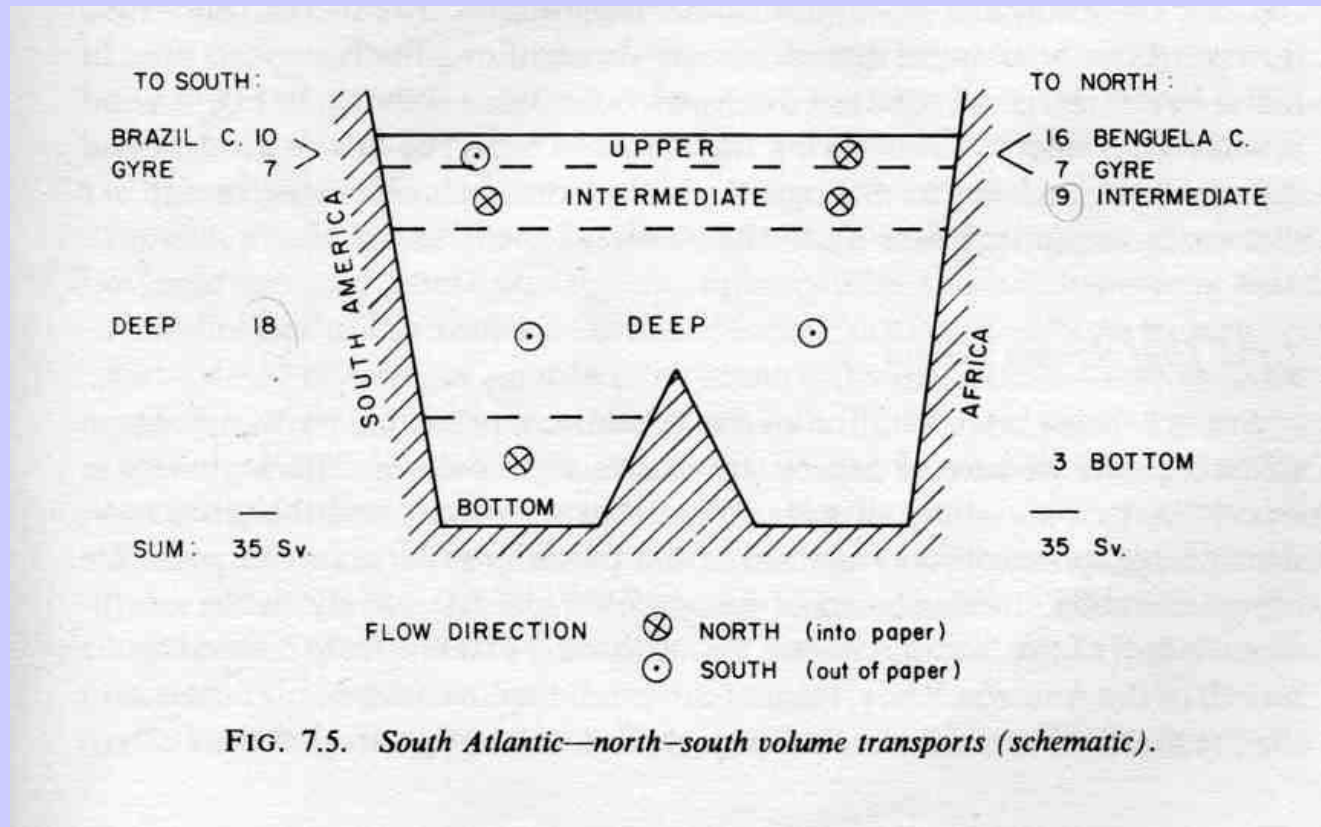
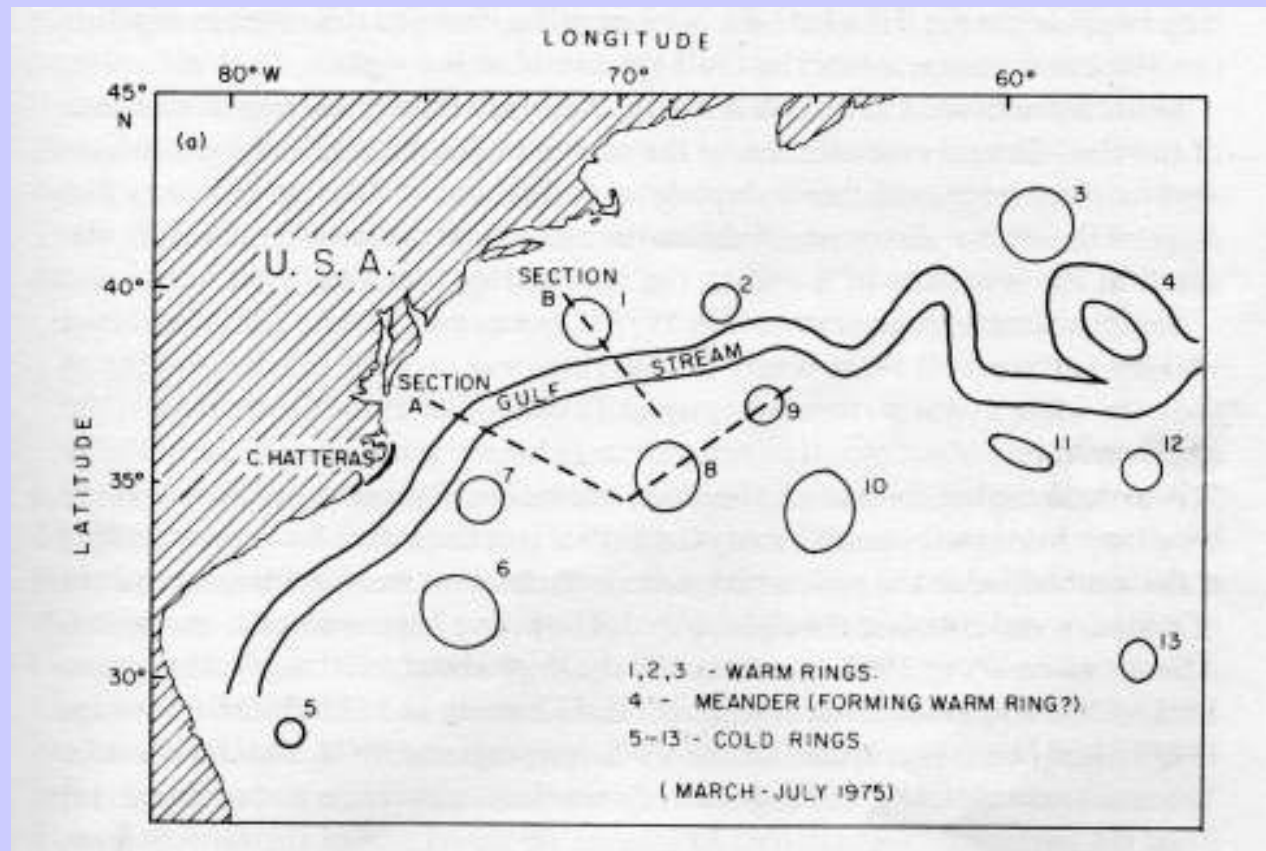


