

3. Circulación Oceánica y Clima

Capítulo 14 El Mar Mediterráneo

Joaquim Ballabrera

Institut de Ciències del Mar, CSIC, Barcelona

joaquim@icm.csic.es

Introducción

➤ El Mar Mediterráneo es una cuenca semicerrada que comunica con el océano Atlántico y expuesta a un **clima continental**. Su dinámica responde a los intercambios con el océano Atlántico y la atmosfera y tiene un gran efecto en la circulación del océano Atlántico.



Introducción

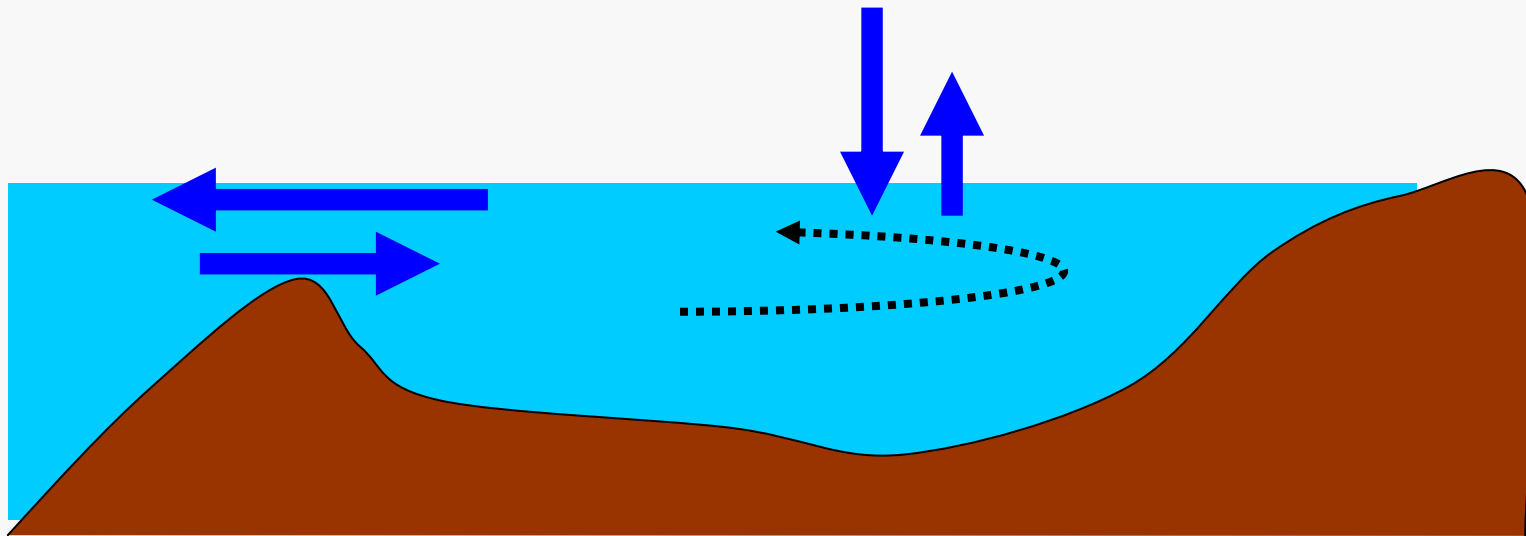
- El mar Mediterráneo se compone de dos cuencas de similar tamaño: **occidental** y **oriental** que se conectan por el **estrecho de Sicilia** que impide que se mezclen las aguas profundas de ambas cuencas.
- El **mar Adriático**, entre Italia y los Balcanes, es estrecho y poco profundo, se comunica con el Mediterráneo oriental por el **estrecho de Otranto**.
- El **mar Egeo**, entre Grecia y Turquía, se haya sobre plataforma continental y se conecta con el Mediterráneo oriental a través de diferentes estrechos.
- El **mar de Alborán** es la región más occidental del Mar Mediterráneo y se conecta con el océano Atlántico a través del **estrecho de Gibraltar**.

Introducción

- En 1970 testigos profundos obtenidos por el *Glomar Challenger* mostraron que el mar Mediterráneo ha experimentado **periodos de aislamiento** del océano mundial, provocando la evaporación de casi todas sus aguas y la deposición de grandes capas de sal, que fueron después cubiertas por barro fluvial.
- La última apertura del estrecho de Gibraltar, que provocó el rellenado de la cuenca mediterránea, tuvo lugar hace 5,5 millones de años.
- El agua del Mediterráneo tuvo que haber **aumentado el nivel del océano global** en 10 m, y la deposición de sus sales hizo **disminuir la salinidad** de los mares, cosa que supone un aumento de la temperatura de congelación.

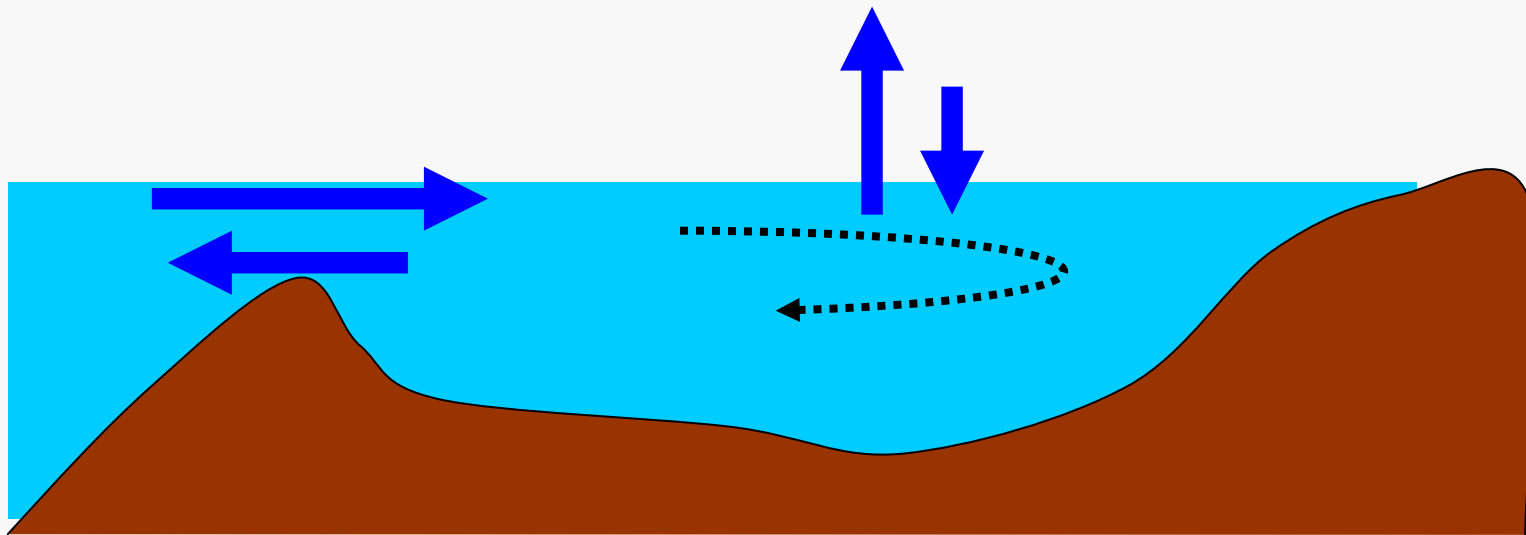
Circulación del Mar Mediterráneo

- Hace unos 8000 años, la circulación era de tipo **estuario**: cuerpo de agua separados del océano global por un paso estrecho y altamente influenciados por un aporte de agua dulce (aporte fluvial y precipitación).



