



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN
Y MEDIO AMBIENTE



Fundación Biodiversidad



“Cambio climático en el medio marino español: impactos, vulnerabilidad y adaptación”

Madrid 19/05/2016

Cambio climático en las propiedades físicas del mar.

Observaciones, algunas
consecuencias, preguntas y conjeturas

Jordi Salat

Institut
de Ciències
del Mar

ICM



CSIC
CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS

Primera parte

La Tierra

α Centauri

(en homenaje a A. Clarke)







Vista centrada sobre 27°S 146°W

el agua

¿Donde está?

Océanos:	1370	10^6 km^3
Continentes:	35	10^6 km^3
Atmósfera:	0,01	10^6 km^3



En los continentes:

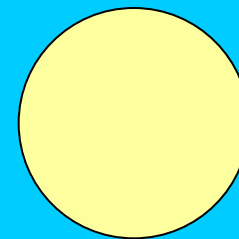
Hielo continental:	29	10^6 km^3
Subterránea:	5,85	10^6 km^3
Rios, lagos*, etc:	0,15	10^6 km^3

*incluye embalses: $0,01 \cdot 10^6 \text{ km}^3 \approx$ contenido atmosférico



Flujos de agua ($\text{km}^3/\text{a} \times 1000$)

atmósfera



385

110

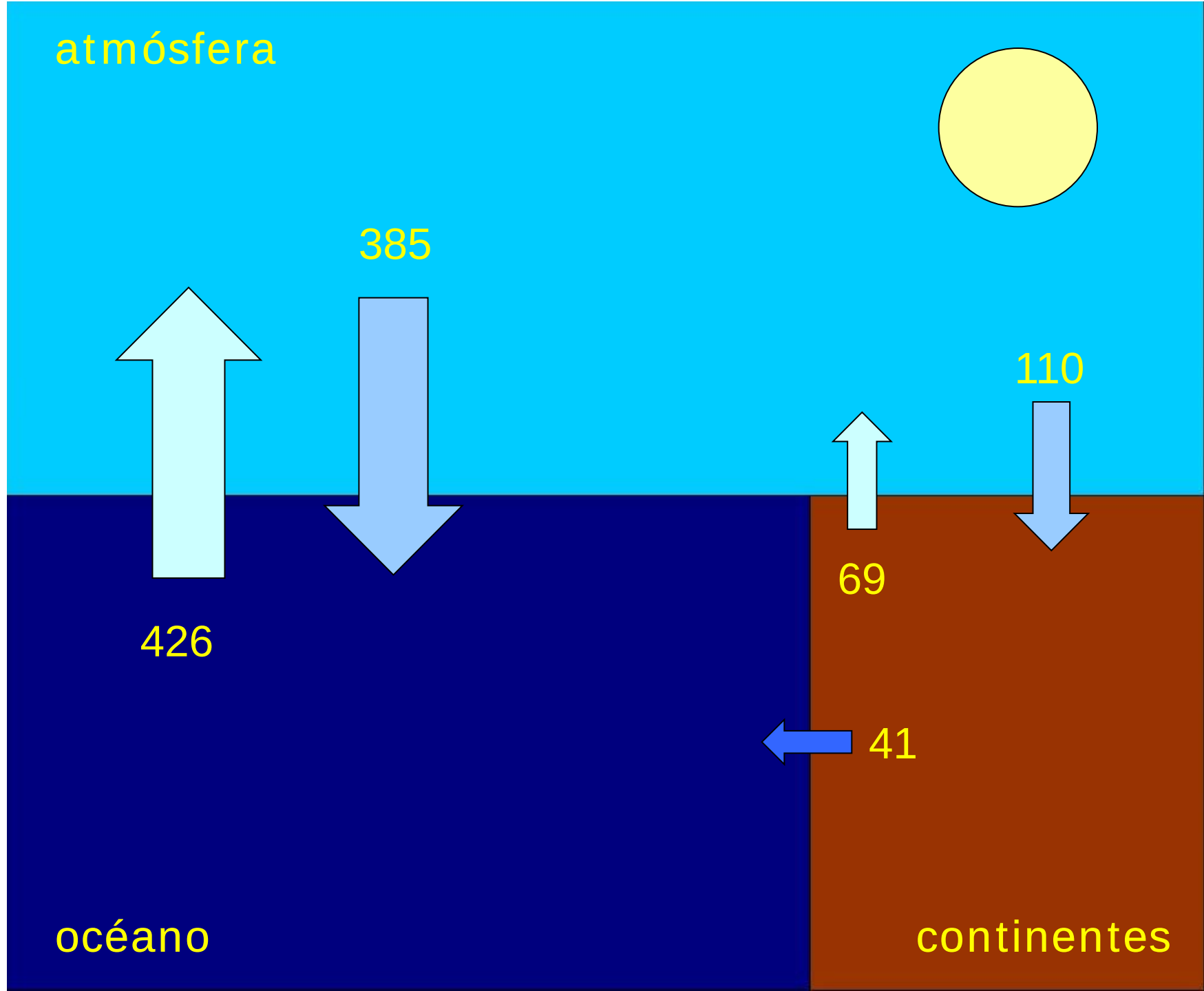
426

69

41

océano

continentes



Hidrosfera:

Calor específico:	4200	J/kg/°K
Masa total:	1430	10^{18} kg
Capacidad calorífica:	5900	10^{21} J/°K

Atmósfera:

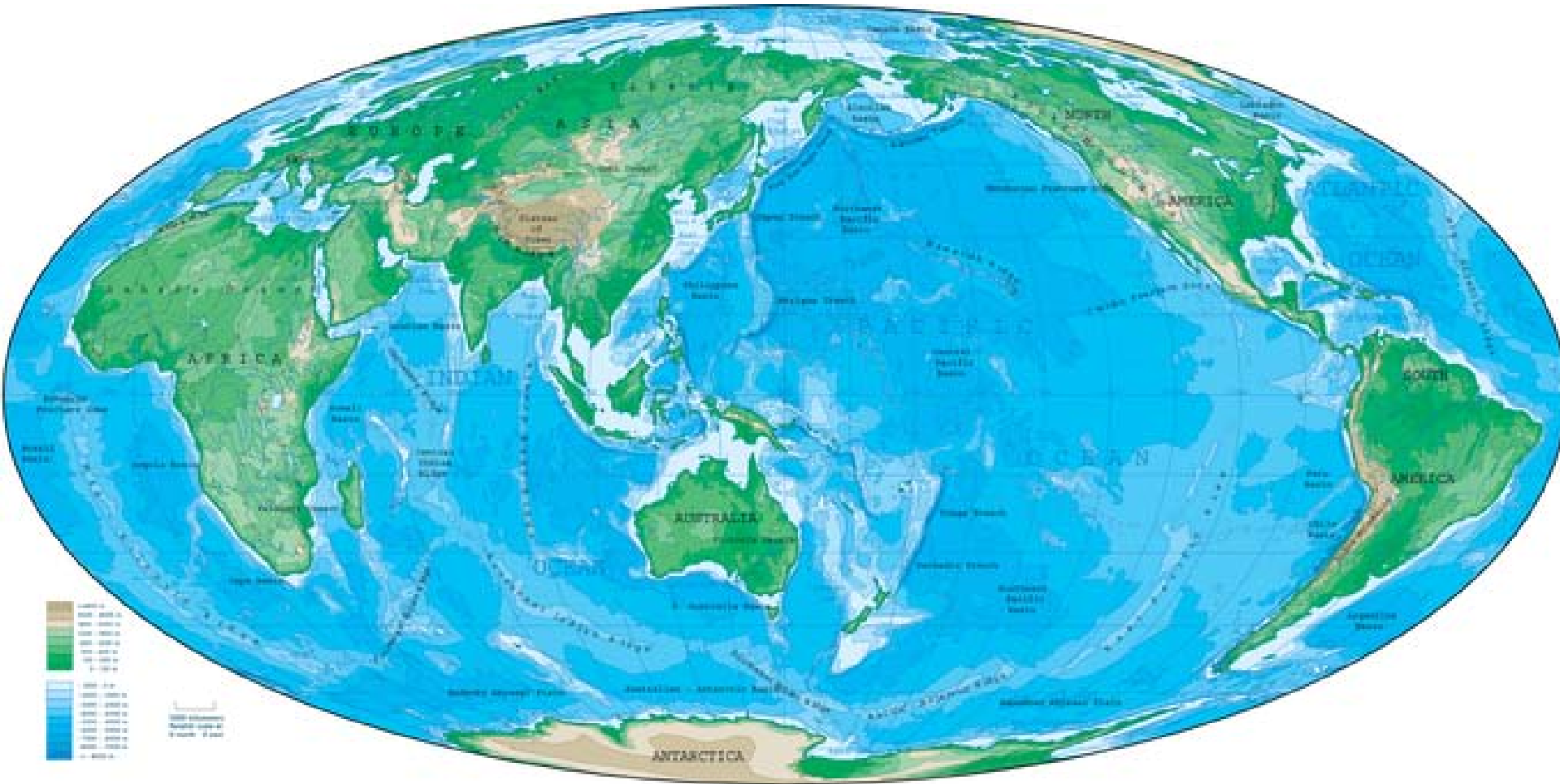
Calor específico:	1000	J/kg/°K
Masa total:	5	10^{18} kg
Capacidad calorífica:	5	10^{21} J/°K

The Oceans:

- Have 1100 times the Heat Capacity of the atmosphere (99.9% of the heat capacity of the climate system),
- **Contain 96.5% of Earth's water,**
- **Experience 86% of global Evaporation and 78% of global Precipitation.**
- **Yet most research programs on Climate or on the “Global Water Cycle” do not properly treat the ocean's role.**

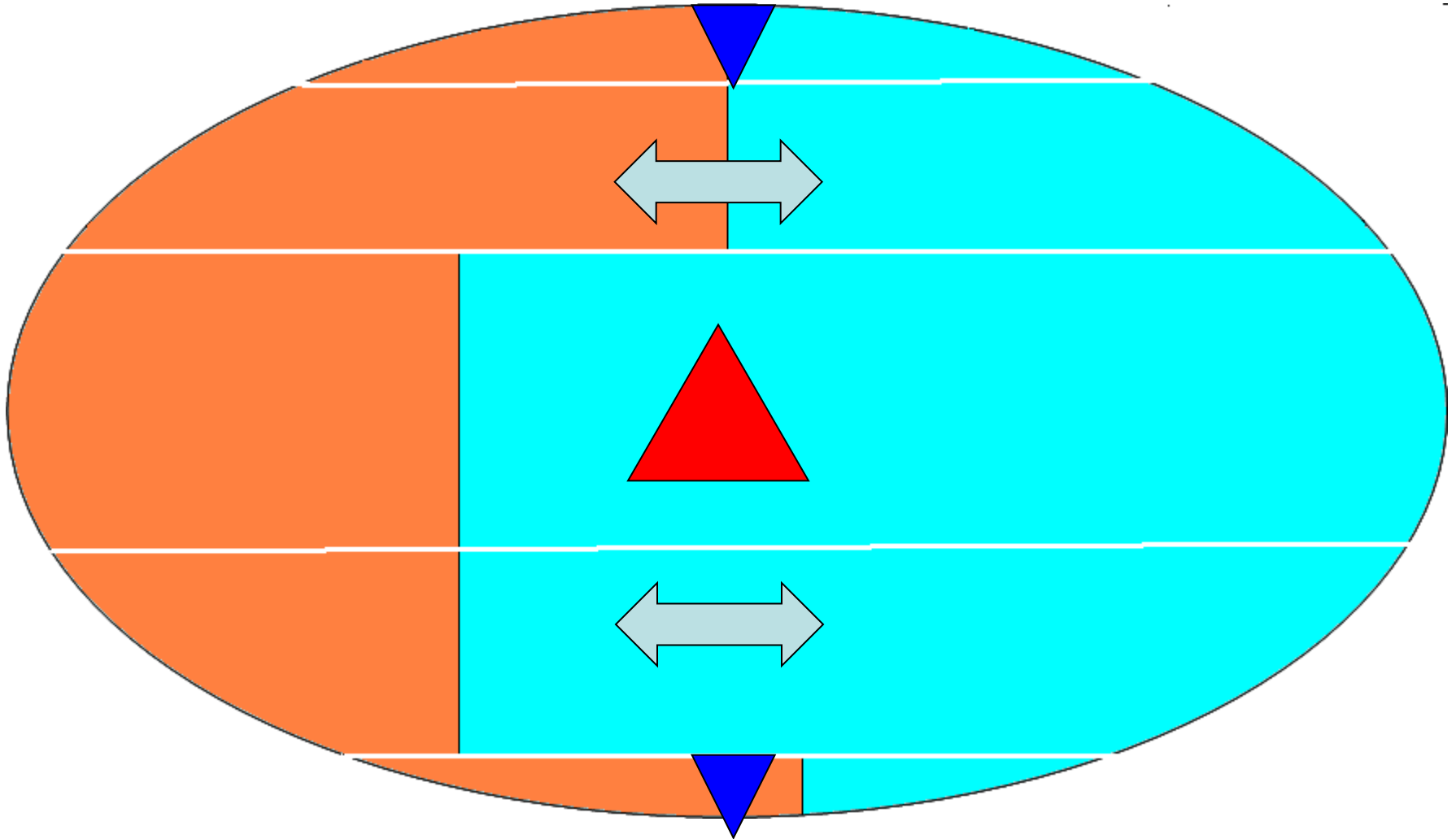
El océano:

Un reparto desigual de agua y tierra

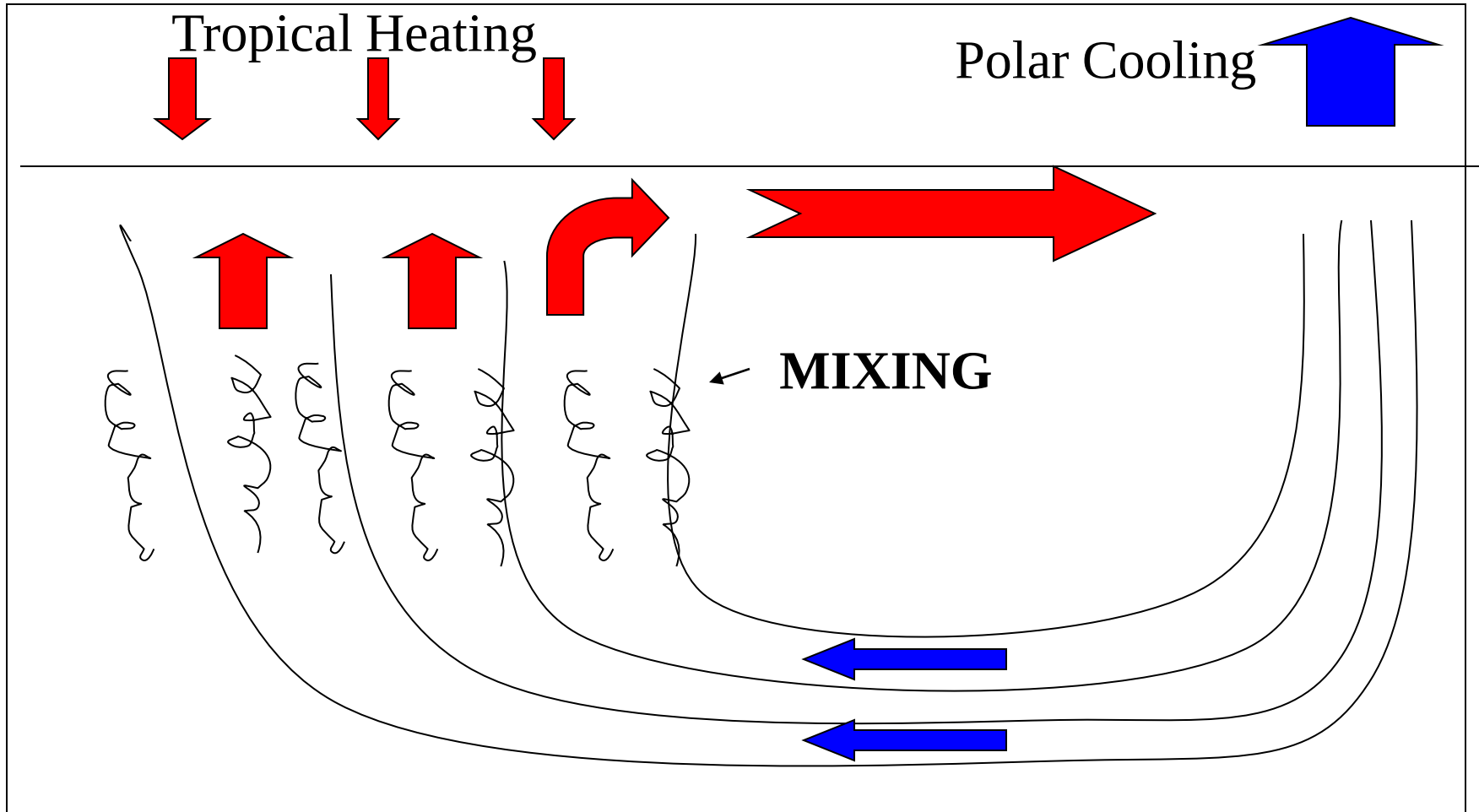


Latitude	Area (km²)	Population
75°N	1496	0
60°N	15652	9993
45°N	23137	17540
30°N	23586	29246
15°N	21261	40082
0°	15149	50568
15°S	14816	50901
30°S	14308	47035
45°S	4734	48098
60°S	590	40087
75°S	5924	19721
Antarctica	8240	522