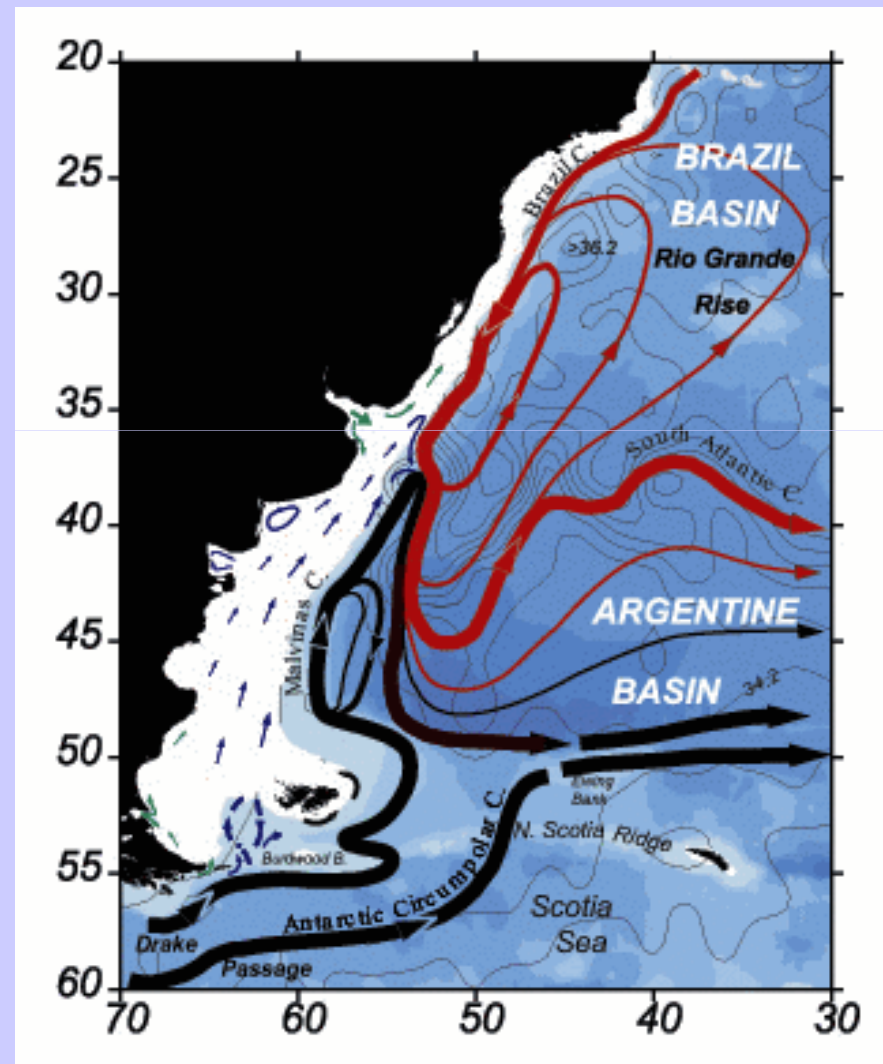
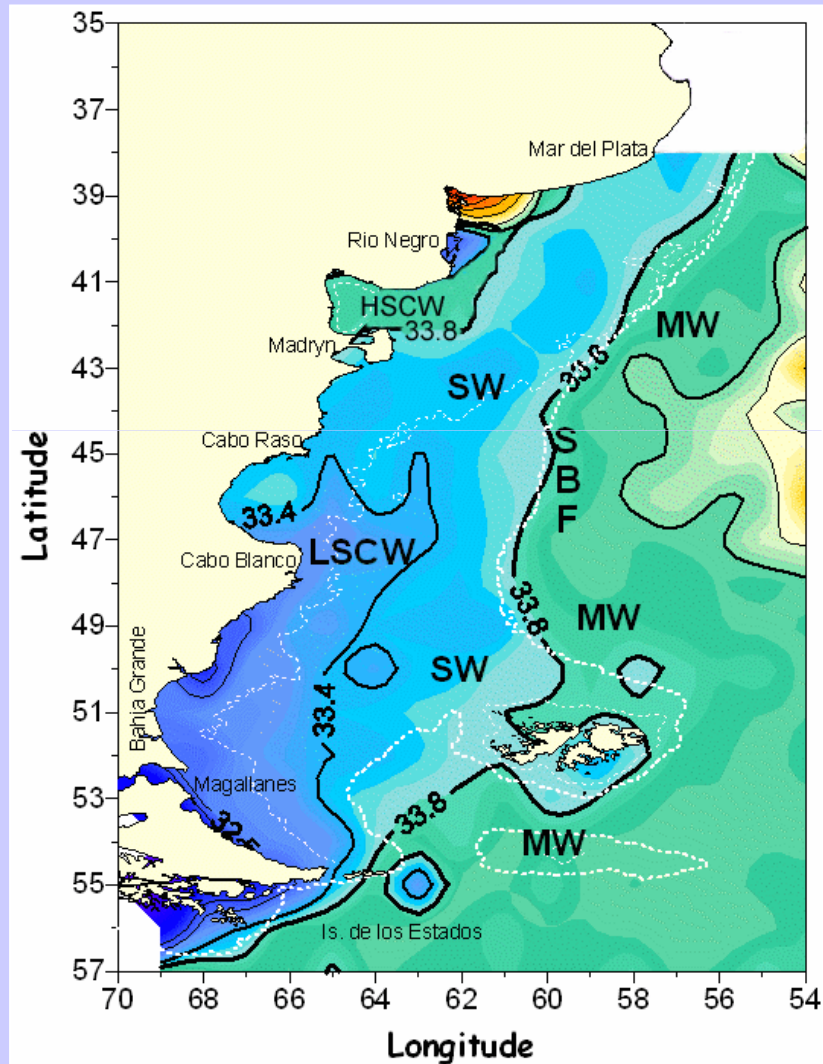
FIG. 7.5. South Atlantic—north—south volume transports (schematic).