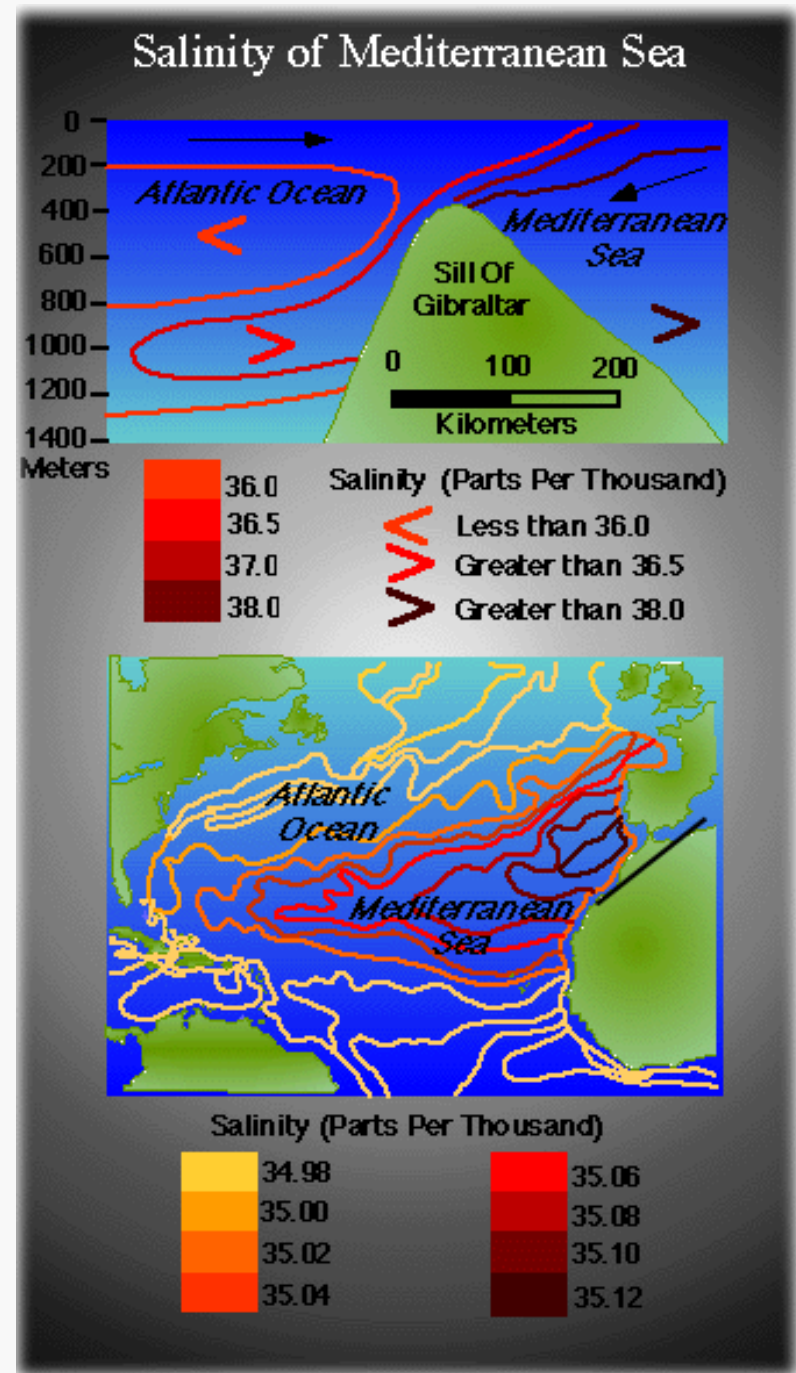
Circulación del Mar Mediterráneo

- La circulación actual del Mar Mediterráneo es de **laguna**: cuerpo de agua separado del océano global por un paso estrecho y altamente influenciados por la evaporación y



Introducción

- En el océano Atlántico, a 1000-1500 m de profundidad se detectan aguas de origen Mediterráneo a miles de kilómetros de distancia del estrecho de Gibraltar.
- Se ha hipotetizado que la salinidad del agua de origen mediterráneo contribuye a la formación del **agua profunda del Atlántico Norte (NADW)** y que, en ausencia del agua mediterránea la circulación global sería muy diferente.

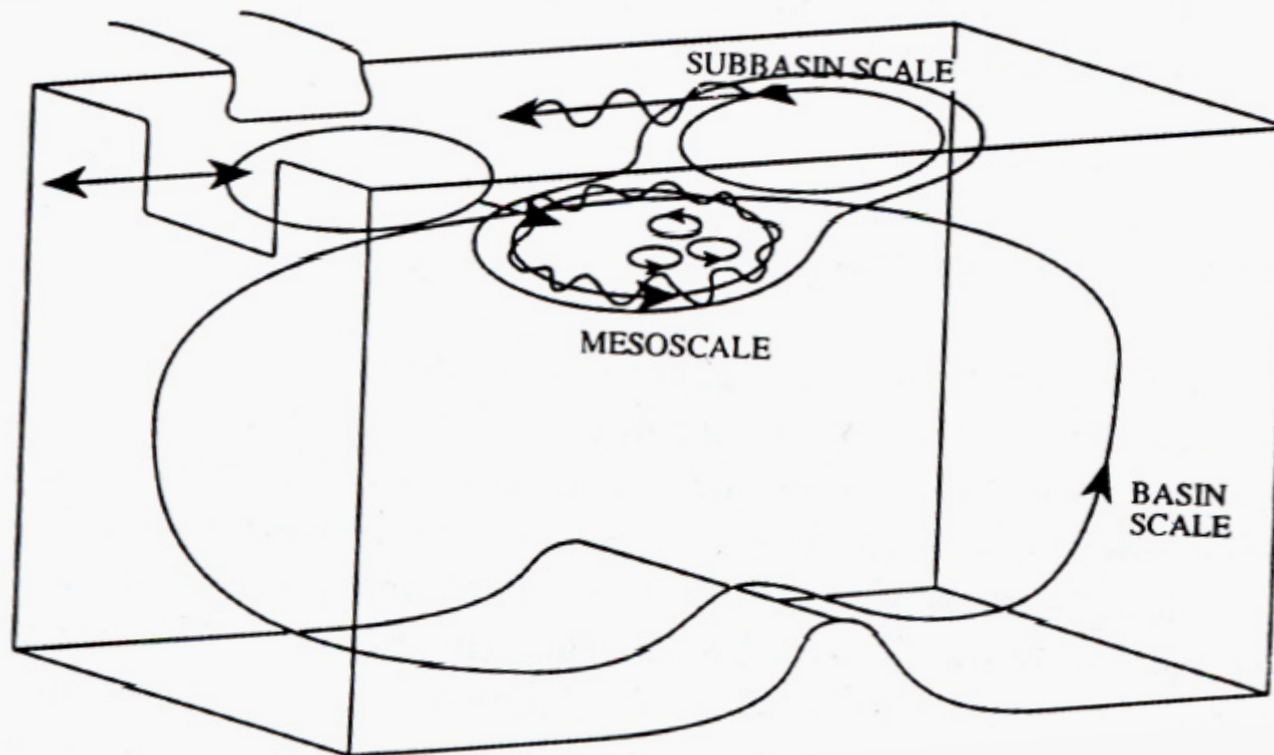


Circulación del Mar Mediterráneo

- La circulación en el mar Mediterráneo está forzada por el intercambio de agua a través de los estrechos de Gibraltar (y Sicilia, ...), la tensión del viento, y flujo de flotabilidad.
- La circulación del mar Mediterráneo está compuesta por múltiples escalas (de cuenca y mesoescala) que interactúan entre ellas.
- En el mar Mediterráneo se pueden encontrar: corrientes de frontera, jets, meandros, filamentos, giros anticiclónicos y energéticos torbellinos de mesoescala.
- La complejidad de su circulación está originada por las diversas fuerzas que actúan y el control topográfico.

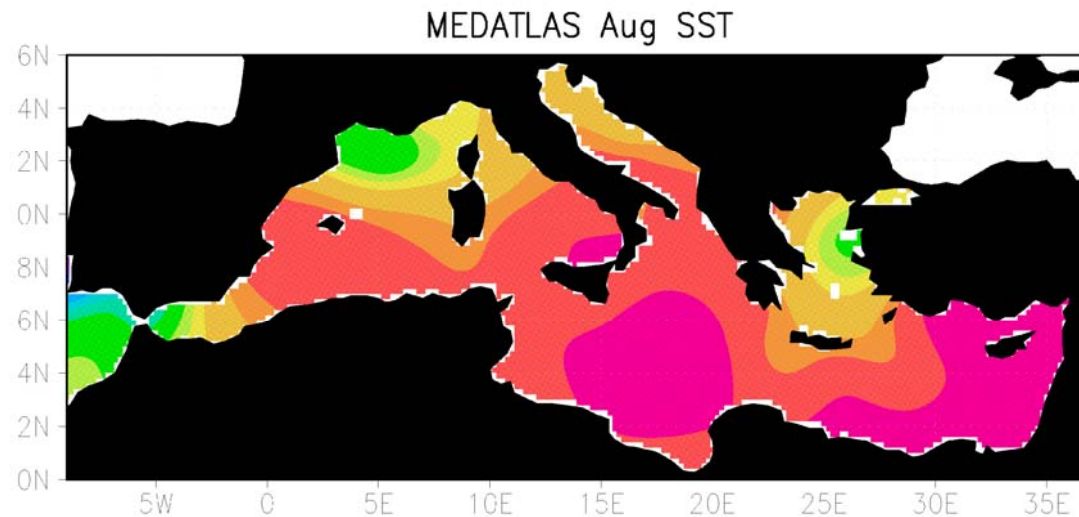
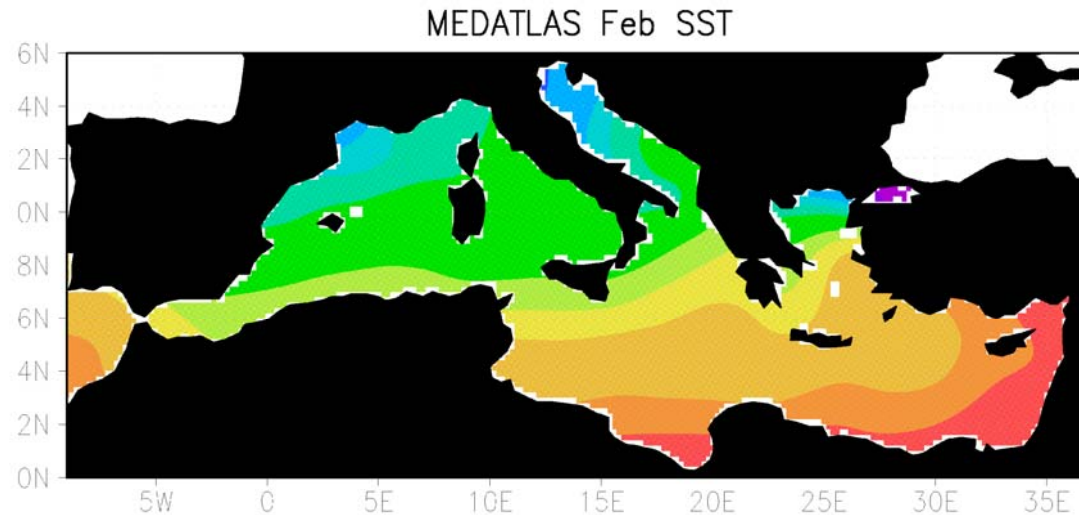
Circulación del Mar Mediterráneo