El océano: Un reparto desigual del calor

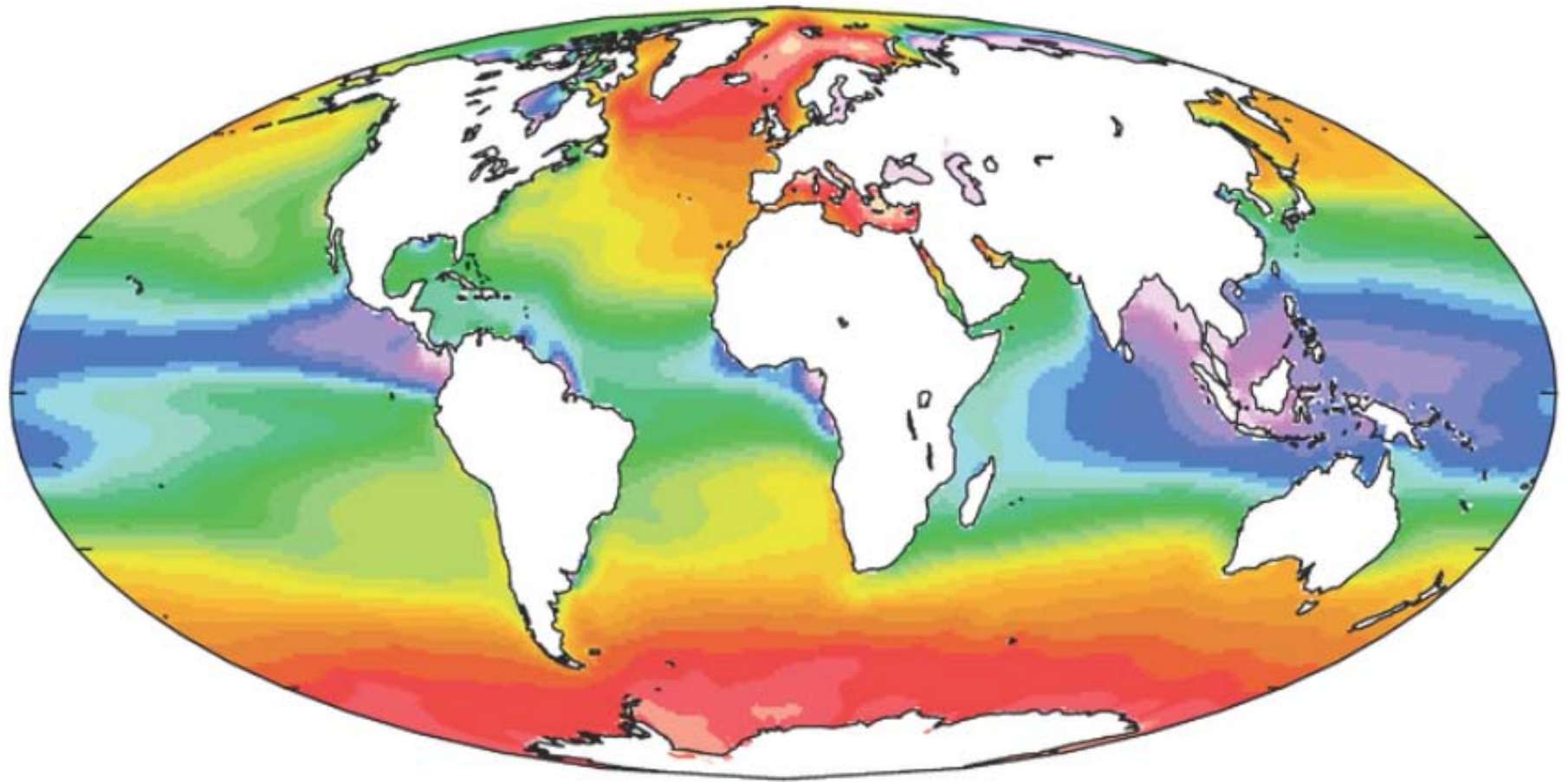


El motor del océano: enfriamiento y evaporación, mezcla, viento y marea



Pero, además,
el agua del océano es salada

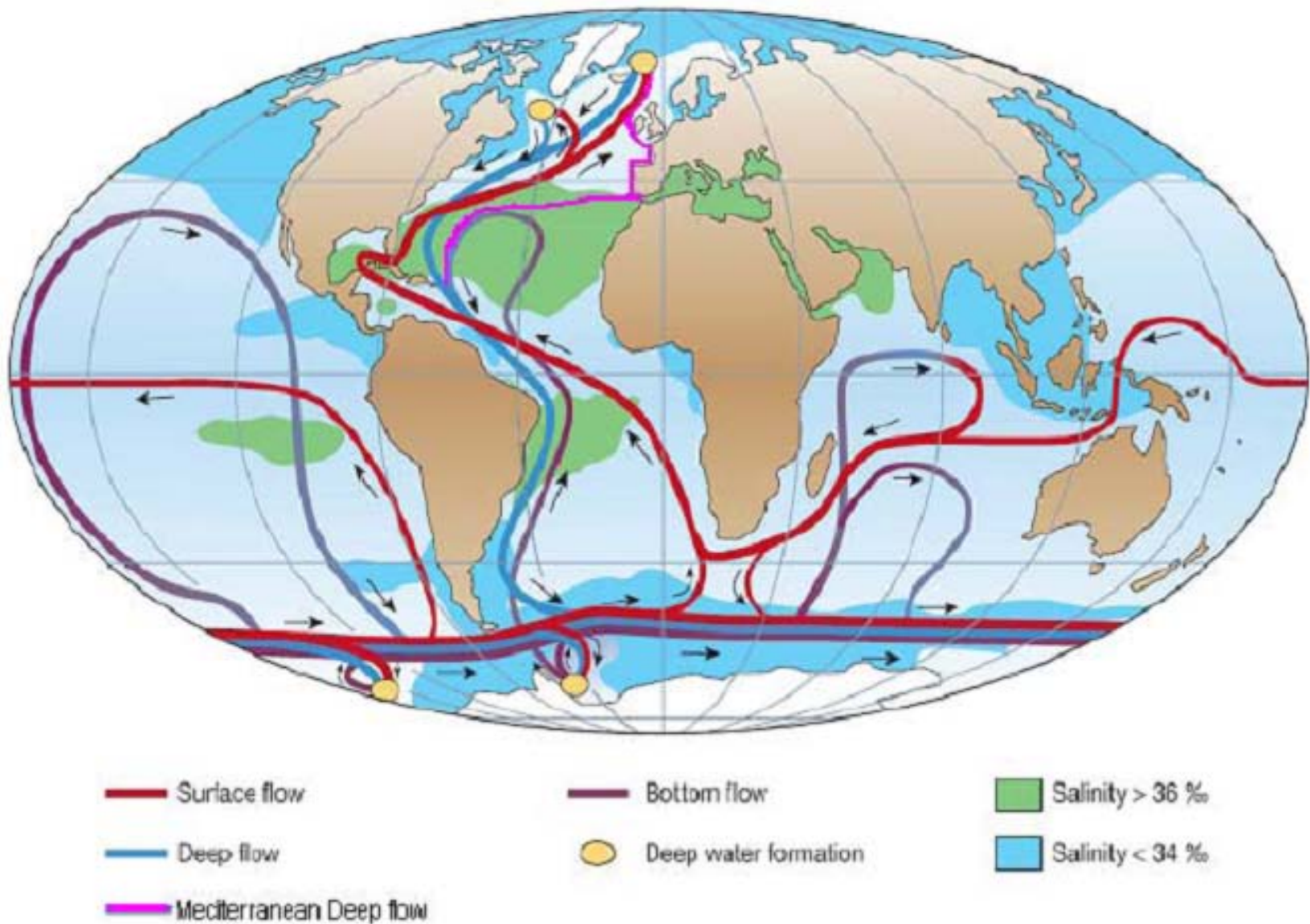
Densidad media en la superficie



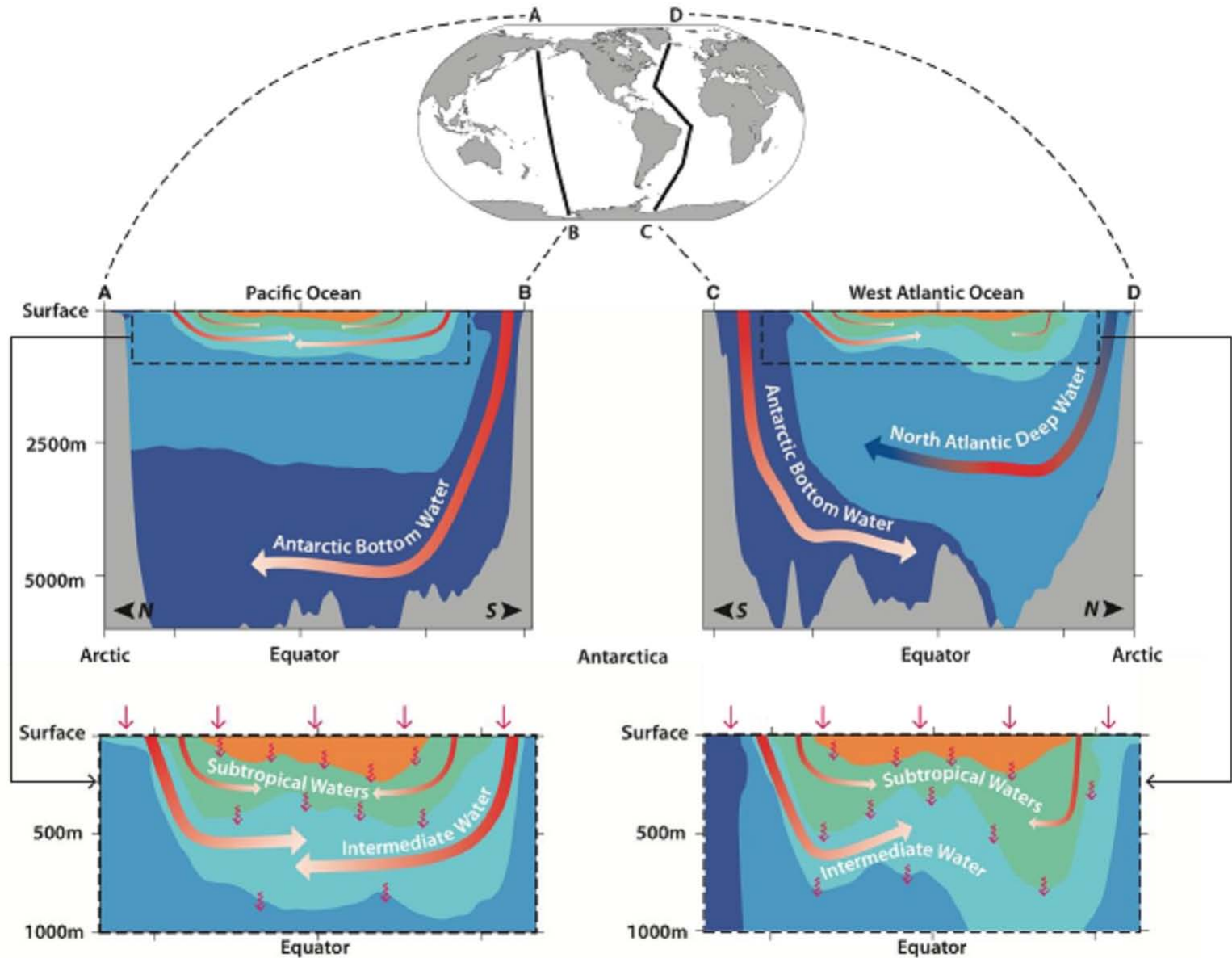
1020 1021 1022 1023 1024 1025 1026 1027 1028

Sea-surface density [kg m^{-3}]

Circulación termohalina



En vertical

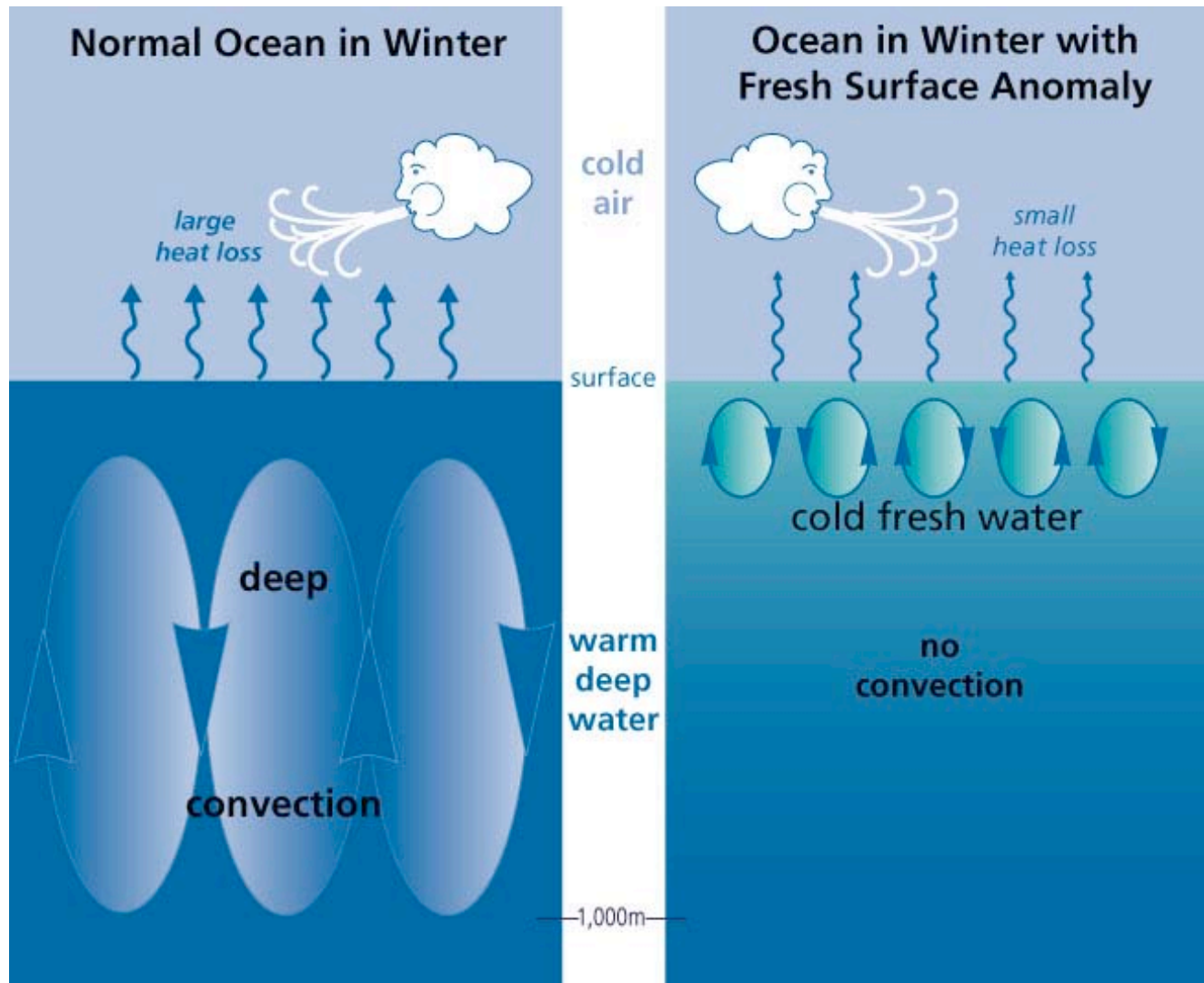


agua salada y agua dulce

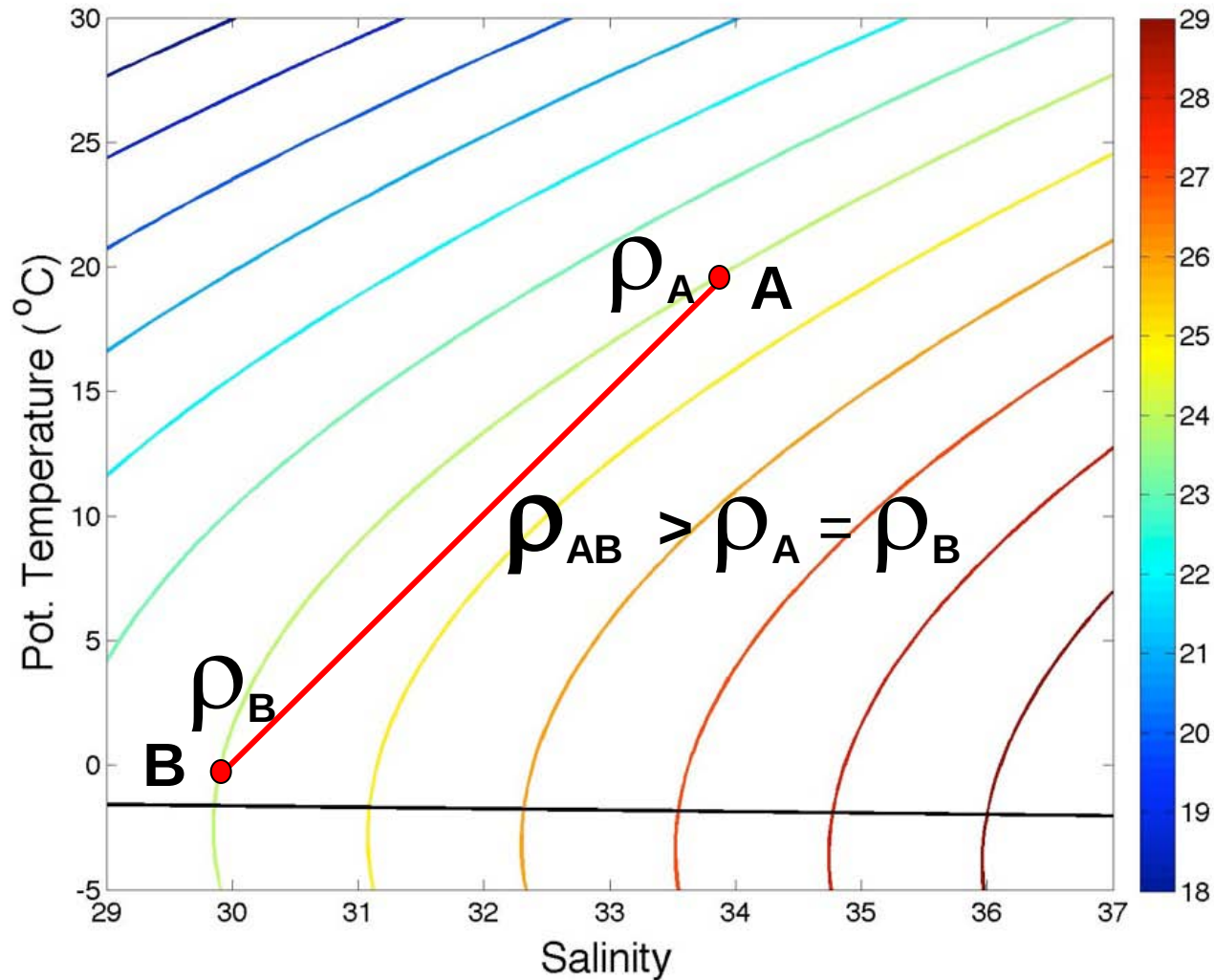


Calor oculto y
freno al motor de circulación

La tapadera de agua dulce



"Cabbeling"

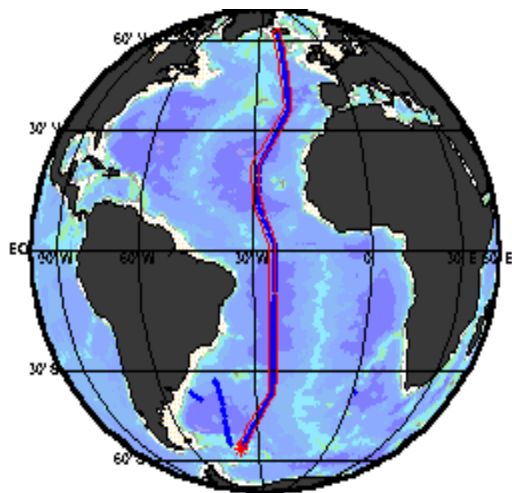


Mezcla de aguas A i B de la misma densidad pero distintas T y S da lugar a una agua más densa (por debajo de ambas)