El frente entre el Mar de los Sargazos y la corriente del Golfo



Eddies (1,2,3) son anticiclónicos, mientras que los (5-13) son ciclónicos

Algo de oceanografía regional



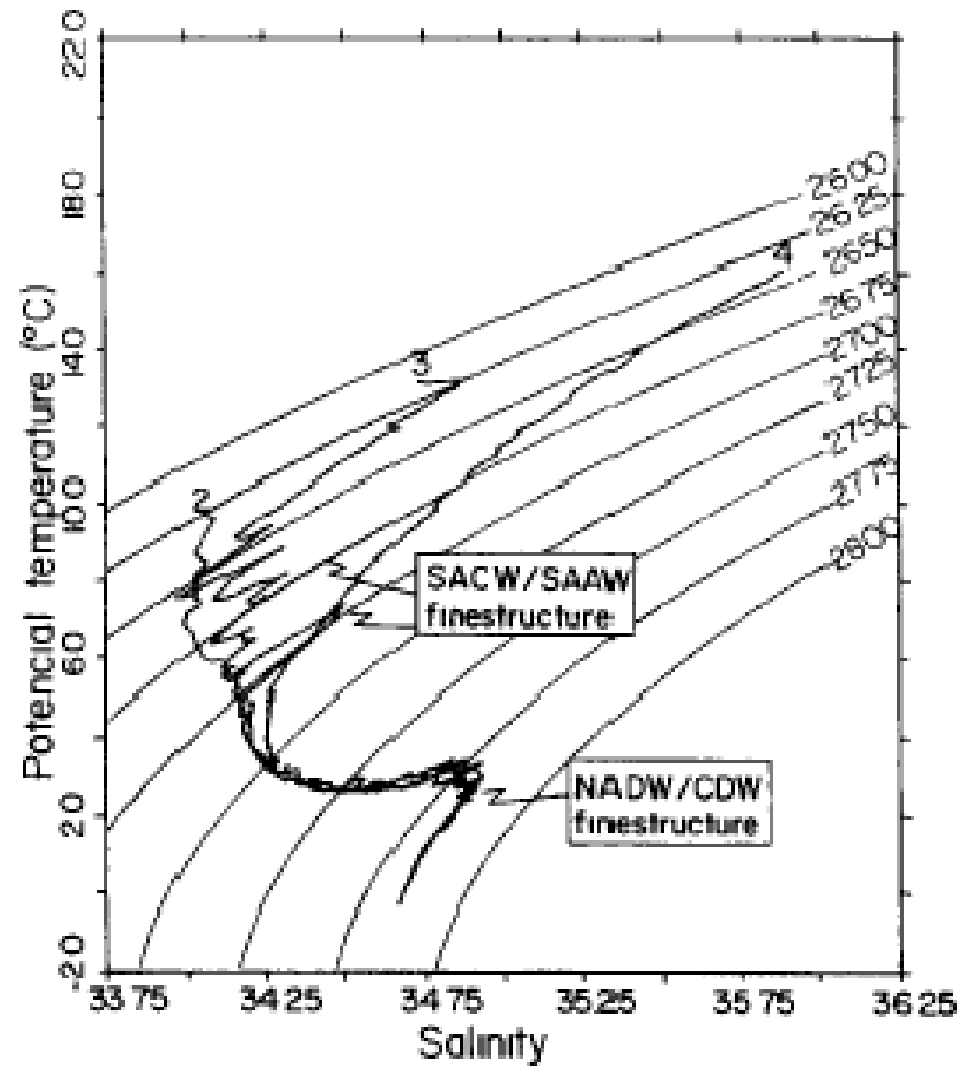
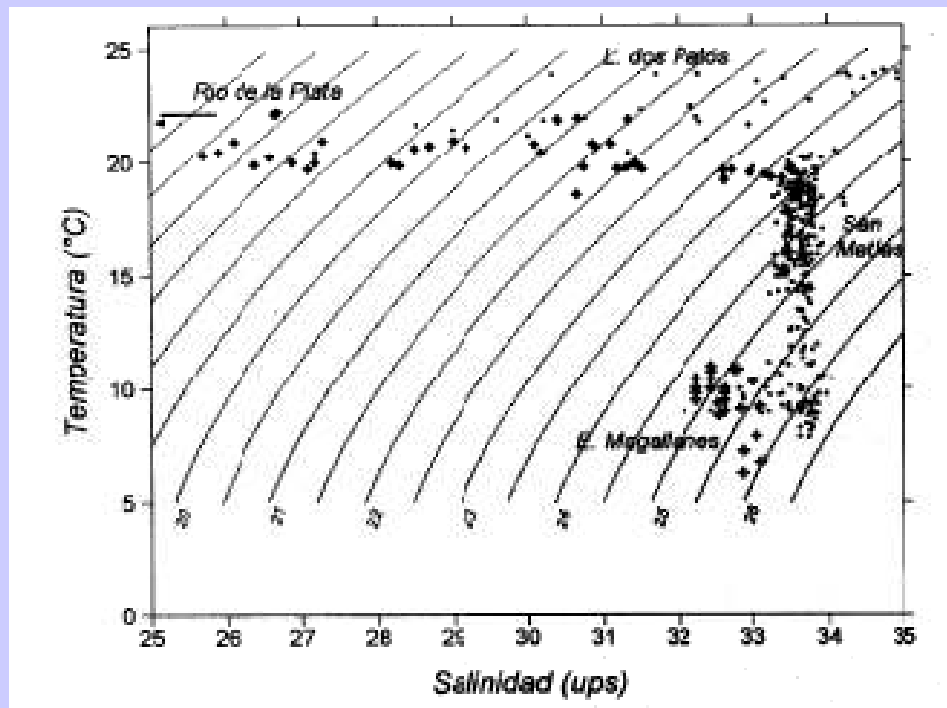
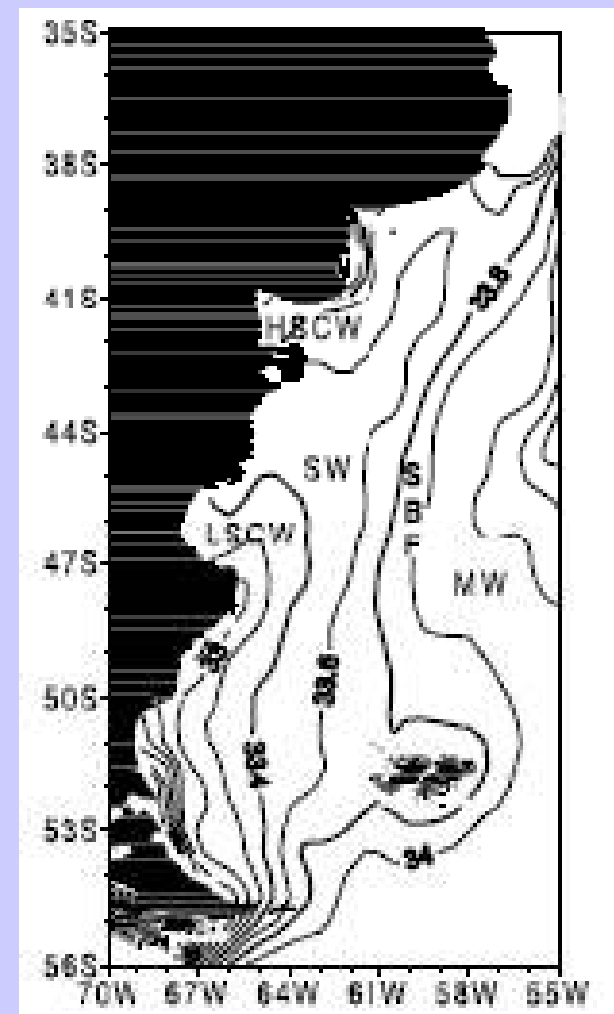