- **Todos los procesos dinámicos oceánicos relevantes del clima global** (la circulación termohalina, la formación de agua profunda, transformación de aguas, dispersión y mezcla) son observados en el Mediterráneo.



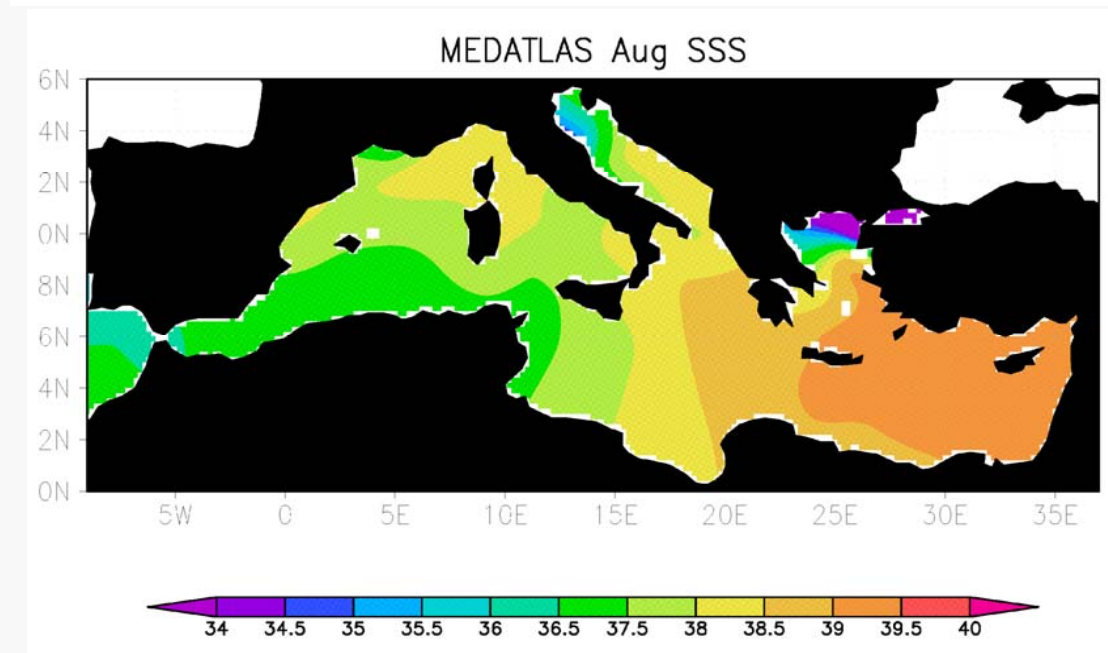
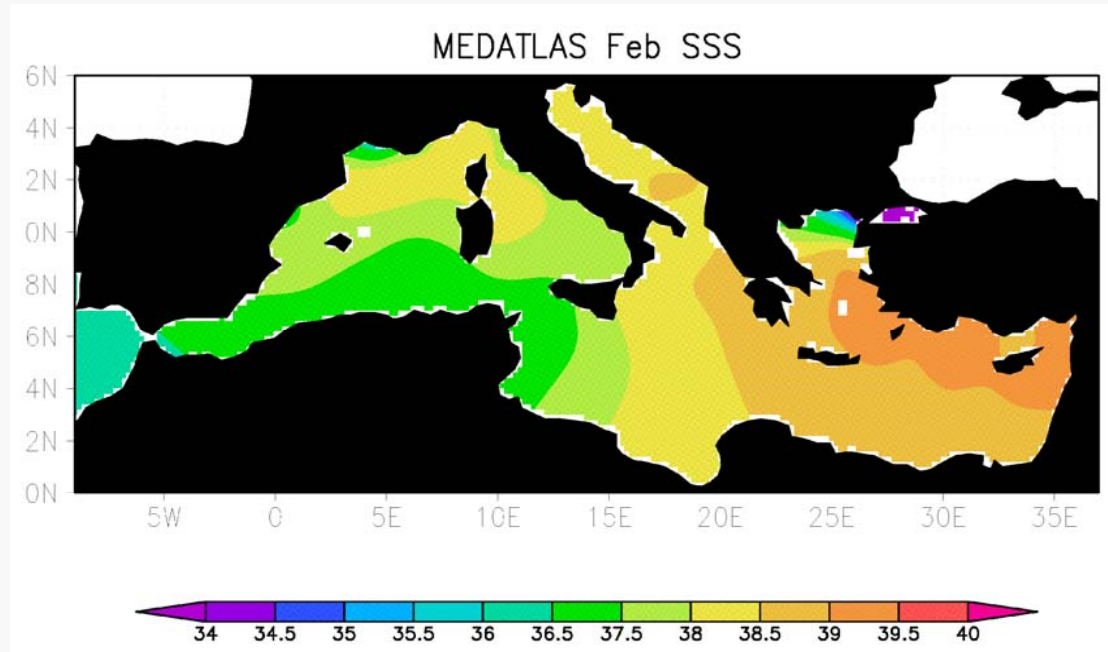
Masas de agua

- El Mediterráneo se compone de diferentes masas de agua contiguas.
- La temperatura y salinidad (y la densidad) varían drásticamente de una masa a otra.
- Hay variabilidad estacional e interanual.



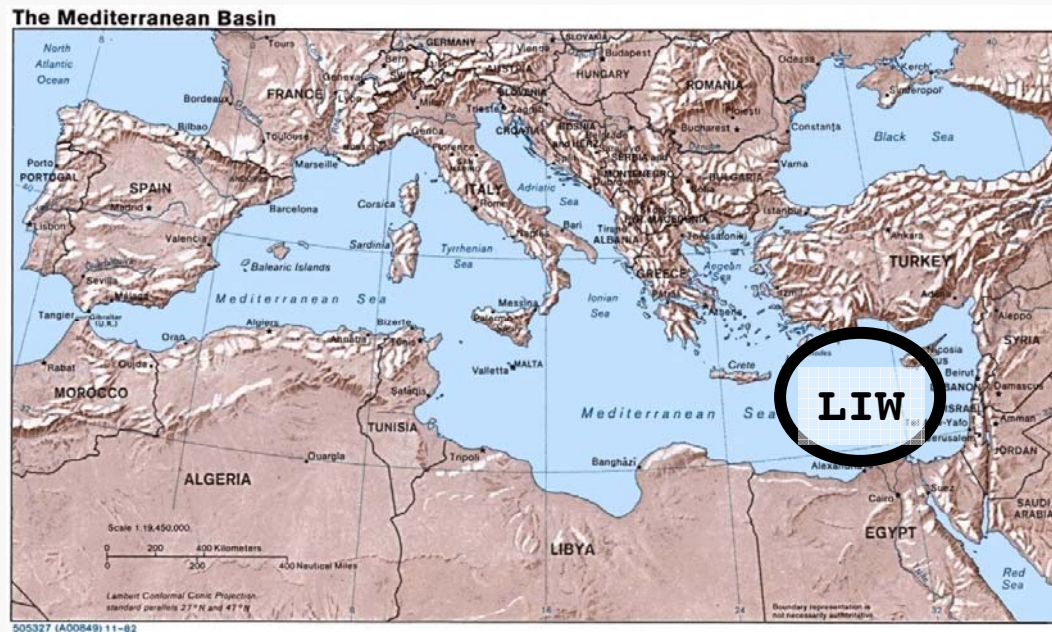
Masas de agua

➤ Son cuencas de evaporación, con un flujo proveniente del Atlántico a través de Gibraltar y hacia la cuenca oriental a través del estrecho de Sicilia. La densidad aumenta mientras el agua circula por el Mediterráneo, debido a la excepcional evaporación en el Mediterráneo.