Distribuciones en vertical. O. Atlántico

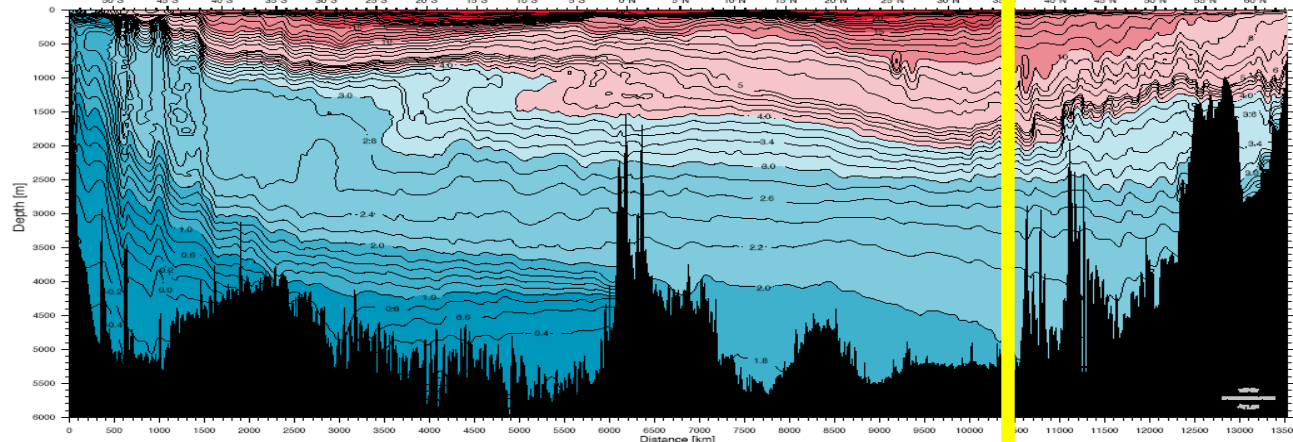


agua mediterránea

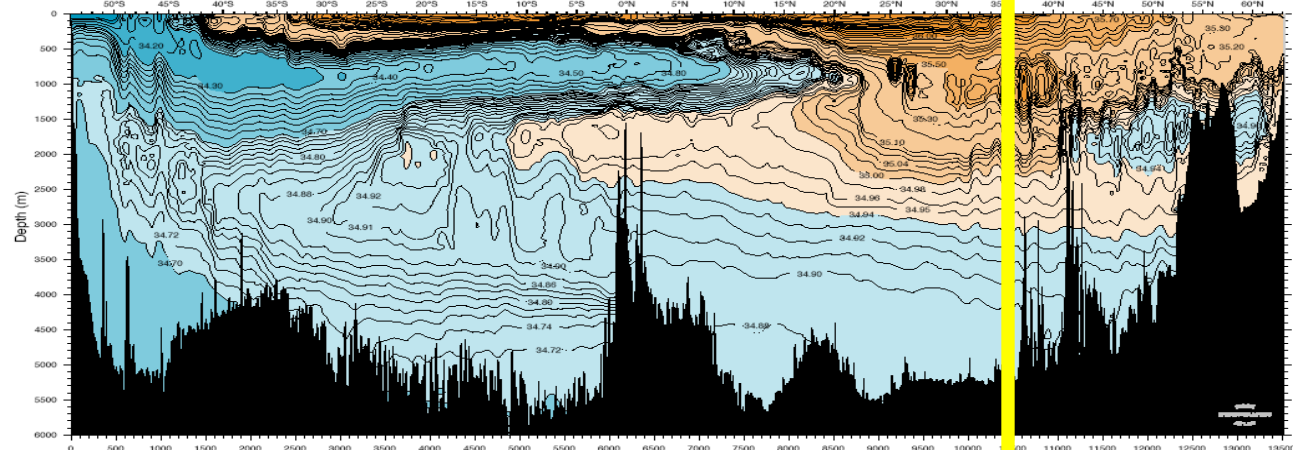


Sección A16 WOCE

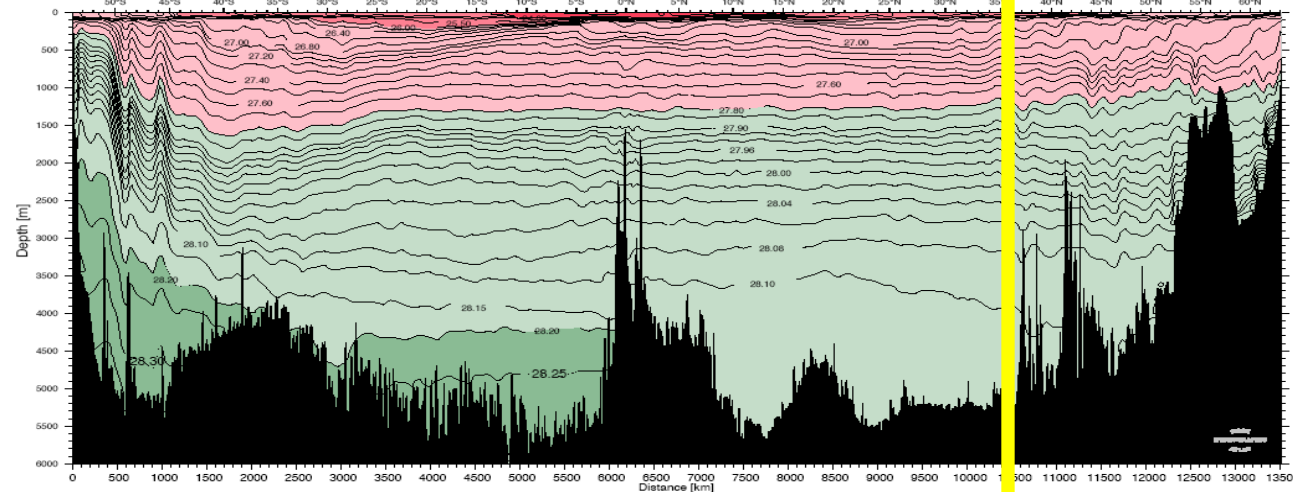
Temperatura



Salinidad



Densidad



Penetración de la MW

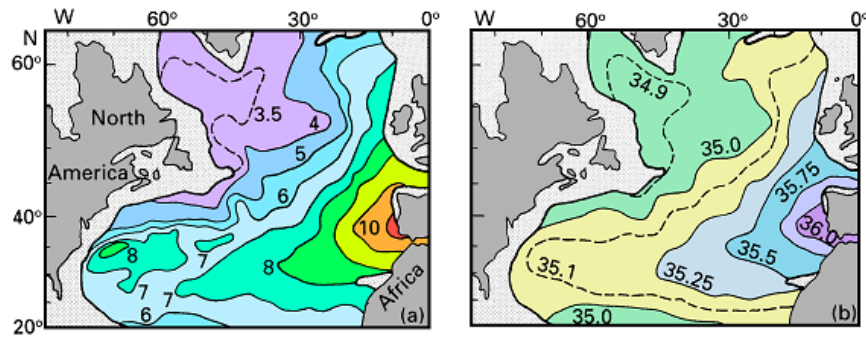
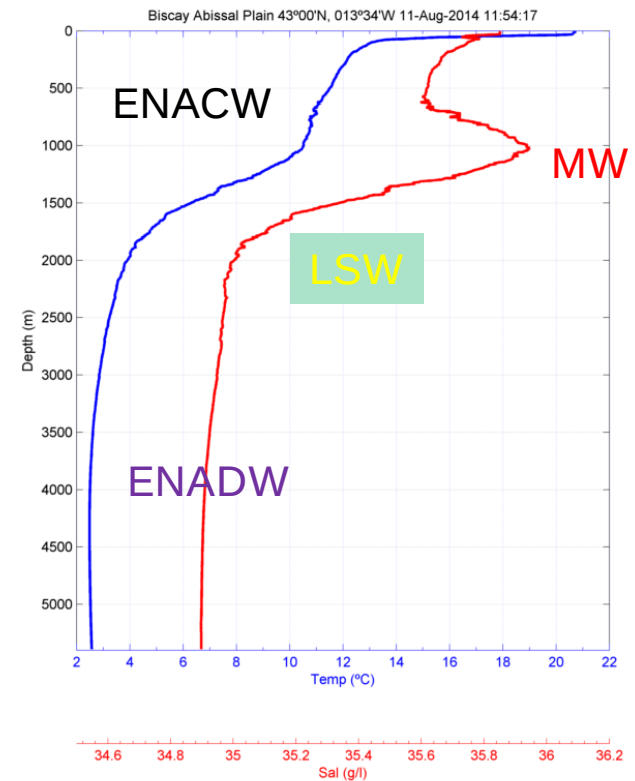
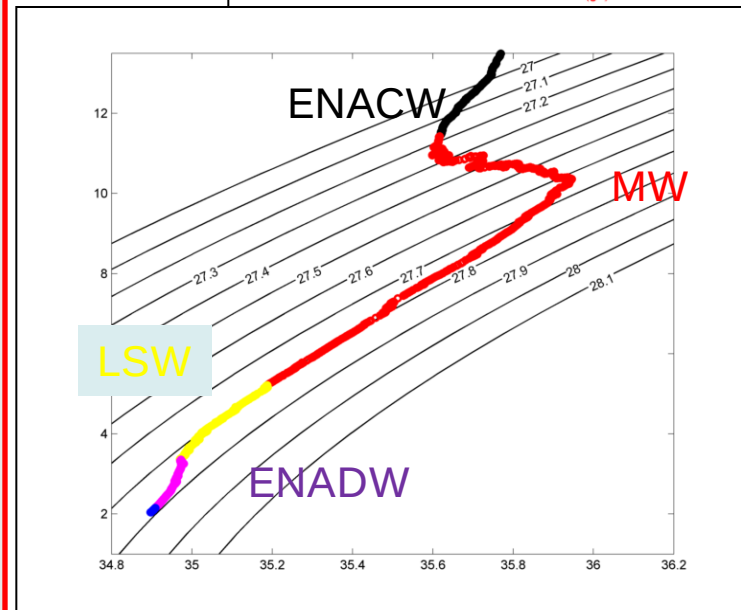
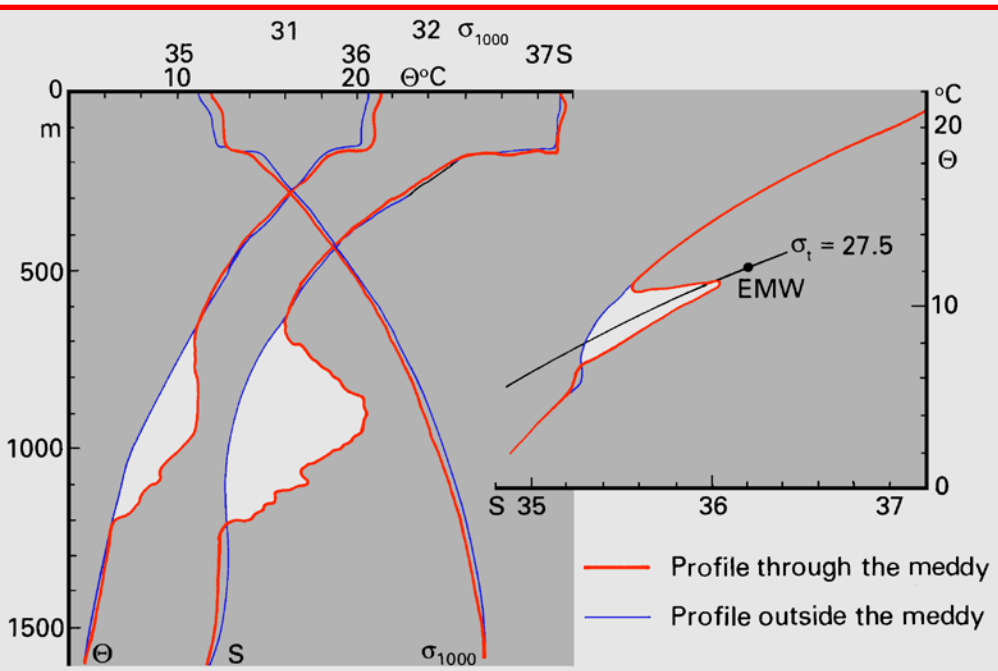


Fig. 15.4. Temperature (°C) (a) and salinity (b) in the North Atlantic Ocean at 1000 m depth.



Calor oculto (meddies)



Hemos visto que el océano:

- Tiene una capacidad calorífica más de 1000 veces superior a la atmósfera
- Para mover el agua a gran escala hay que enfriar por superficie (cuando no haya agua de baja salinidad)
- “Reparte” el calor recibido en la zona tropical hacia zonas templadas y frías
- Agua más caliente puede ocultarse bajo agua más fría si tiene mayor salinidad

aunque no lo hayamos visto...

- El tiempo medio de residencia del agua en el océano es de 3300 años ...
- Si el agua se calienta, se expande. Luego, si aumenta la temperatura media de la columna de agua, el nivel del mar subirá
- La evaporación, además de la pérdida de agua (aumento del enfriamiento superficial), produce un mejor mecanismo para forzar la convección. **(efecto botijo)**
- El viento y la superficie del agua más caliente que el aire, mejoran las condiciones de evaporación **(efecto ropa tendida al sol)**



Segunda parte:

Observaciones

1971-74. Josep Pascual

¿Iniciar una serie de observaciones marinas?

¿Quién habla de Cambio Climático?

ESTARTIT. Observación de la temperatura y salinidad del agua del mar.
Día 15.07.73 a las 7 horas.

PROFUNDIDAD (metros)	TERMÓMETRO °C	TERMÓMETRO AUXILIAR °C	TEMPERATURA CORREGIDA °C (Corrección:)	SALINIDAD ‰	DENSIDAD
0	21.72	21.7	21.72		
5	21.46	21.4	21.46		
12					
20	17.80	17.1	17.78		
27					
35	14.28	14.2	14.25		
42					
50	13.52	13.5	13.48		
60	13.35	13.3	13.30		

Dirección y fuerza del viento: 1

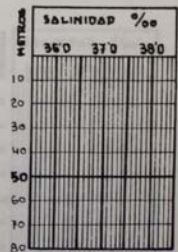
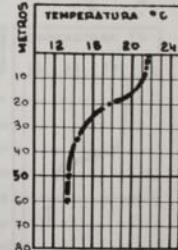
Corriente: En superficie: 1
En profundidad:

Máxima profundidad en la que se distingue la sonda: 14 metros.