Fig 1 Potential temperature salinity diagrams for Stas 2-4 of cruise OACF89. The station positions are shown in Fig 2

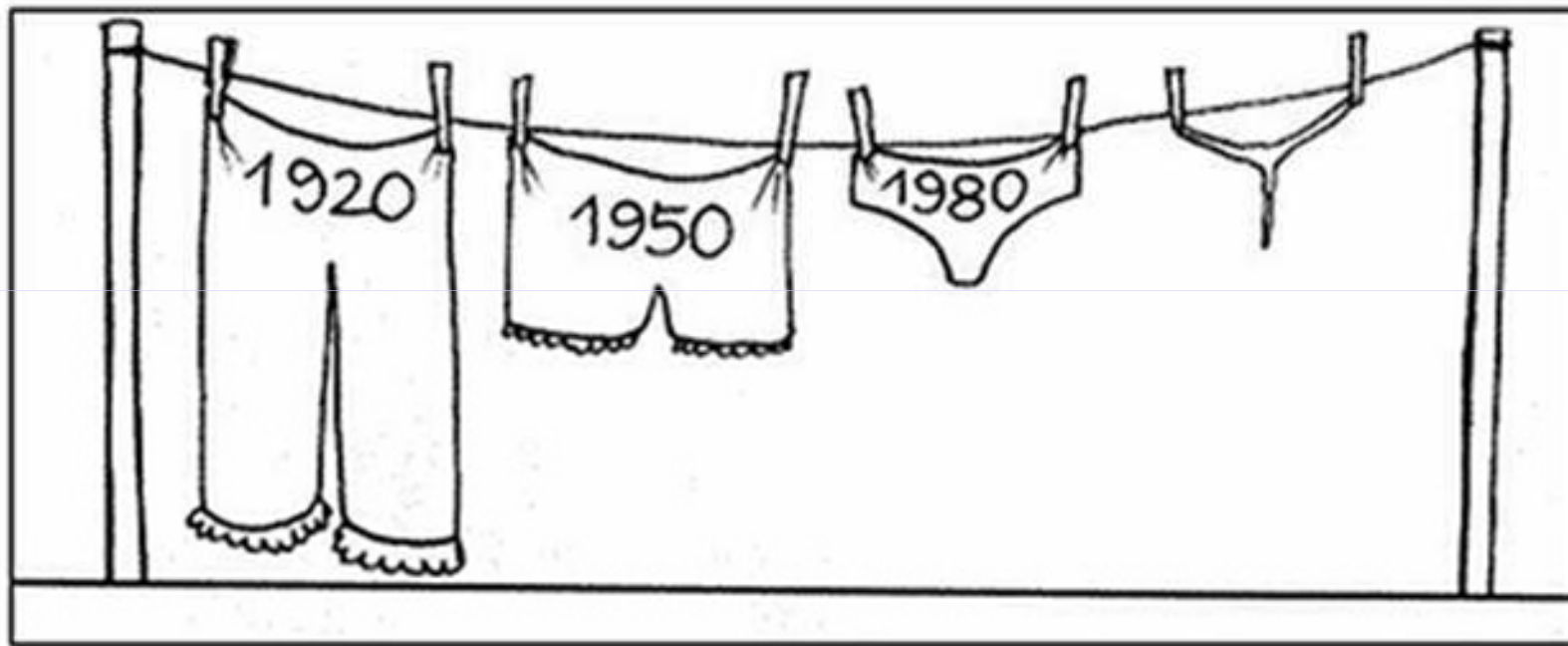