Masas de agua

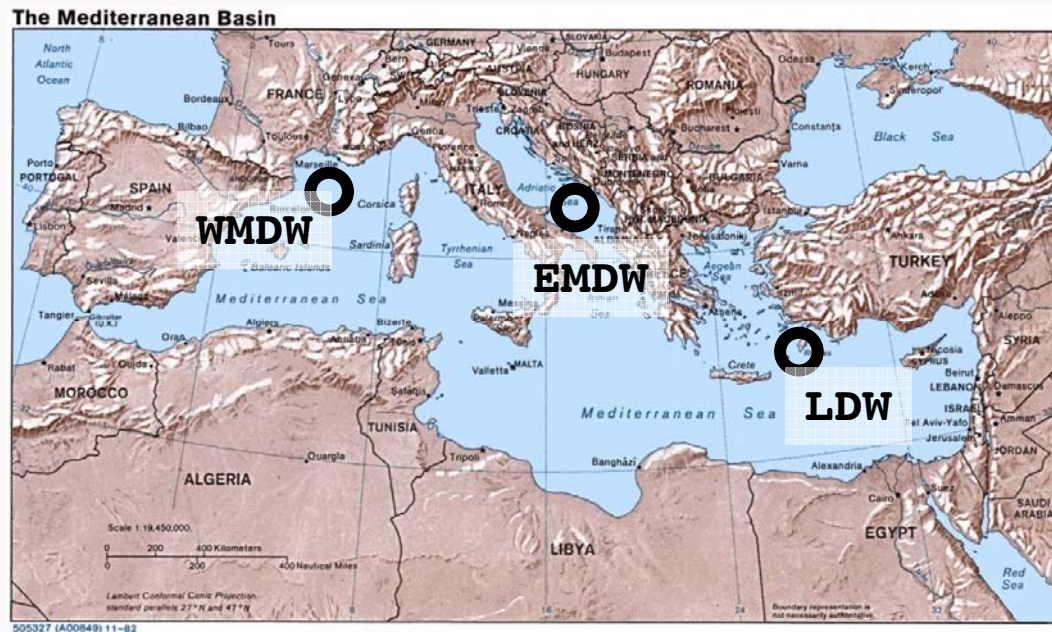
- Aguas intermedias/profundas se producen por la pérdida de calor y la evaporación durante el invierno.
- En la región levantina, la evaporación invernal produce el agua intermedia levantina (**LIW**) que se hunde a las profundidades intermedia de 300-500 m.
- El LIW cruza el Mediterráneo y sale en profundidad por Gibraltar.



La región
levantina es
el motor del
Mar
Mediterráneo

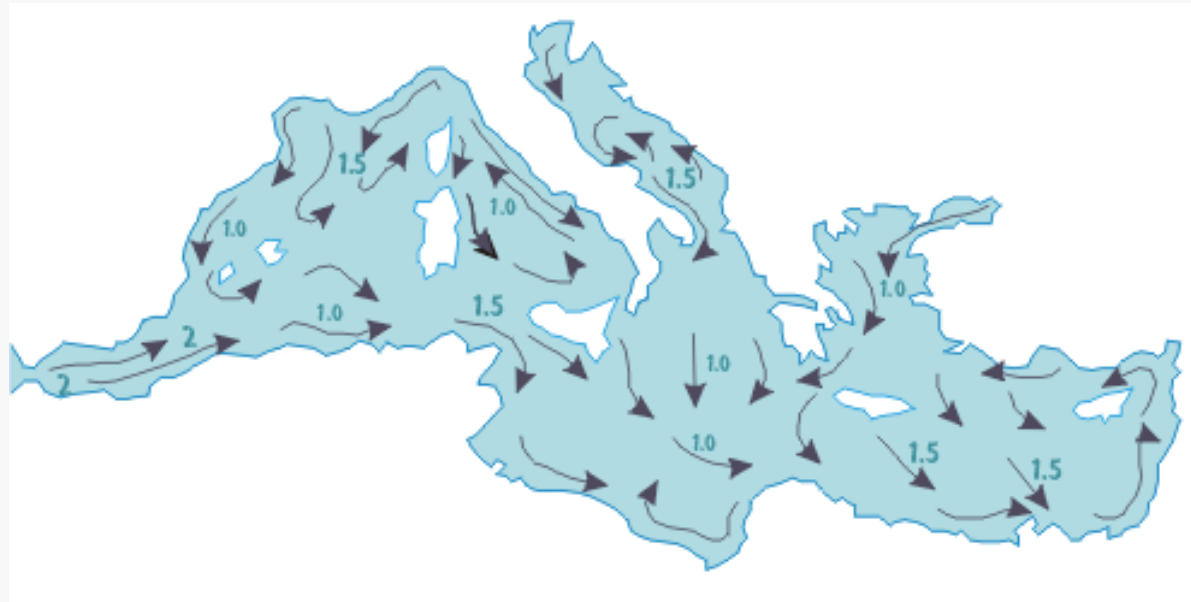
Masas de agua

➤ Zonas de formación de aguas profundas son: el **Golfo de León** en el Mediterráneo occidental (WMDW), la parte sur del **Mar Adriático** en el Mediterráneo oriental (EMDW), que se hunde a través del estrecho de Otranto y, en inviernos excepcionalmente fríos, en la **cuenca Levantina** (LDW).

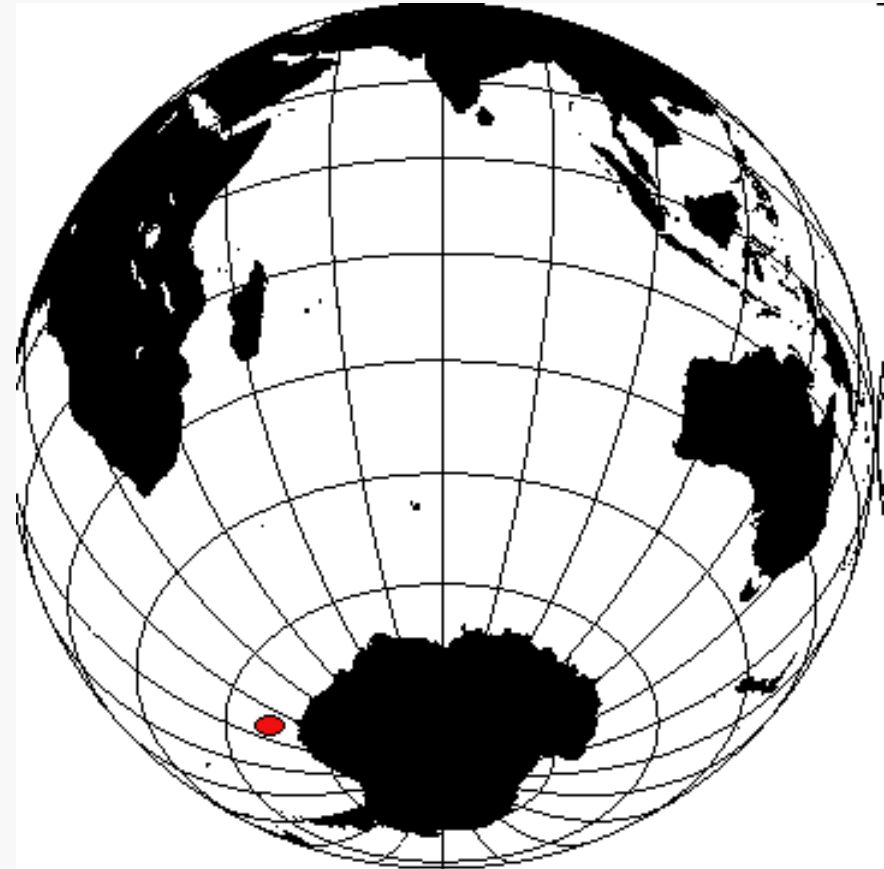
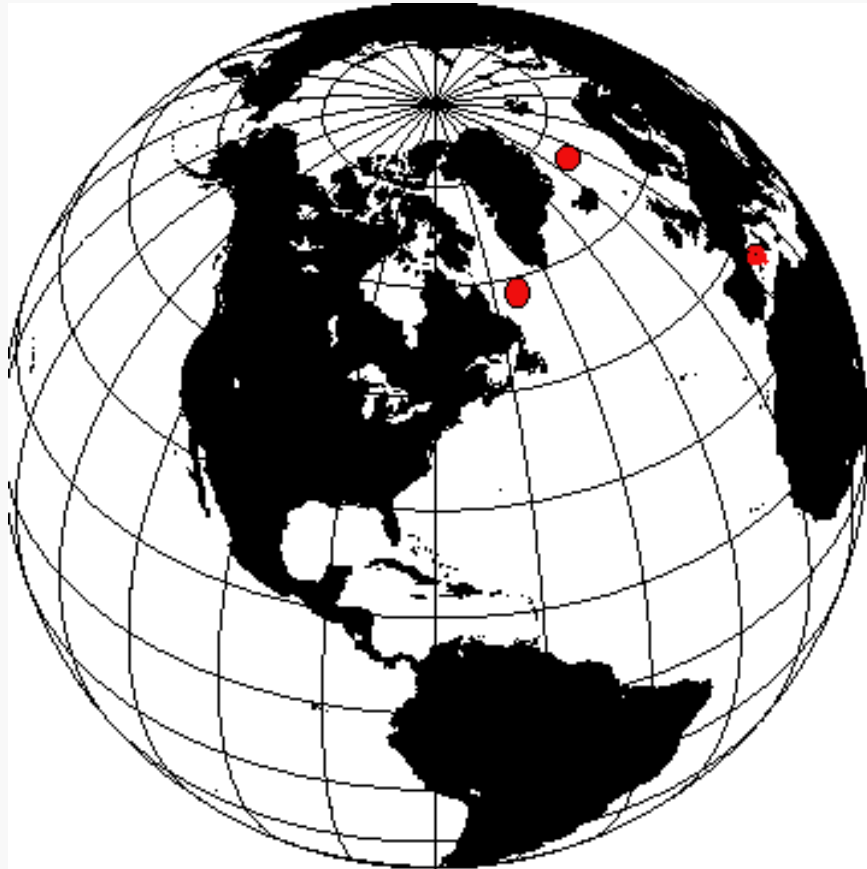