Estado del cielo desde que amaneció hasta la hora de observación: ☉

Estado del mar:

- ☐ CALMA
☒ MAR RIZADA N
☐ MAREJADILLA
☐ MAREJADA
☐ FUERTE MAREJADA

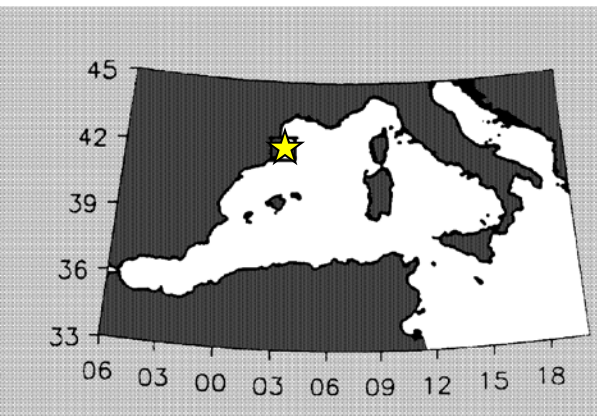


nº 27



Los datos: más de 40 años

Posición de la estación: $42^{\circ}03'00''\text{N}$
 $3^{\circ}15'15''\text{E}$

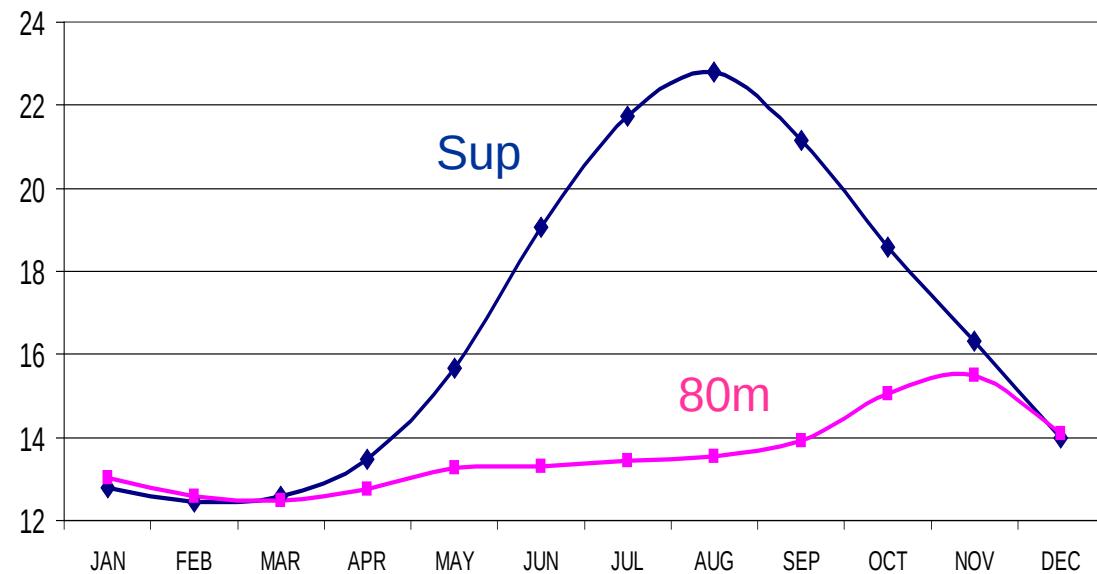
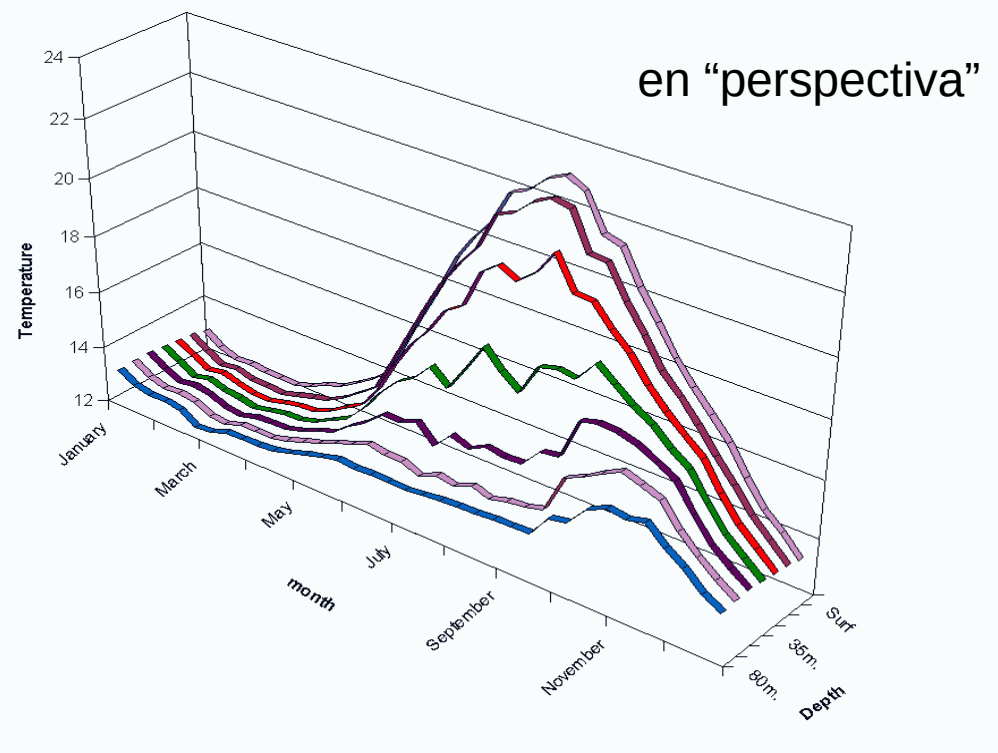
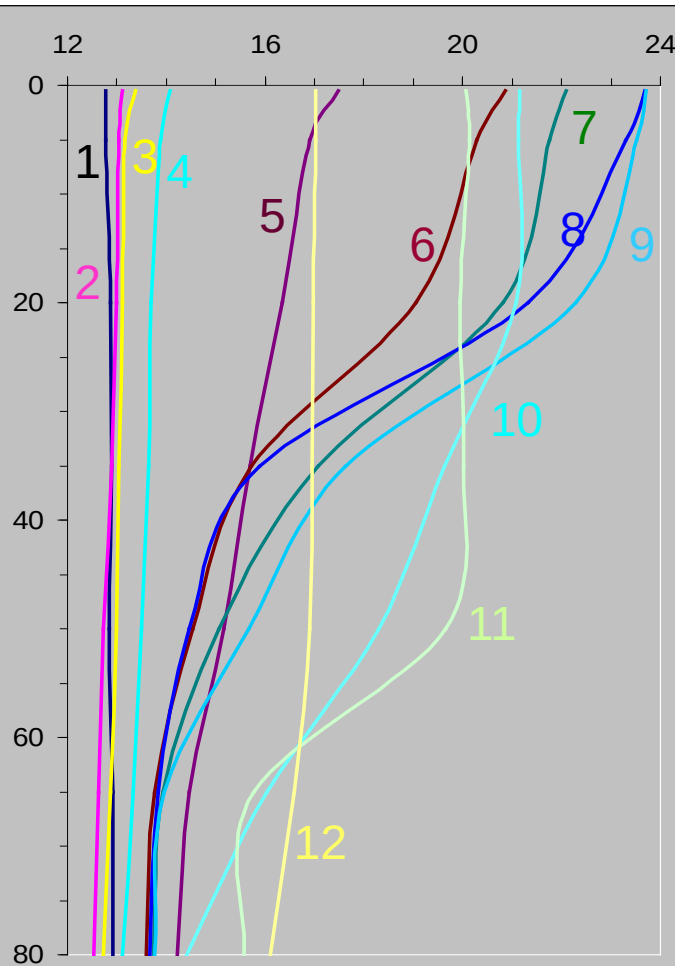


Muestreo regular
70-80 salidas/año
De 4 a 6 niveles, entre
Superficie y 80 m

casi 2000 salidas

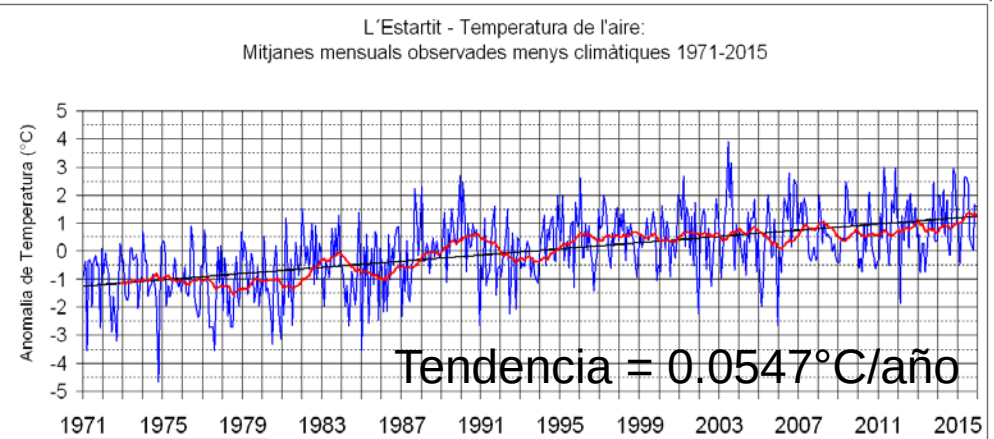
CLIMA:

Ciclo anual medio

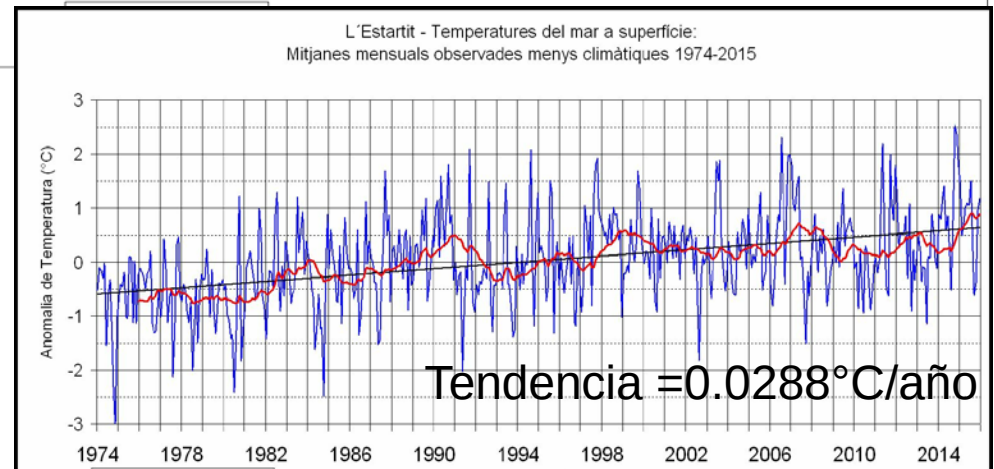


Cambio Climático:

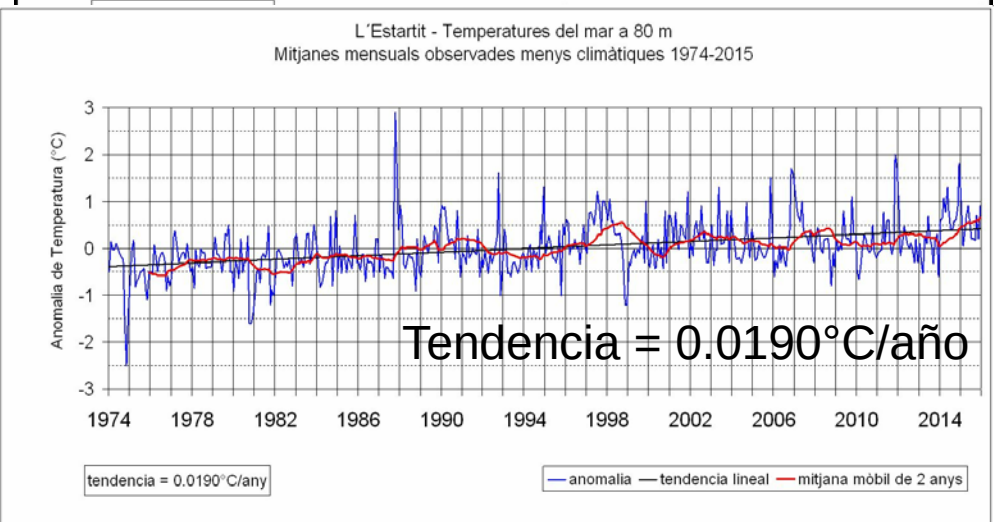
Aire



Agua
en superficie



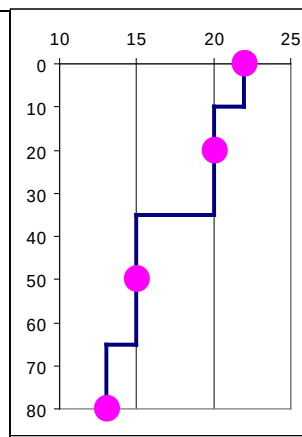
Agua
a 80 m



Resumen de tendencias

°C/año	Anual	Invierno	Primavera	Verano	Otoño
T. aire	0.0547	0.0365	0.0758	0.0525	0.0543
T. superficie	0.0288	0.0202	0.0363	0.0251	0.0317
T. 80 m	0.019	0.0129	0.0214	0.0091	0.0275
T. media (0-80 m)	0.0276	0.0173	0.0326	0.0259	0.0347
T. aire - T. sup.	0.0259	0.0163	0.0395	0.0274	0.0226

*Calculada a partir de las observaciones a 0, 20, 50 y 80 m,
según: $(T_0 \cdot 10 + T_{20} \cdot 25 + T_{50} \cdot 30 + T_{80} \cdot 15) / 80$ [ver esquema →