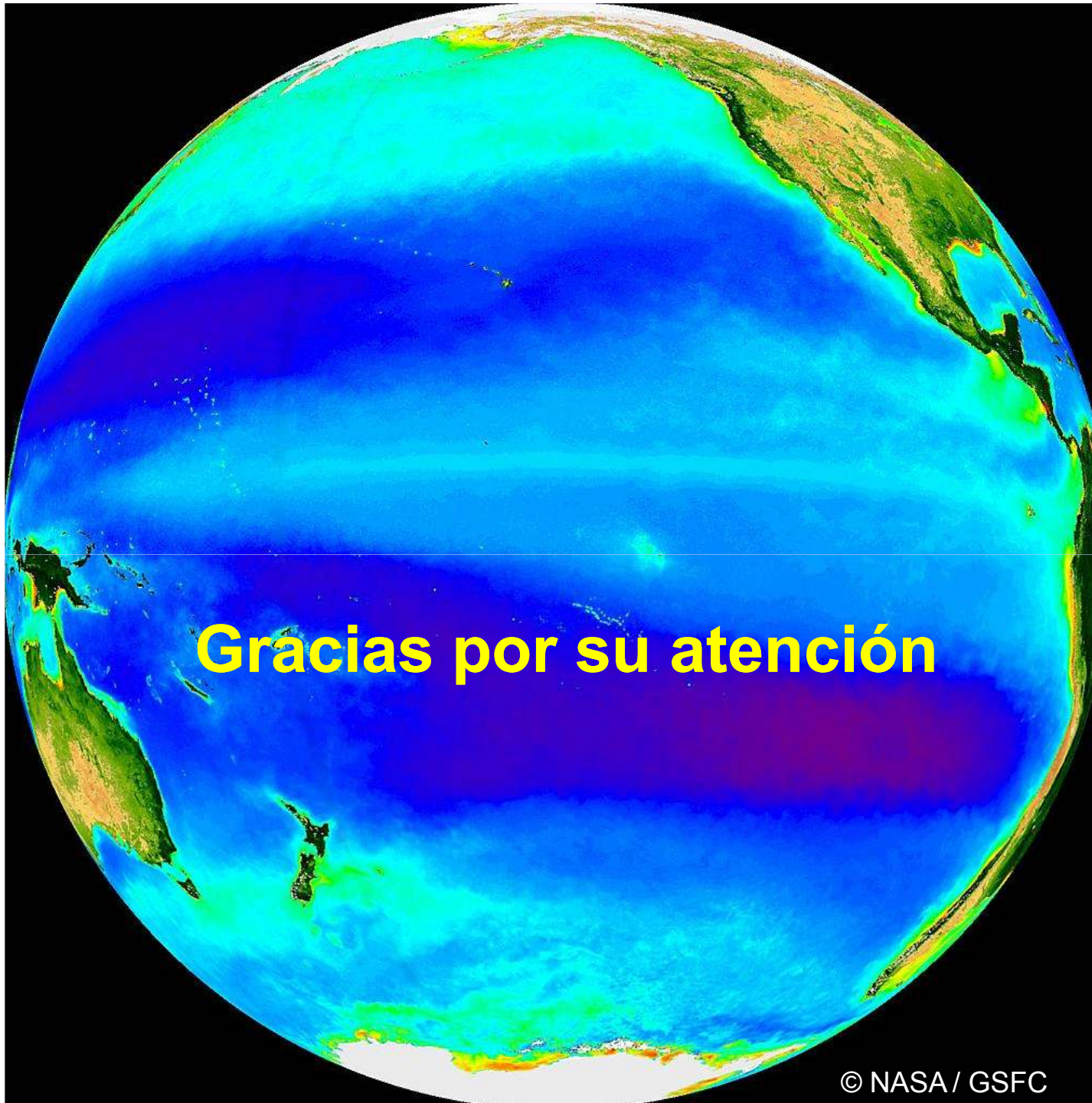
T-S conjunto al sur de 32°S



Masas de agua de acuerdo a la SSS

Global Warming Evidence





Gracias por su atención