Masas de agua

- La hidrodinámica del Mar Mediterráneo se compone de **tres masas de agua dispuestas a diferentes profundidades**: una capa superficial de agua Atlántica en diferentes grados de modificación, una capa intermedia y una capa de fondo de aguas transformadas.



La convección en el Golfo de León

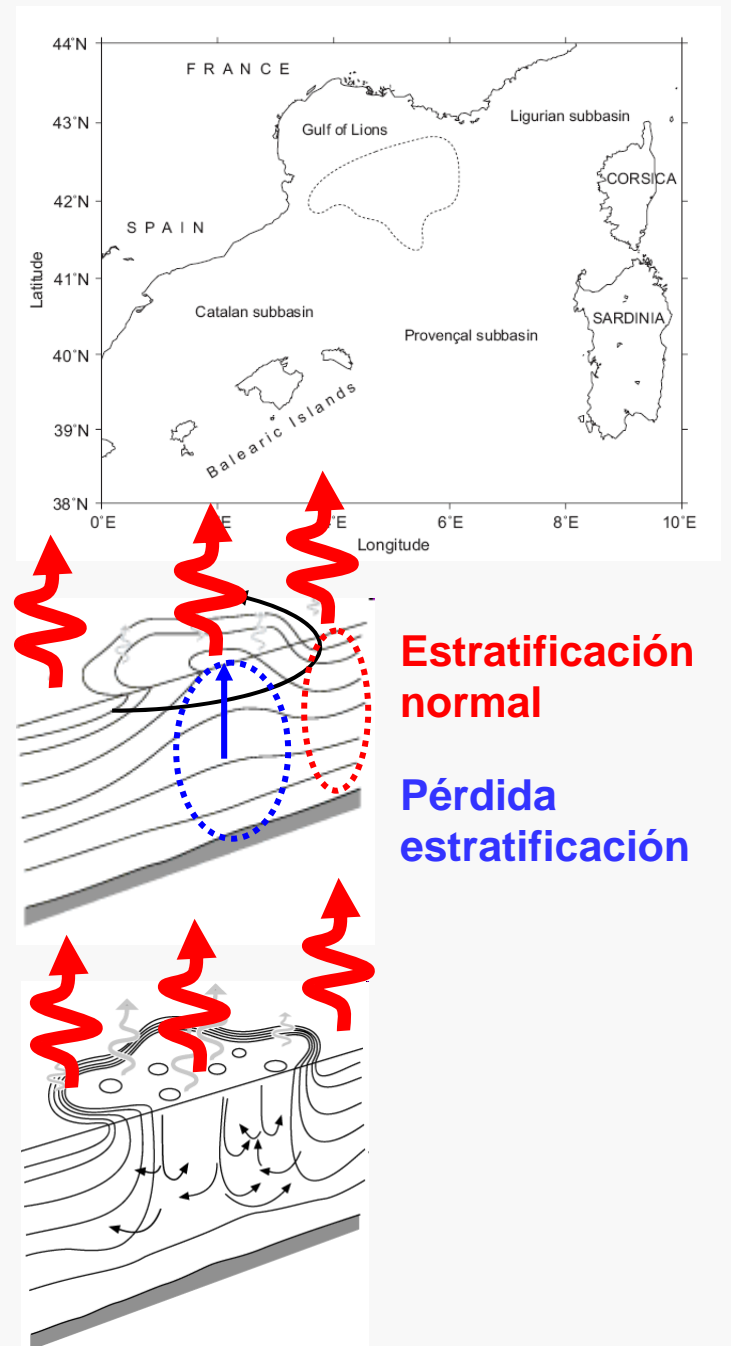


La convección en el Golfo de León

Proceso por etapas:

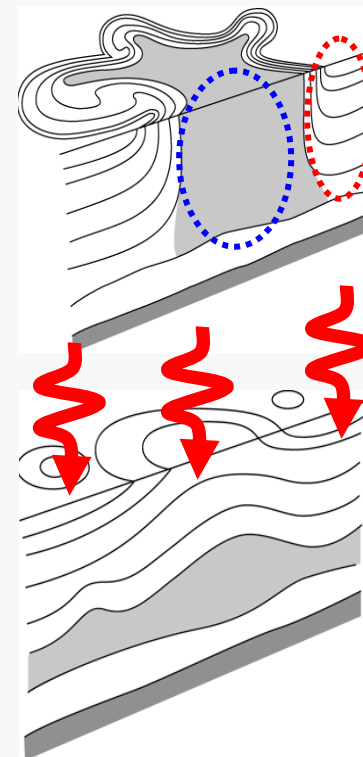
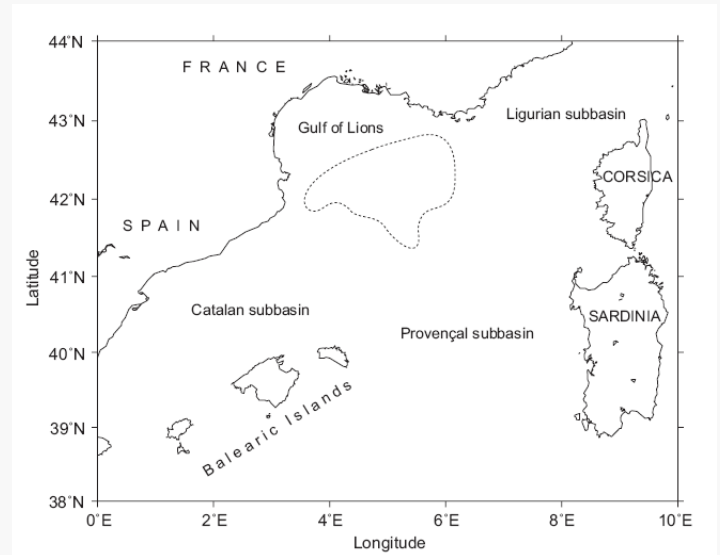
- 1. Pre-condicionamiento** inicial durante el invierno por pérdida de flotabilidad debido a vientos fríos y secos (Mistral y Tramuntana) y circulación ciclónica.
- 2. Convección profunda** provocada, al final, por los vientos fríos y secos de mistral del Valle del Ron sobre el Golfo de León.

El tamaño de las regiones convectivas (“patch”) puede variar desde las decenas hasta las centenas de kilómetros.



La convección en el Golfo de León

- 3. Hundimiento y expansión:** los procesos de mezcla incorporan fragmentos de las chimeneas a la circulación general y, al resto del océano. Si la convección se reiniciara, la chimenea ella misma se haría más profunda.
- 4. Reestratificación** provocada por un cambio en el flujo de flotabilidad en superficie o por mezcla turbulenta con el resto del fluido. El agua procedente de la convección es aislada de la atmósfera.