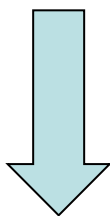


en el ciclo anual
hay más cosas...

el periodo de verano y
el de brumas

Adelanto en el
comienzo y
prolongación del
periodo “veraniego”

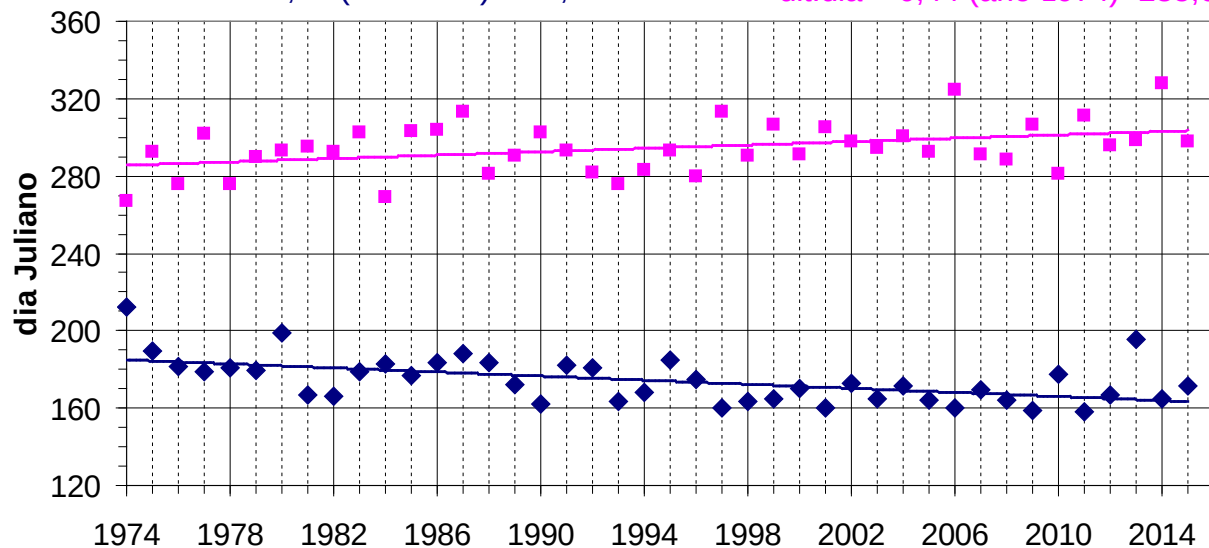
0,53 y 0,99
dias/año



dias con $T@20m > 18^{\circ}\text{C}$

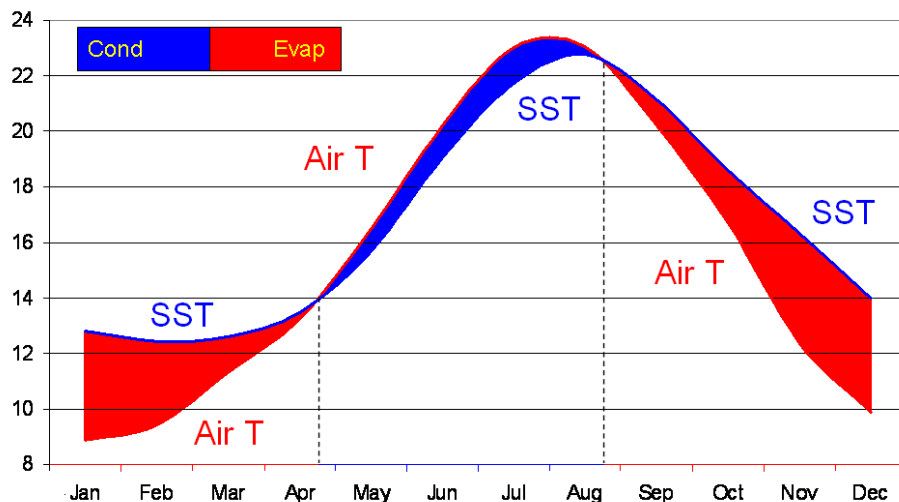
1er.dia = $-0,53 \cdot (\text{año} - 1974) + 184,9$

últ.dia = $0,44 \cdot (\text{año} - 1974) + 285,6$



Prolongación de
las condiciones
de estratificación

0,34 dias/año

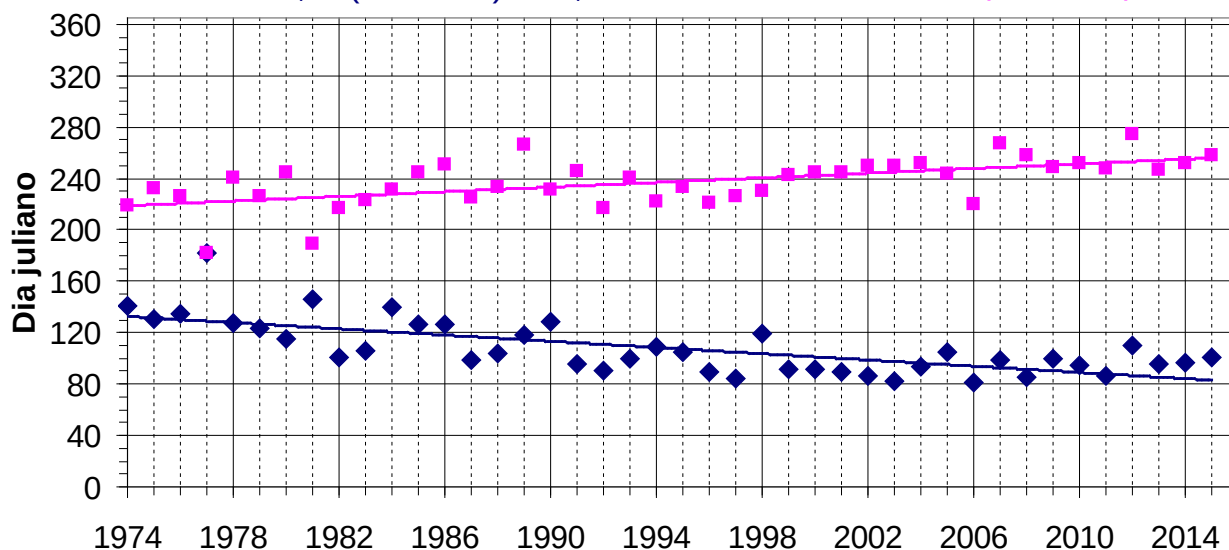


El periodo de brumas (condensación) se prolonga (2,12 d/a) y se adelanta dentro del ciclo anual (1,21 d/a)

dias con $T_{air} > T_{sup}$

$$\text{1er. dia} = -1,21 \cdot (\text{año} - 1974) + 132,7$$

$$\text{últ. dia} = 0,91 \cdot (\text{año} - 1974) + 218,8$$

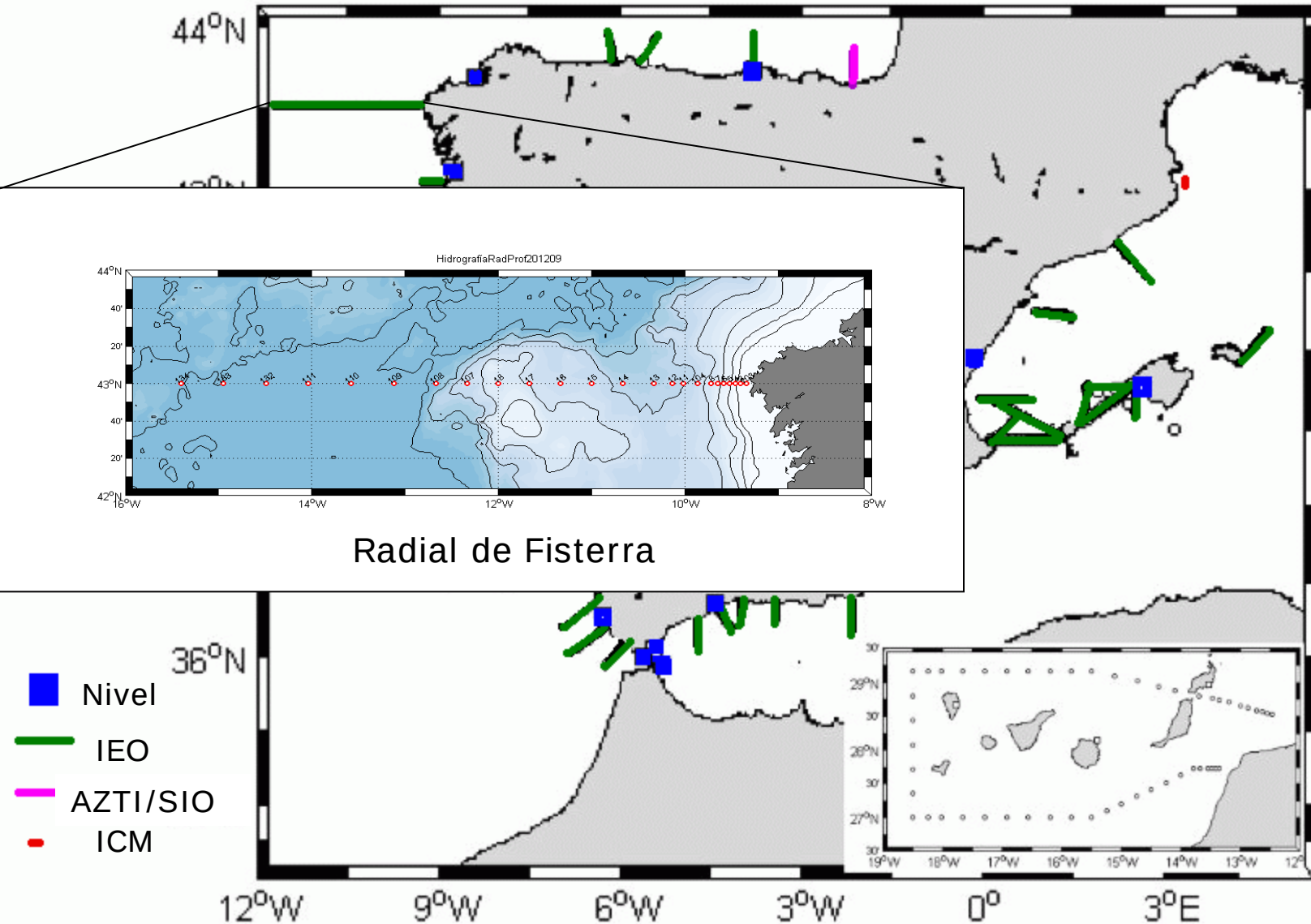


... y disminuye la lluvia en L'Estartit

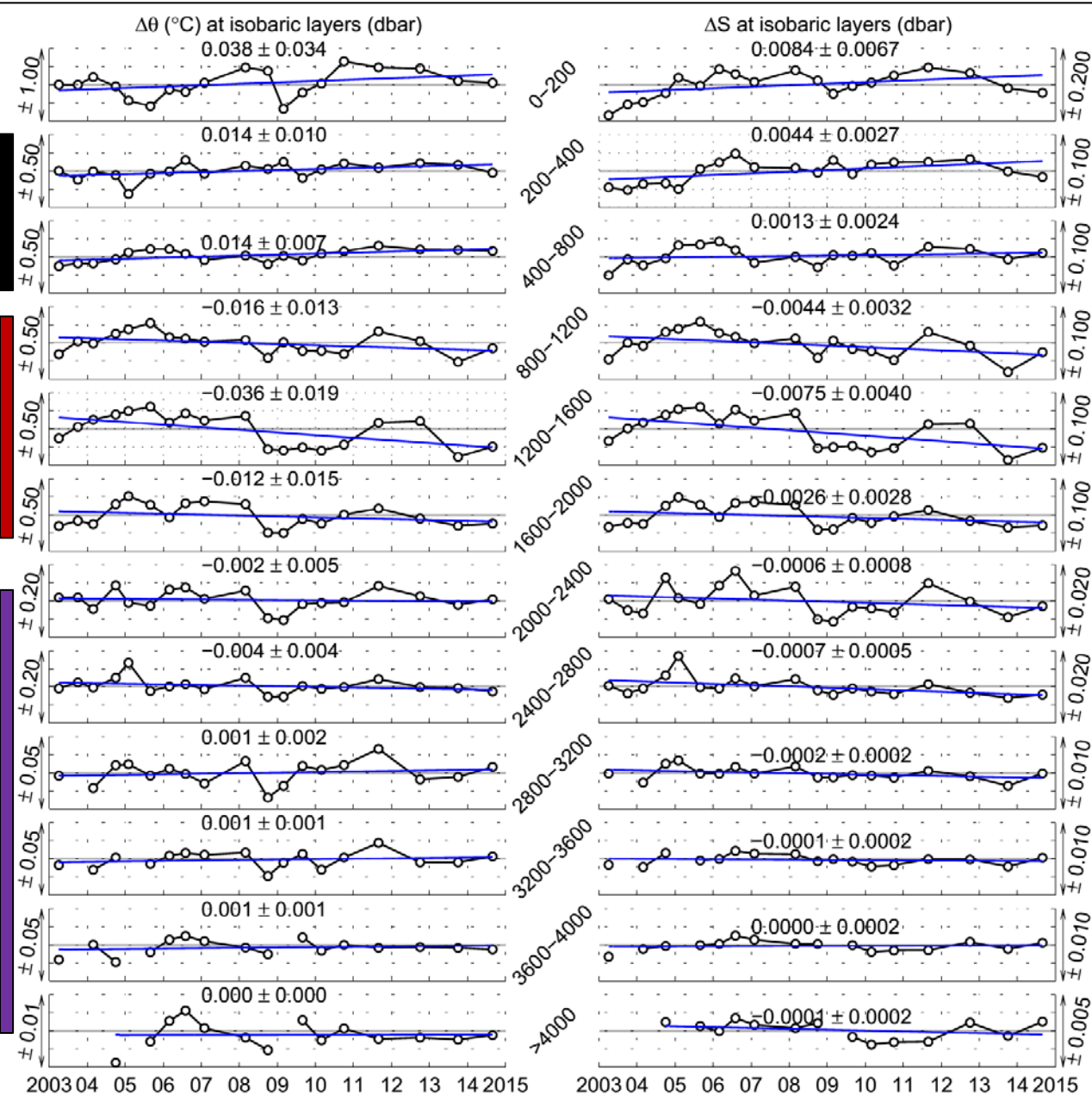
en primavera: 10%
en verano: 8%

más observaciones...
y comentarios

Radiales (desde 1992+ /min 4 por año)