Estratificación normal

Homogéneo

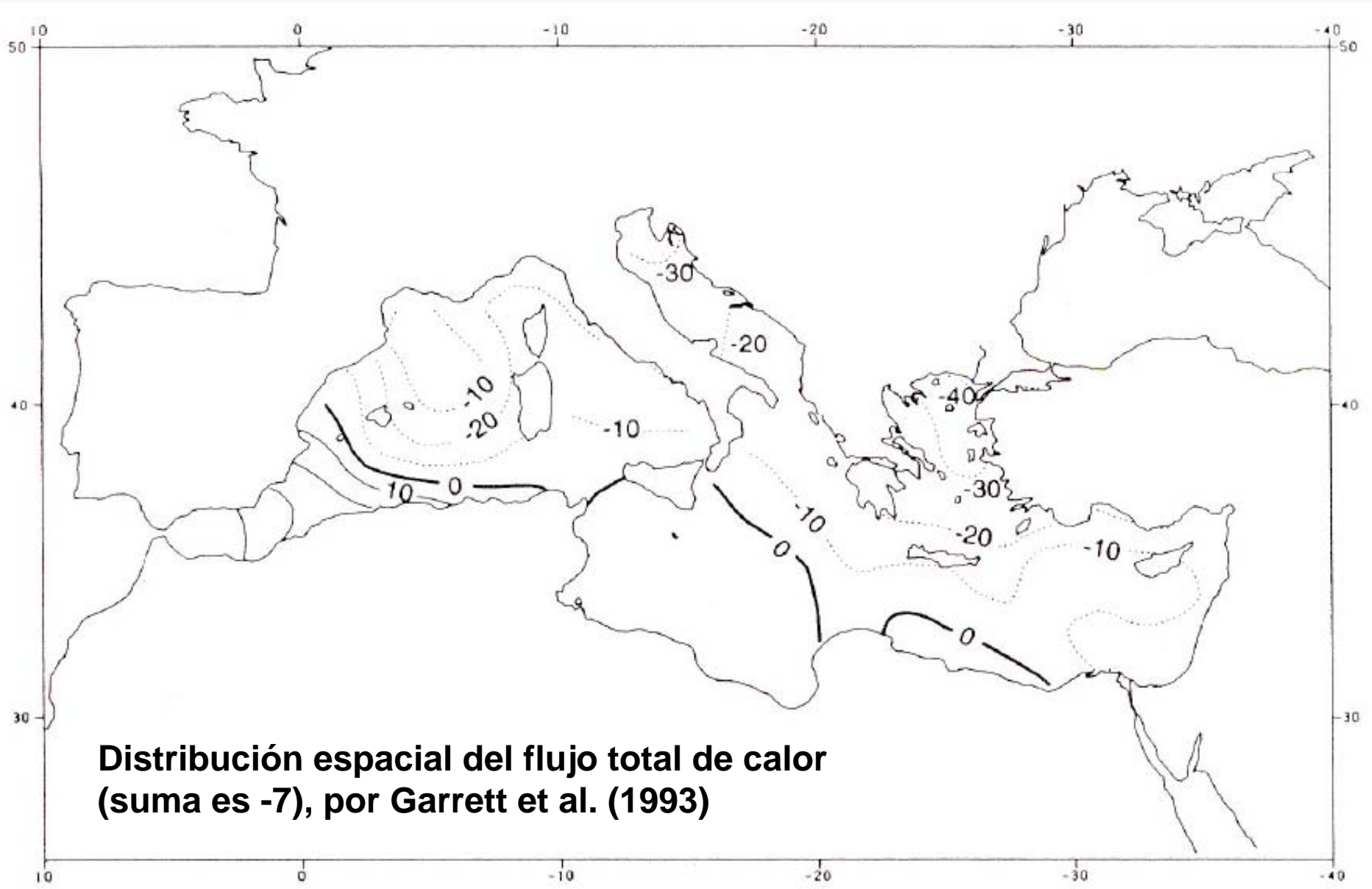
Balances anuales

➤ En el estrecho de Gibraltar, el agua mediterránea es más fría y salada que el agua atlántica: El Mediterráneo experimenta un enfriamiento y evaporación netos.

$$\begin{array}{c}
 \text{Insolación} \\
 \text{solar}
 \end{array}
 Q_{sw} - \begin{array}{c}
 \text{Calor latente} \\
 \text{evaporación}
 \end{array} Q_e - \begin{array}{c}
 \text{Radiación} \\
 \text{onda larga}
 \end{array} Q_{lw} - \begin{array}{c}
 \text{Calor} \\
 \text{sensible}
 \end{array} Q_s = Q_t = -7 \pm 3 \text{ W m}^{-2}$$

202	52	101	13	36	Bunker et al. (1982)
202	68	101	13	20	
202	68	130	11	-7	
202	67	99	7	29	Garrett et al. (1993)
166	67	99	7	-7	
202	67	133	9	-7	
186	77	99	7	3	Gilman and Garrett (1993)

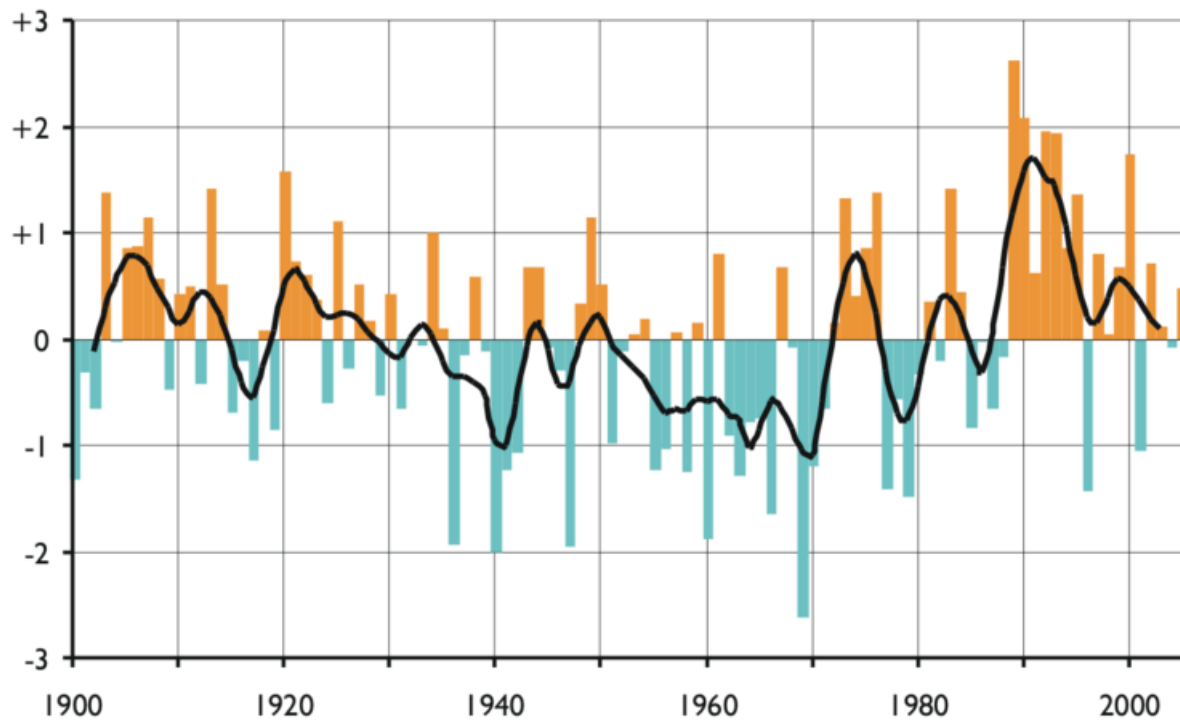
Balances anuales



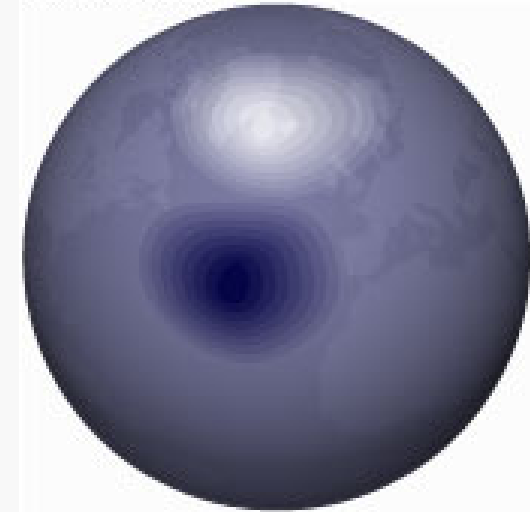
Distribución espacial del flujo total de calor (suma es -7), por Garrett et al. (1993)

Variabilidad flujos calor y agua

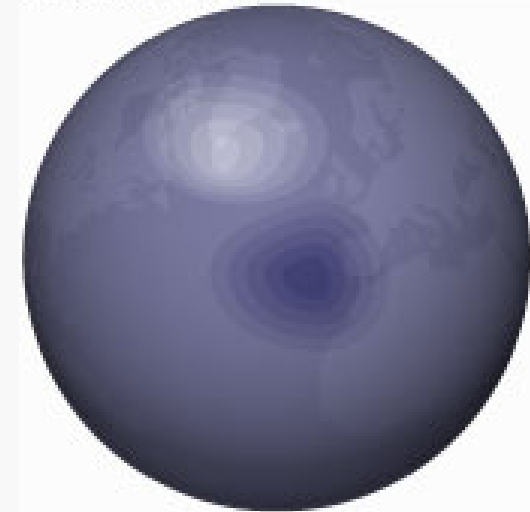
- El principal modo de variabilidad en el mediterráneo es debida al ciclo anual.
- La variabilidad interanual e está influenciada por la NAO.



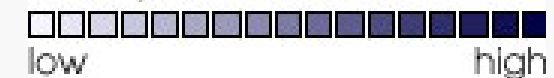
Positive NAO



Negative NAO



Atmospheric Pressure

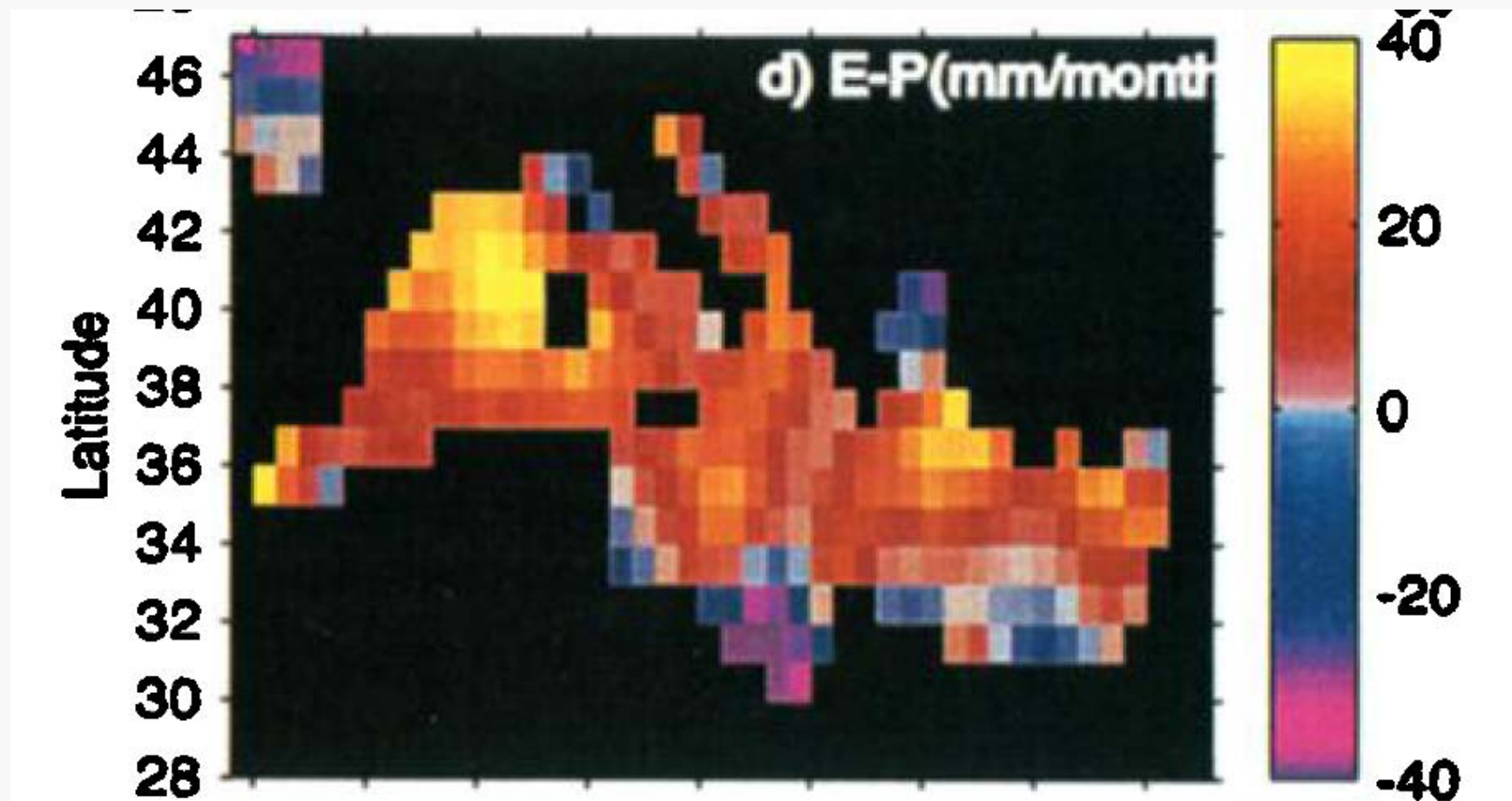


Variabilidad flujos calor y agua



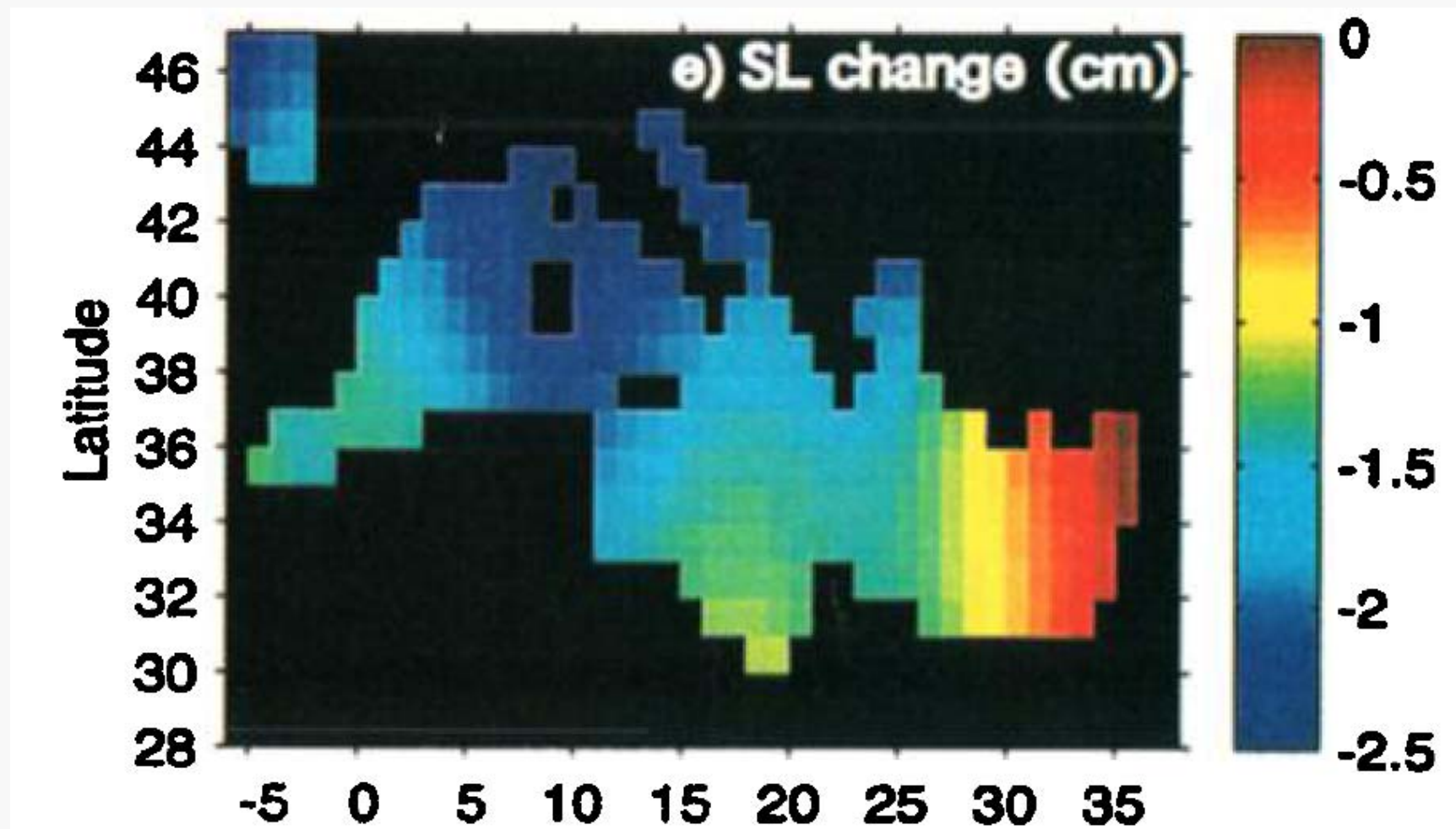
Diferencia de SLP en el Mediterráneo entre los 10 máximos de la NAO en invierno y los 10 mínimos.