Evolución en Fisterra 2003-2014 [César González-Pola, 2015]



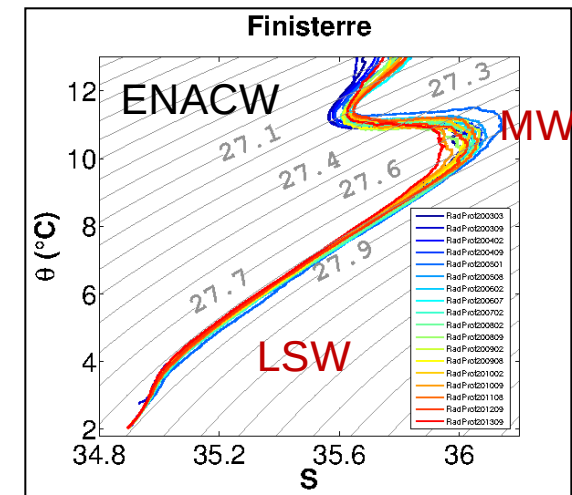
Tendencias por capas:

Aguas centrales
~ +0.014°C/a

Caída de la MW hacia el
nivel de la LSW en 2008

Tendencia negativa para
T y S.

Cambios imperceptibles
por debajo de 2000 m.

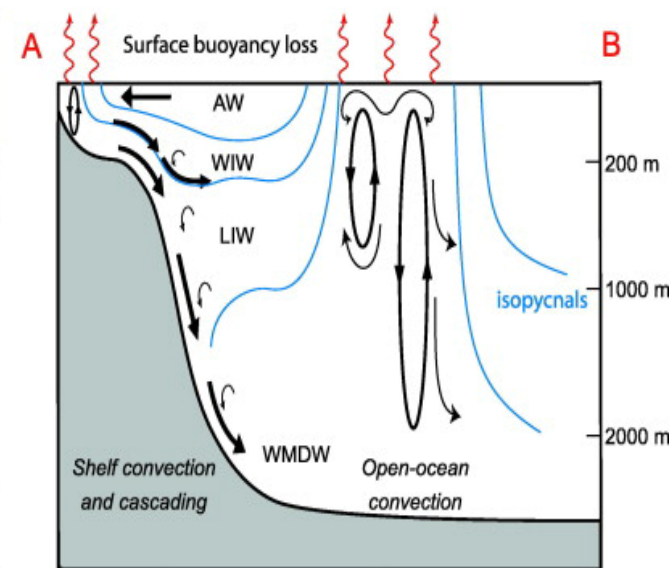
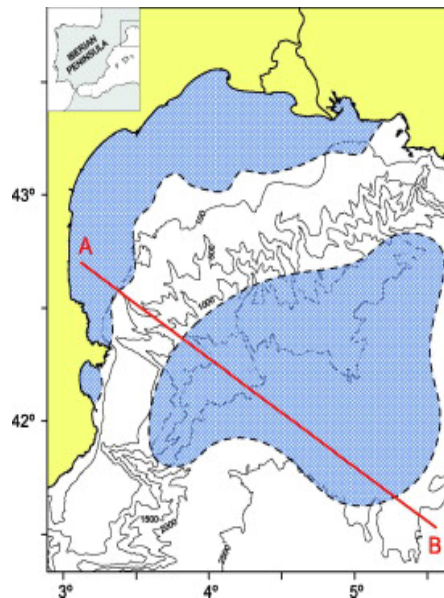


El agua MW ¿se enfría?
pero...

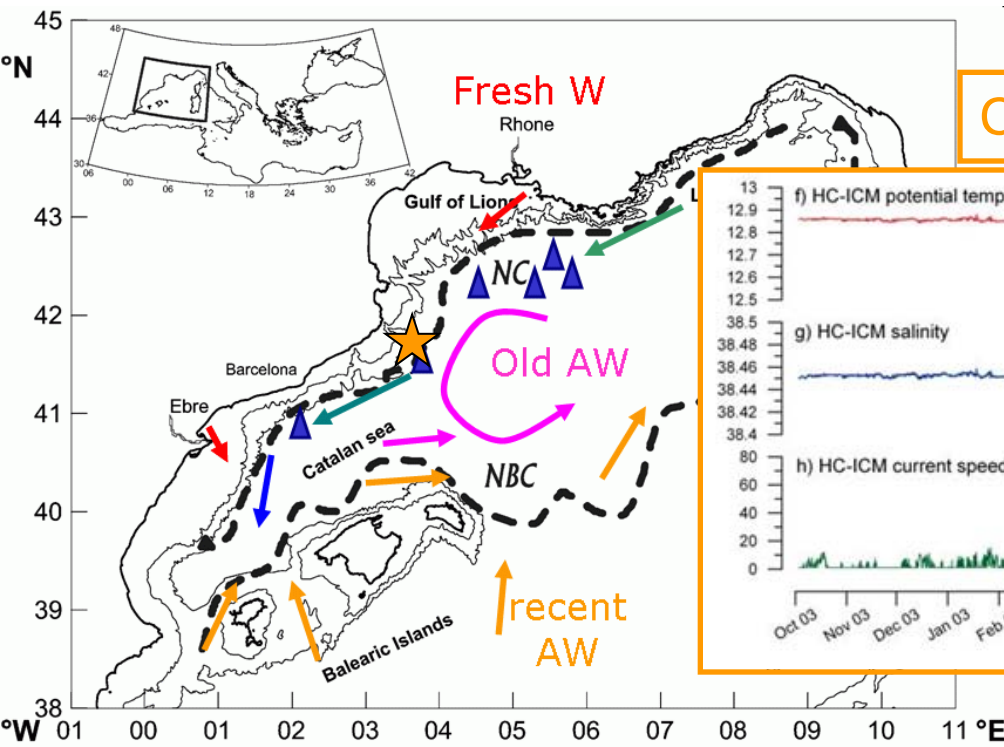
el Mediterráneo también
se calentaba ¿no?

Formación de agua profunda Mediterránea

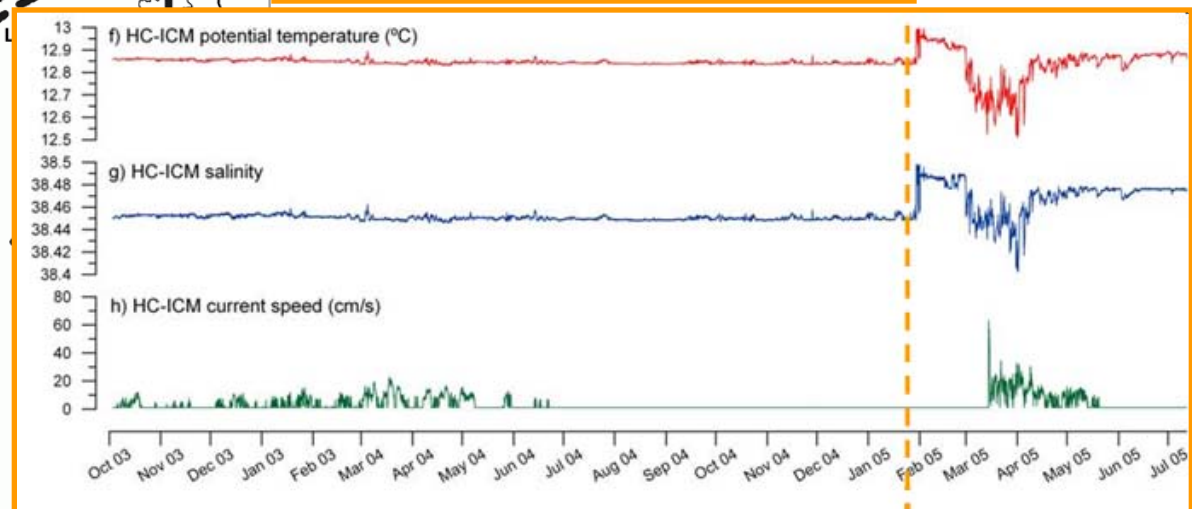
Esquema general:
circulación y masas de agua

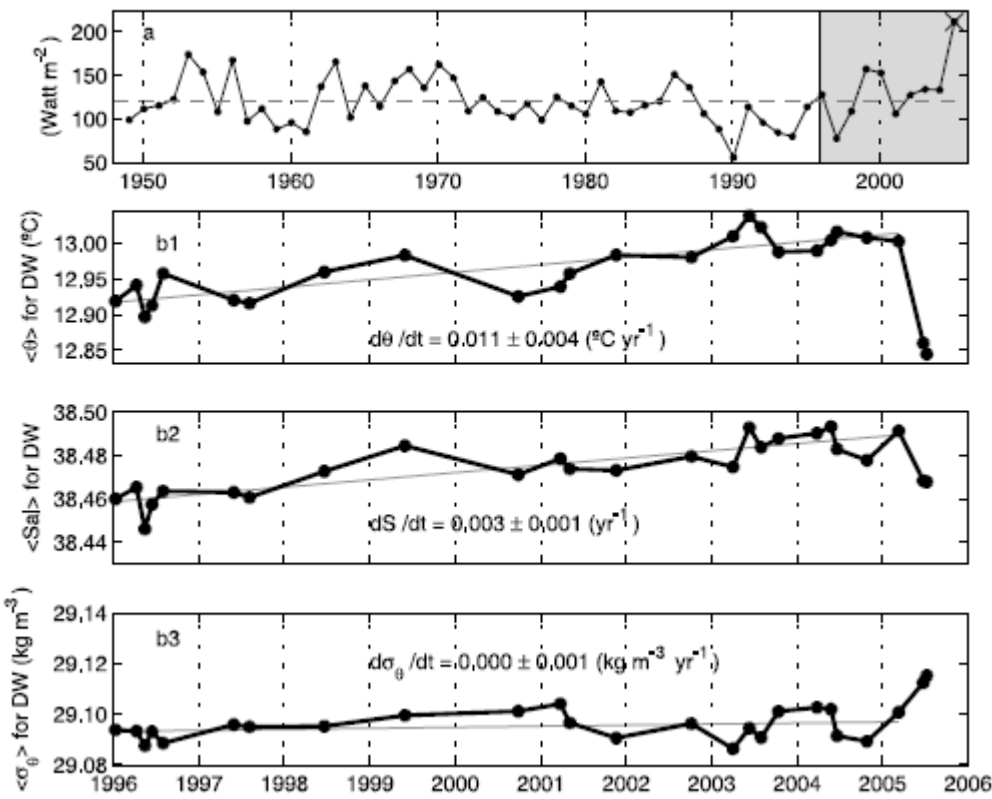
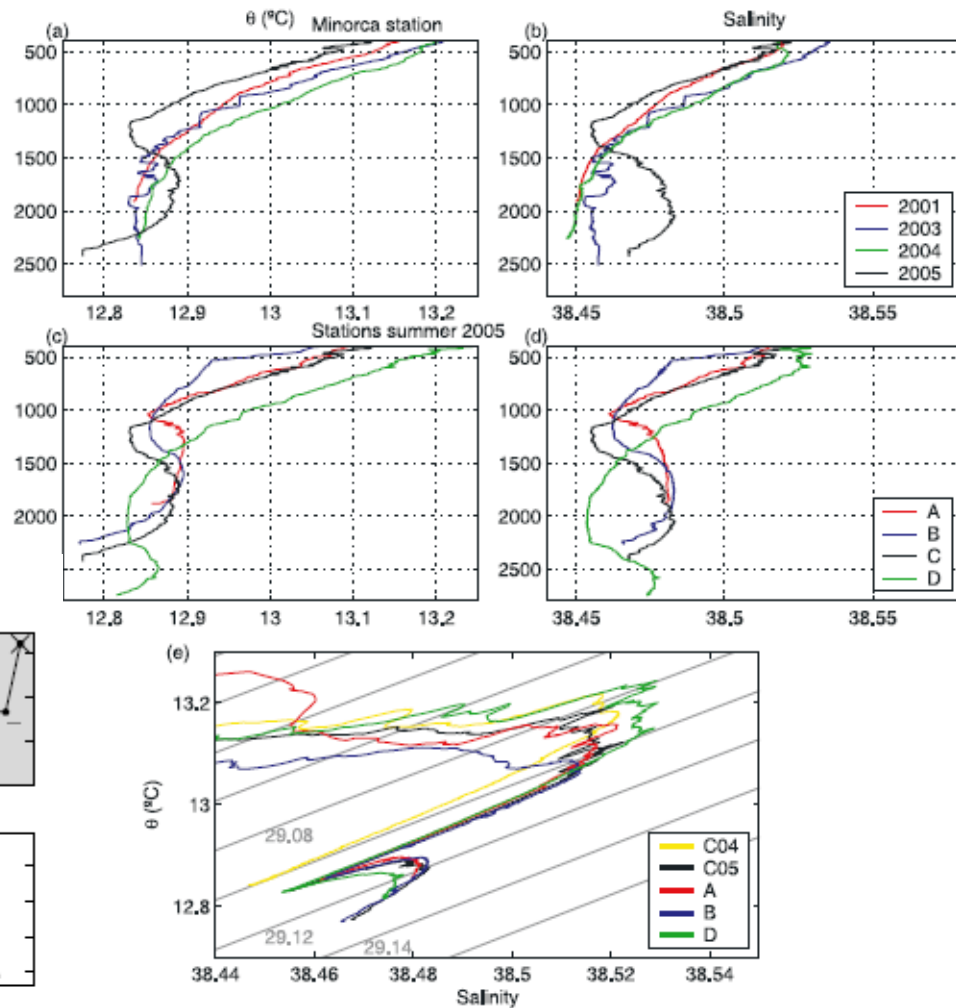
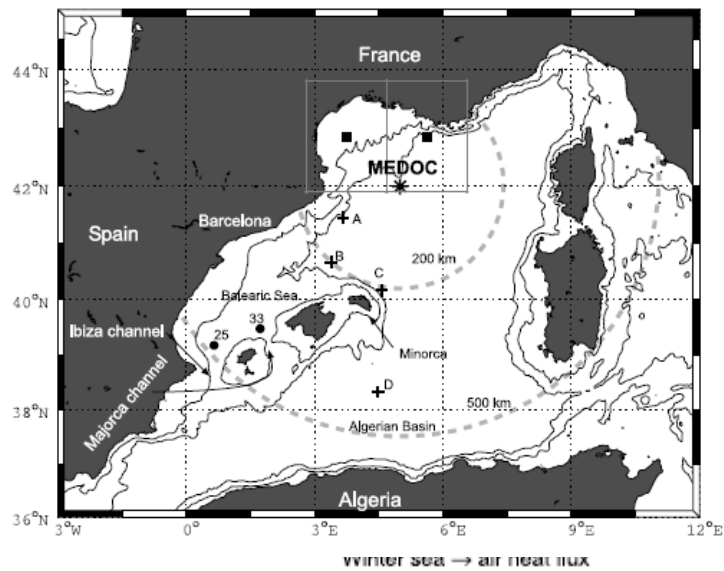