Variabilidad flujos calor y agua



Diferencia de E-P en el Mediterráneo entre los 10 máximos de la NAO en invierno y los 10 mínimos.

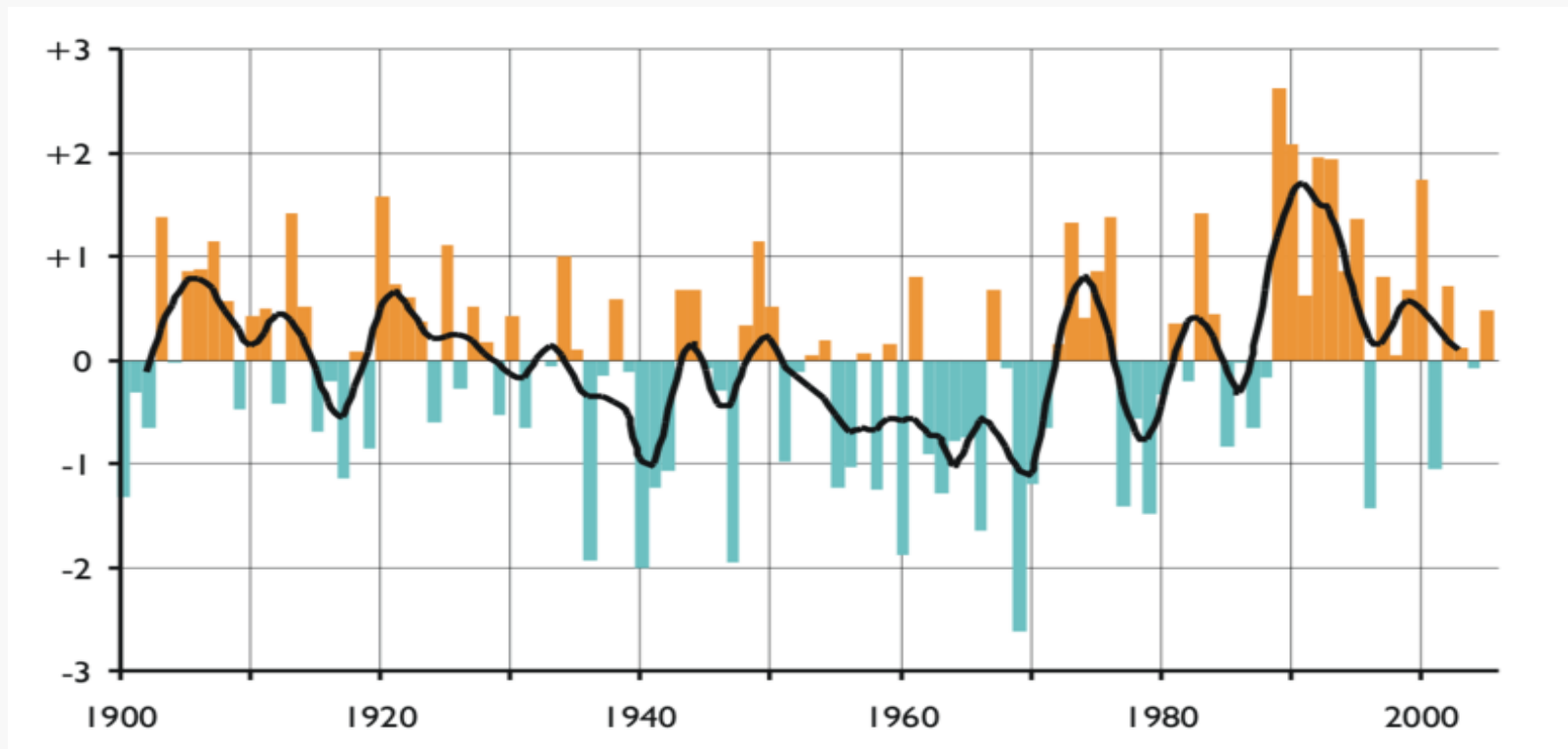
Variabilidad flujos calor y agua



Diferencia de SSH en el Mediterráneo entre los 10 máximos de la NAO en invierno y los 10 mínimos.

Variabilidad flujos calor y agua

- En el periodo 1958-1993, el nivel del mar estuvo disminuyendo $\sim 0.4\text{-}0.6$ mm/yr, forzado por la NAO: mediante la combinación de cambios en la presión atmosférica, la evaporación y la precipitación.



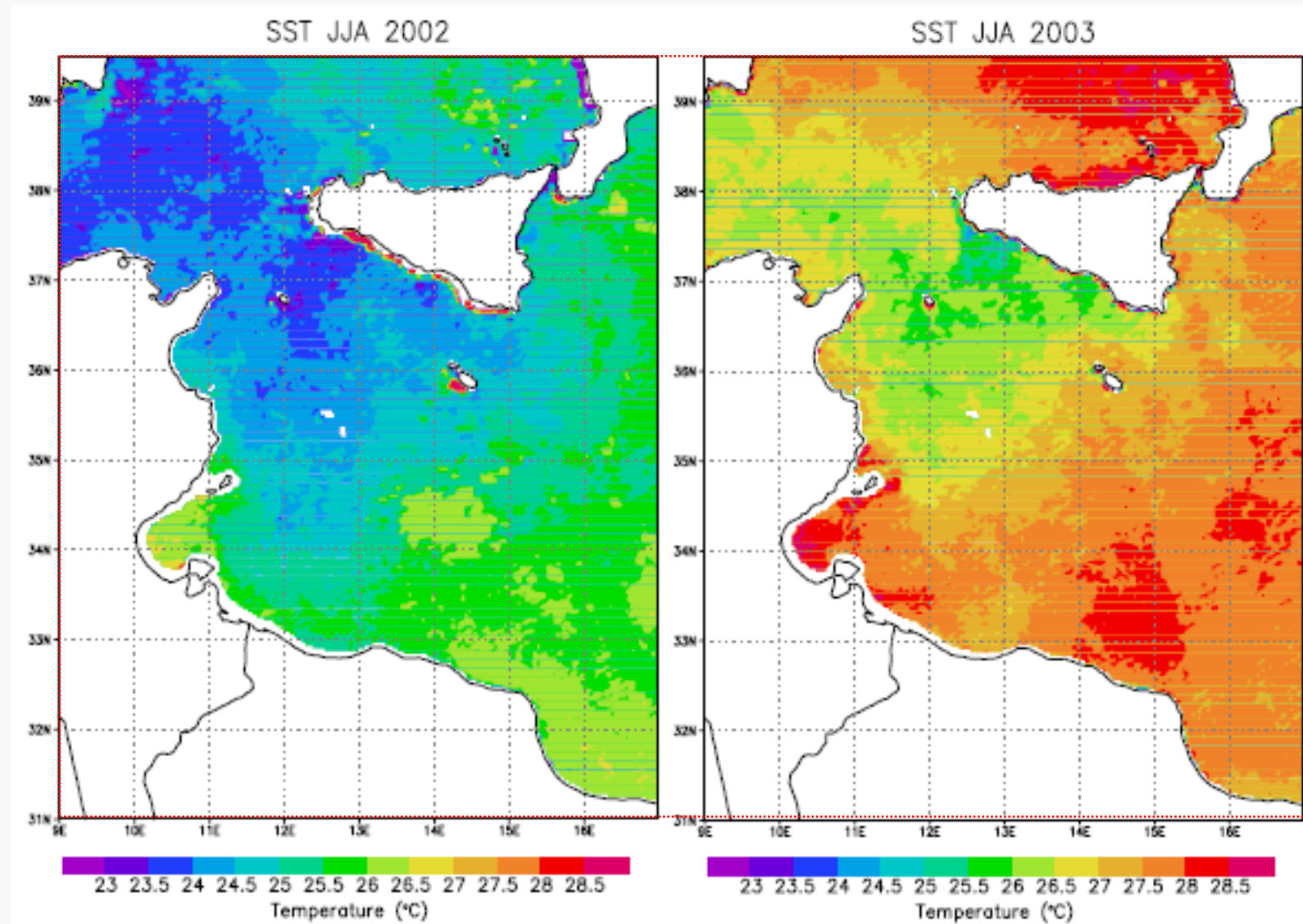
Variabilidad flujos calor y agua

➤ Desde 1993, el nivel del mar está aumentando y no se encuentra ninguna relación sólida con forzamientos atmosféricos.



➤ Se supone que puede deberse al **EMT** (Eastern Mediterranean Transient): cambio de la región de formación de aguas profundas que **durante los años 90 pasó de ser el Mar Adriático a ser, temporalmente, el Mar Egeo**. El cambio de densidades en el fondo del estrecho de Sicilia y los cambios de circulación pueden se han traducido en un aumento del nivel del Mar.

Ola de calor del 2003



Ola de calor del 2003