Mar abierto: O
y cascading: C



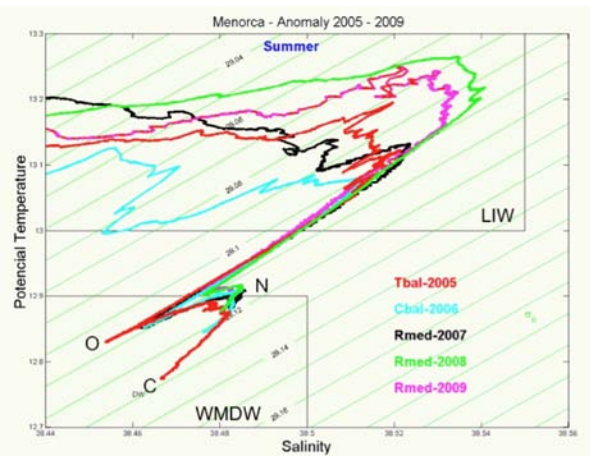
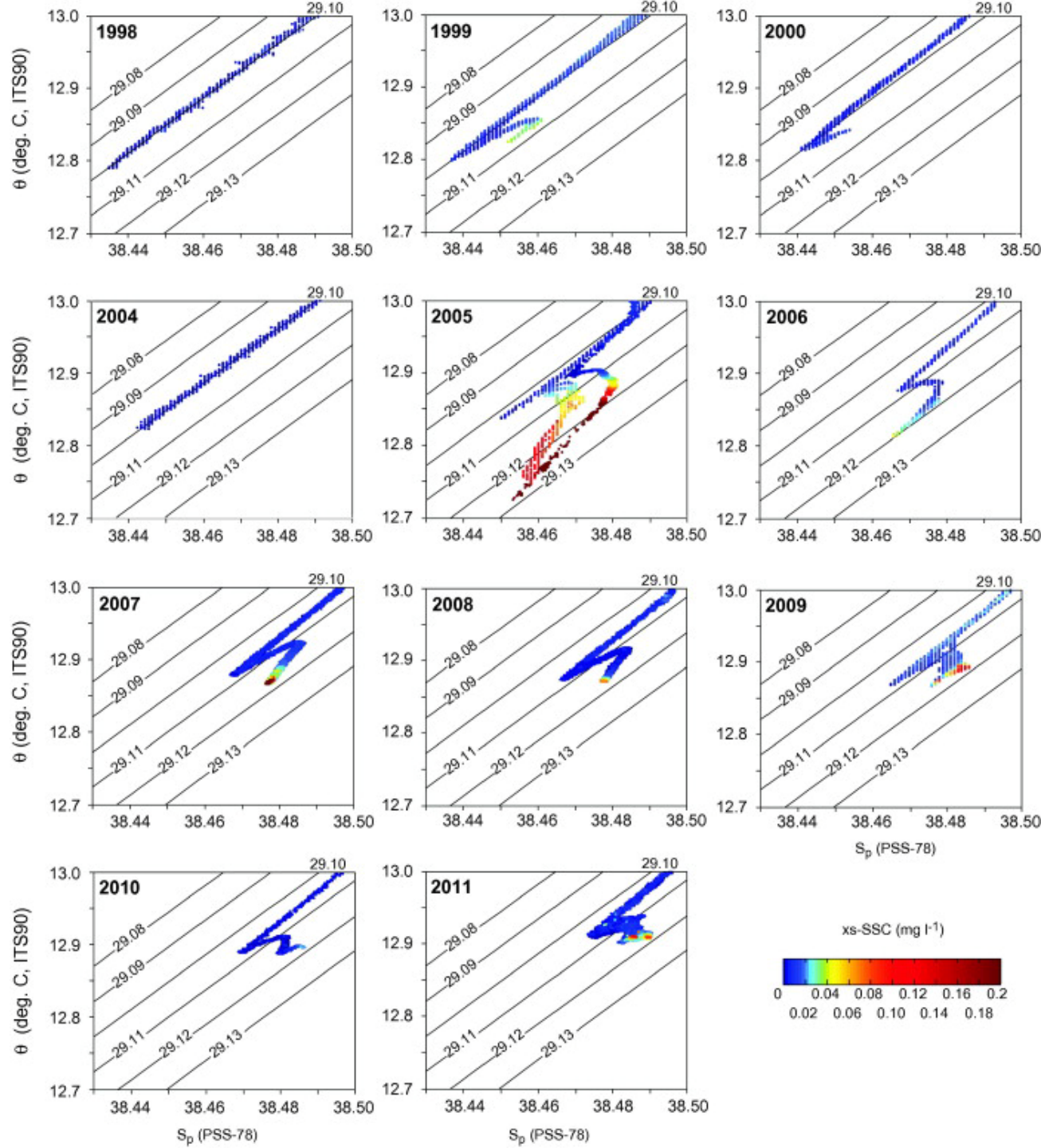
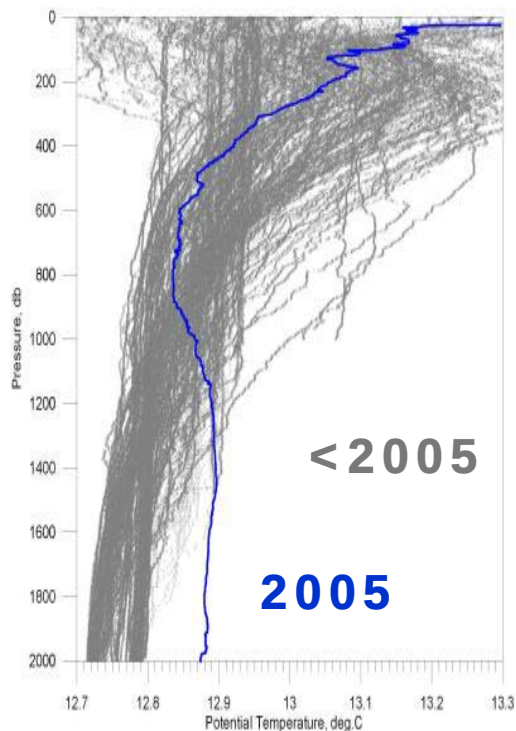
Cambio brusco 2005+





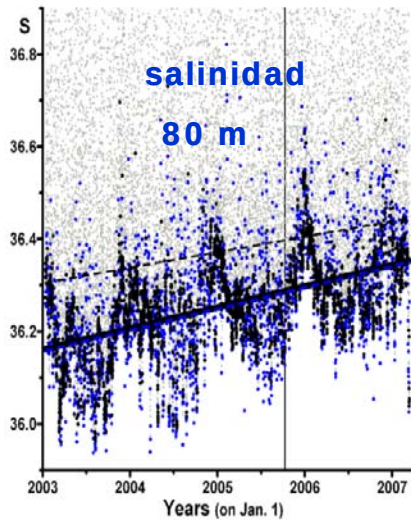
Cambio brusco en
2005: Western Med.
Transition: WMT

WMT

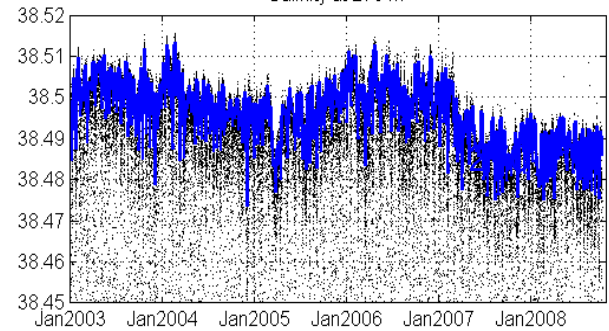
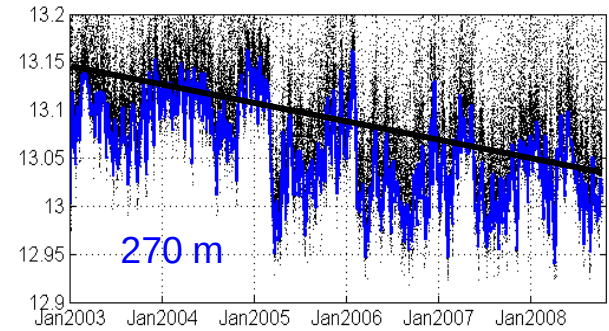
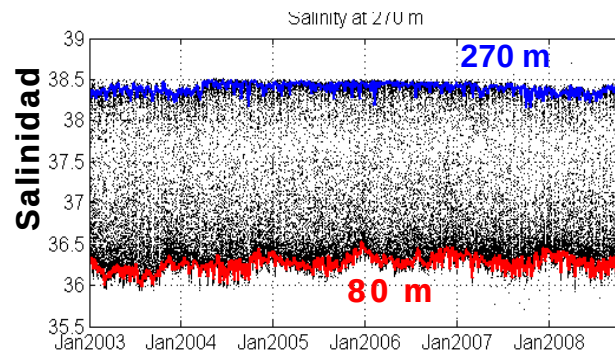
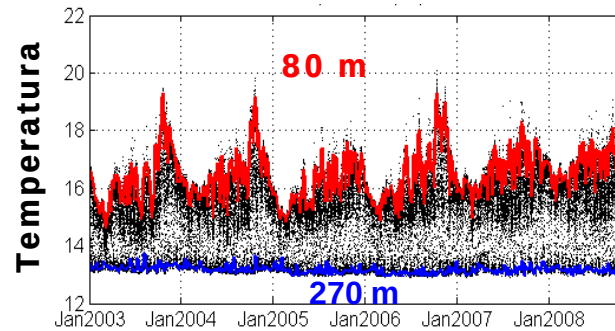


WMT

Gibraltar entrada/salida



Zoom entrada



Zoom salida

Comentarios finales

- Hay cambios progresivos ... y cambios bruscos
(los modelos resuelven mal los cambios bruscos)
- Hay almacenes de calor ocultos en el océano
(no se sabe cuando lo van a “soltar”)
- Hay diferencias de ritmo de calentamiento entre capas y entre el mar y el aire
(pueden afectar el régimen de precipitaciones)
- Tenemos un problema y mucha incertidumbre.
(el océano nos puede contar mucho más....)

PERO HAY QUE ESTUDIARLO

Muchas gracias

Institut
de Ciències
del Mar



CSIC
CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS