

# La estación permanente de Espartel: seis años de medidas continuadas del flujo mediterráneo de salida en la parte occidental del Estrecho de Gibraltar



*GOFIMA (Grupo de Oceanografía Física, Universidad de Málaga)*



Antonio Sánchez-Román, J.García-Lafuente



Gianmaria Sannino. *ENEA (Roma, Italia)*



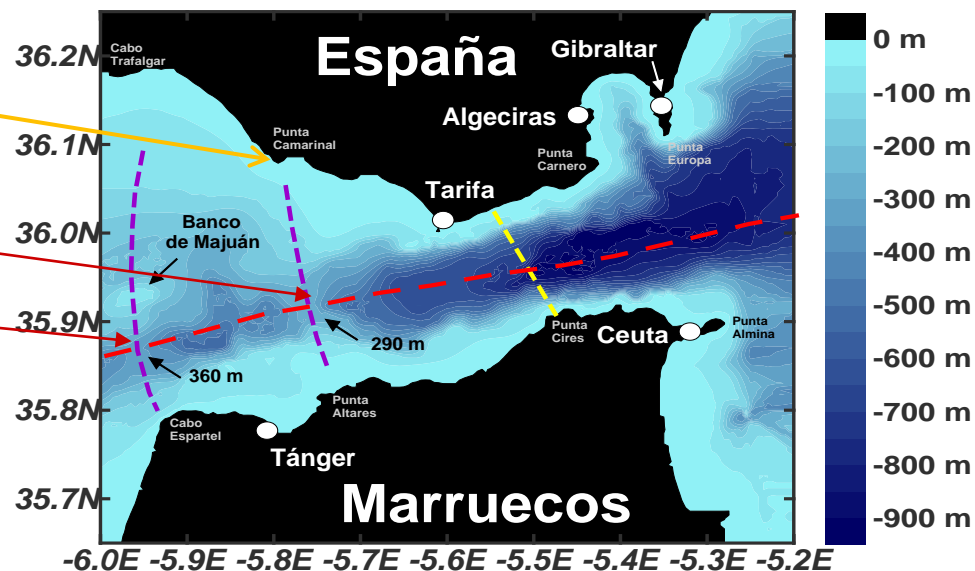
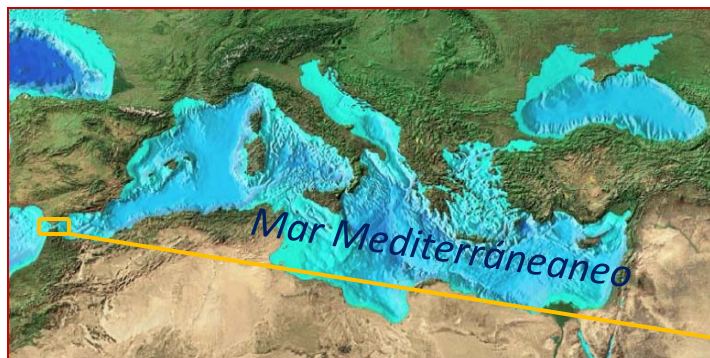
Guillermo Díaz del Río. *IEO (La Coruña, España)*

# La estación permanente de Espartel: seis años de medidas continuadas del flujo mediterráneo de salida en la parte occidental del Estrecho de Gibraltar

## ÍNDICE:

- Características del Estrecho de Gibraltar
- La estación permanente de Espartel
- Registros de velocidad (seis años de observaciones)
- Conclusiones

# Características del Estrecho de Gibraltar



CAMARINAL

ESPARTEL

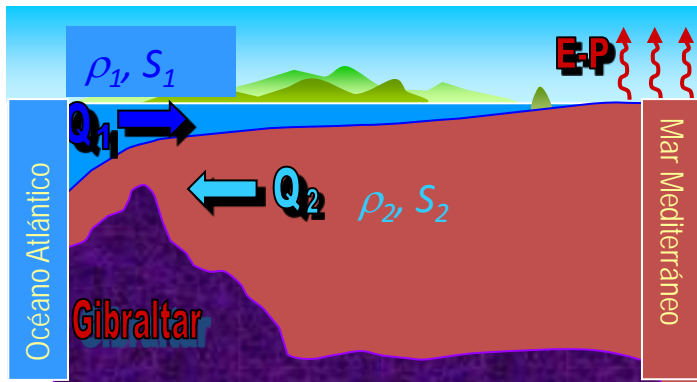
## Características principales

- longitud: 60 Km
- anchura mínima: 14 Km
- profundidad mínima: 290 m



# Características del Estrecho de Gibraltar

## Dinámica del Estrecho



$$Q_1 - Q_2 = E - P; \quad Q_1 S_1 = Q_2 S_2$$

$$Q_2 = (E - P) S_1 / \Delta S \quad Q_1 = (E - P) S_2 / \Delta S$$

A partir de observaciones

A partir de las relaciones de Knudsen

## FLUJOS MEDIOS

Referencia	$Q_1$ (Sv)	$Q_2$ (Sv)	E-P (m/y)	$\Delta S$ ( $S_2 - S_1$ )
Nielsen (1912)	1.87	1.78	1.17	1.91
Schott (1915)	1.74	1.64	1.31	2.31
Sverdrup et al (1942)	1.75	1.68	0.87	1.51
Carter (1956)	0.95	0.91	0.47	1.50
Bethoux (1979)	1.68	1.60	0.95	1.72
Bryden-Stommel (1984)	1.67	1.59	0.95	1.72
García-Lafuente et al. (2000)	0.92	0.87		
Tsimplis-Bryden (2000)	0.78	0.67		
Baschek et al. (2001)	0.81	0.76		
Candela (2001)	1.01	0.97		
García-Lafuente et al. (2002)	0.96	0.84		
Vargas et al. (2006)	0.89	0.82		

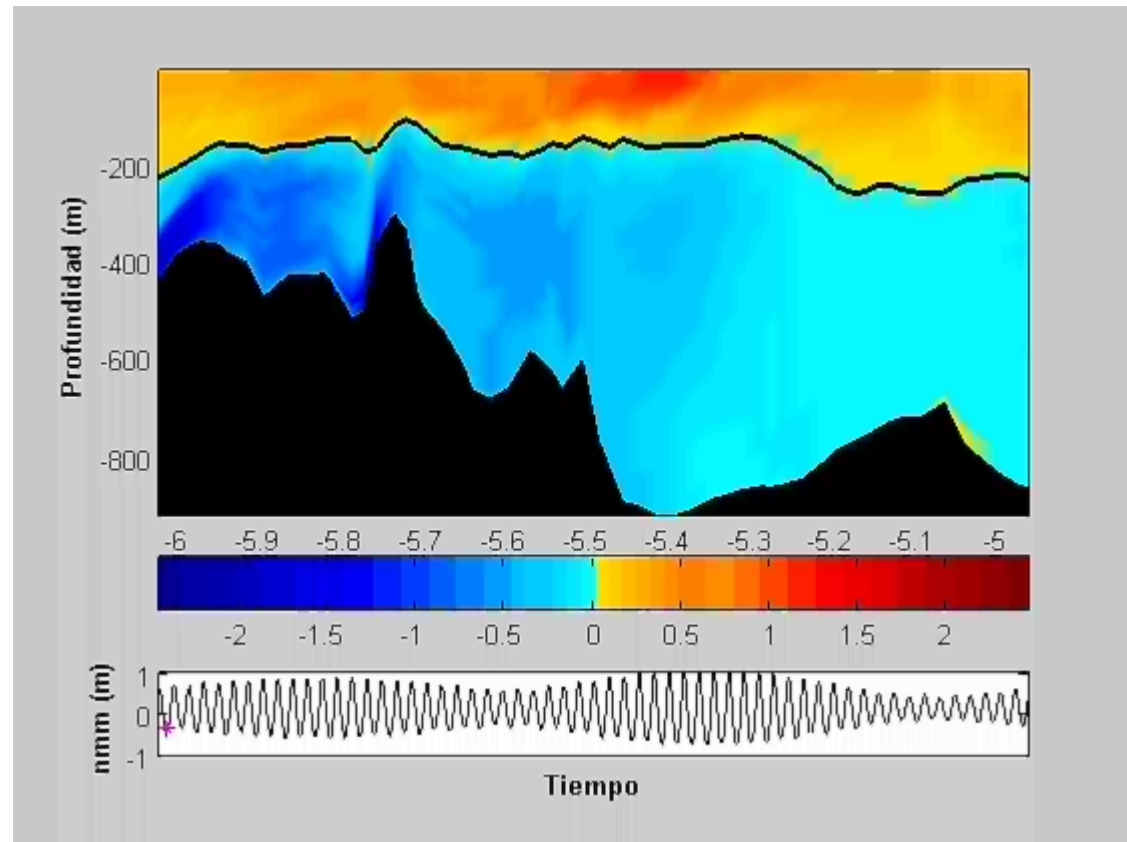
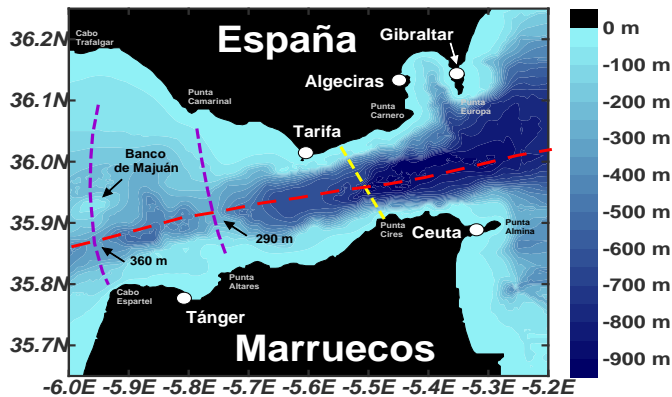
### Fluctuaciones del flujo medio:

- Mareas, con periodos de 12 y 24 h
- Subinerciales: periodos de días a varias semanas o pocos meses
- Muy baja frecuencia: señal estacional e interanual

# La estación permanente de Espartel

*¿Por qué medir en el umbral de Espartel?*

ES CS TN

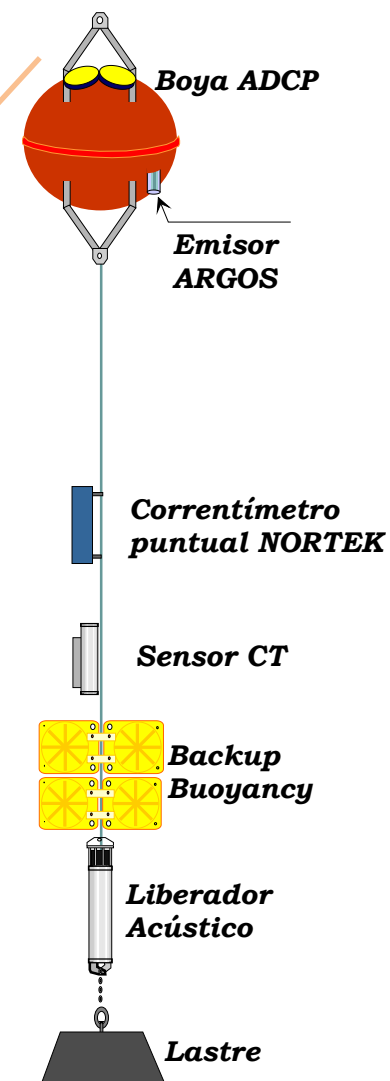
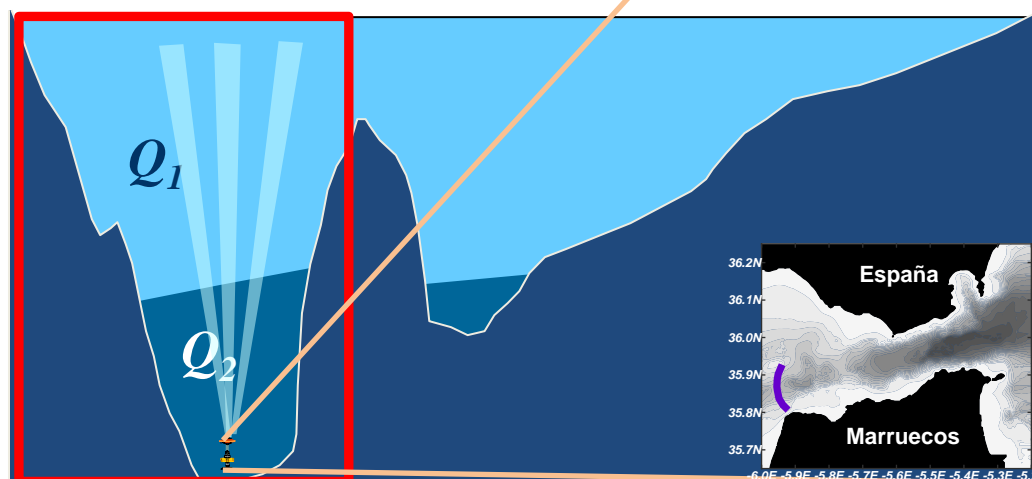


**Simulación numérica de las corrientes en el Estrecho**  
(modelo CEPOM, Unidad de Modelado Climático, ENEA, ITALIA)

# La estación permanente UMA-GOFIMA del UMBRAL DE ESPARTEL

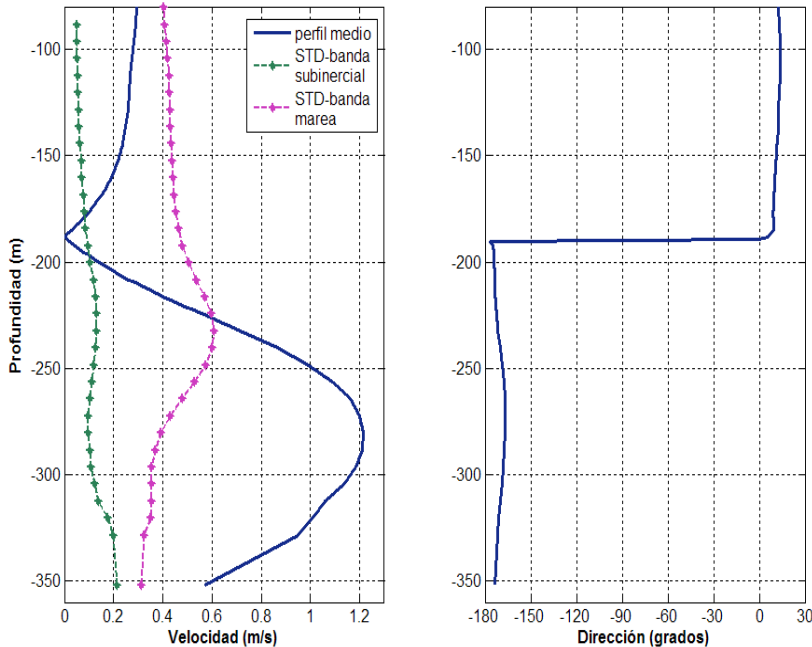
Estación de medida **UMA-GOFIMA** en el umbral de *ESPARTEL* CT autónomo más un correntímetro puntual. Un ADCP en la parte superior, unos 15 m sobre el fondo (360m), para calcular el flujo de agua mediterránea (40 celdas, 8 m de espesor).

(Incluida en la red HydroChanges ,  
<http://www.ciesm.org/marine/programs/hydrochanges.htm>)



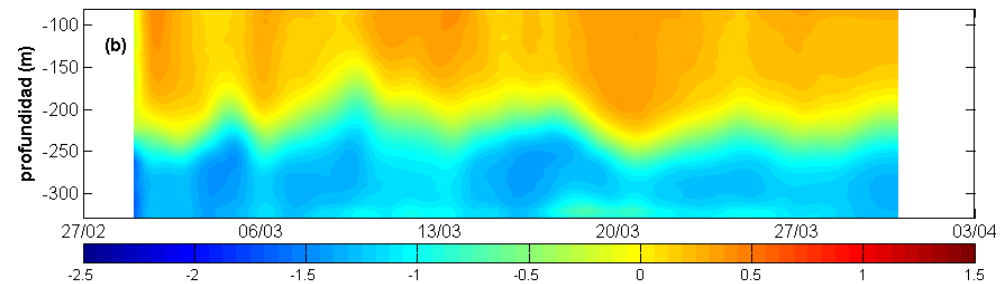
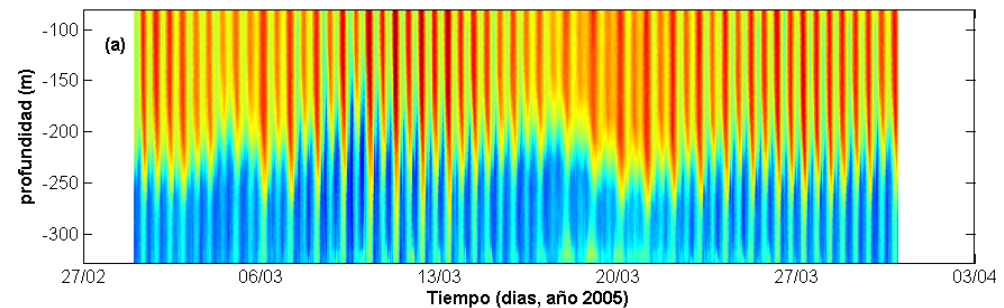
# Seis años de datos en el umbral de Espartel

## Velocidades observadas



**Capa Atlántica**: desde 0 a 186 m prof., con una velocidad media de 0.30 m/s y una dirección media de  $\sim 14^\circ$  (desde el Este)

**Capa Mediterránea**: desde 186 a 360 m prof. Velocidad media máxima de 1.20 m/s y una dirección media de  $-176^\circ$  (desde el Este)



**Velocidad total**: variabilidad de marea con inversiones de corriente en la capa superior.

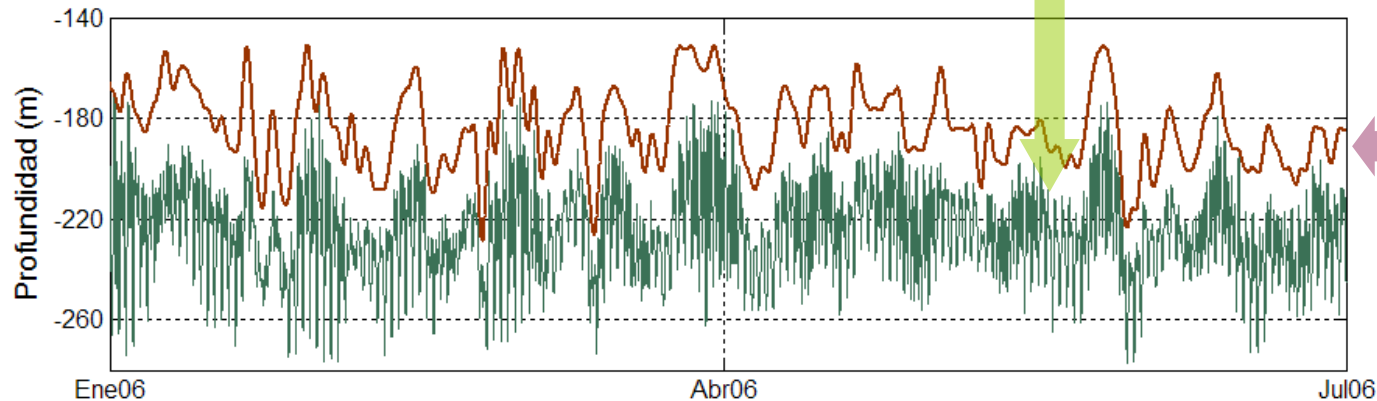
**Velocidad subinercial**: filtro de paso baja con  $F_1=0.0263$  cph (38h) y  $F_2=0.0357$  cph (28h). No se observan inversiones.

# Seis años de datos en el umbral de Espartel

## Cálculo del transporte: definición de la interfase

Transporte calculado a partir de:  $Q_2(t) = \int_{z=-b}^{z=-\eta(t)} u_2(z,t) \cdot W(z) dz$

Superficie de máxima cizalla vertical de la velocidad horizontal



Superficie de velocidad nula filtrada

- Superficie de velocidad nula: 186 m
- Máxima cizalla vertical : 226 m



La interfase de Máxima cizalla se debe subir 40 m

**OUTFLOW:  $Q_2 = -0.79 \pm 0.37$  Sv (canal sur)**

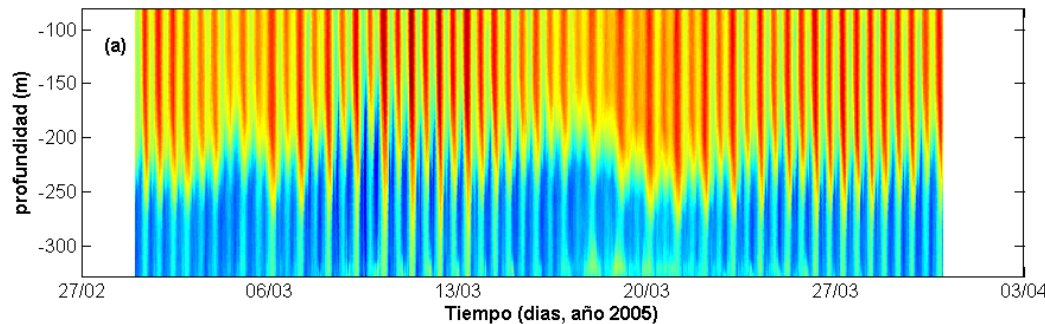
correlaciones positivas entre el desplazamiento vertical de la interfase y los flujos resultantes (EDDY FLUXES).

# Seis años de datos en el umbral de Espartel

## Cálculo del transporte: flujos rectificados y baja frecuencia

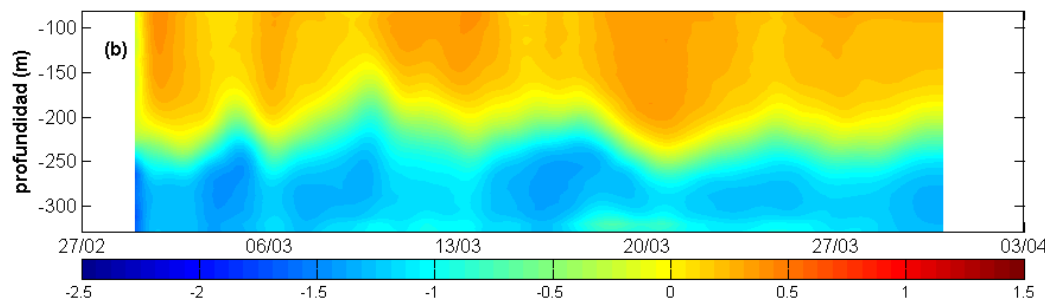
Flujos rectificados obtenidos a partir de:

$$\langle Q_2(t) \rangle = Q_2^{lf}(t) + Q_2^r(t)$$



$\langle Q_2(t) \rangle$  (Transporte filtrado paso-baja en frecuencias de marea)

- velocidad total
- superficie de máxima cizalla vertical



$Q_2^{lf}(t)$  (Transporte de baja frecuencia)

- velocidad filtrada paso-baja
- superficie de velocidad cero en la baja frecuencia

# Seis años de datos en el umbral de Espartel

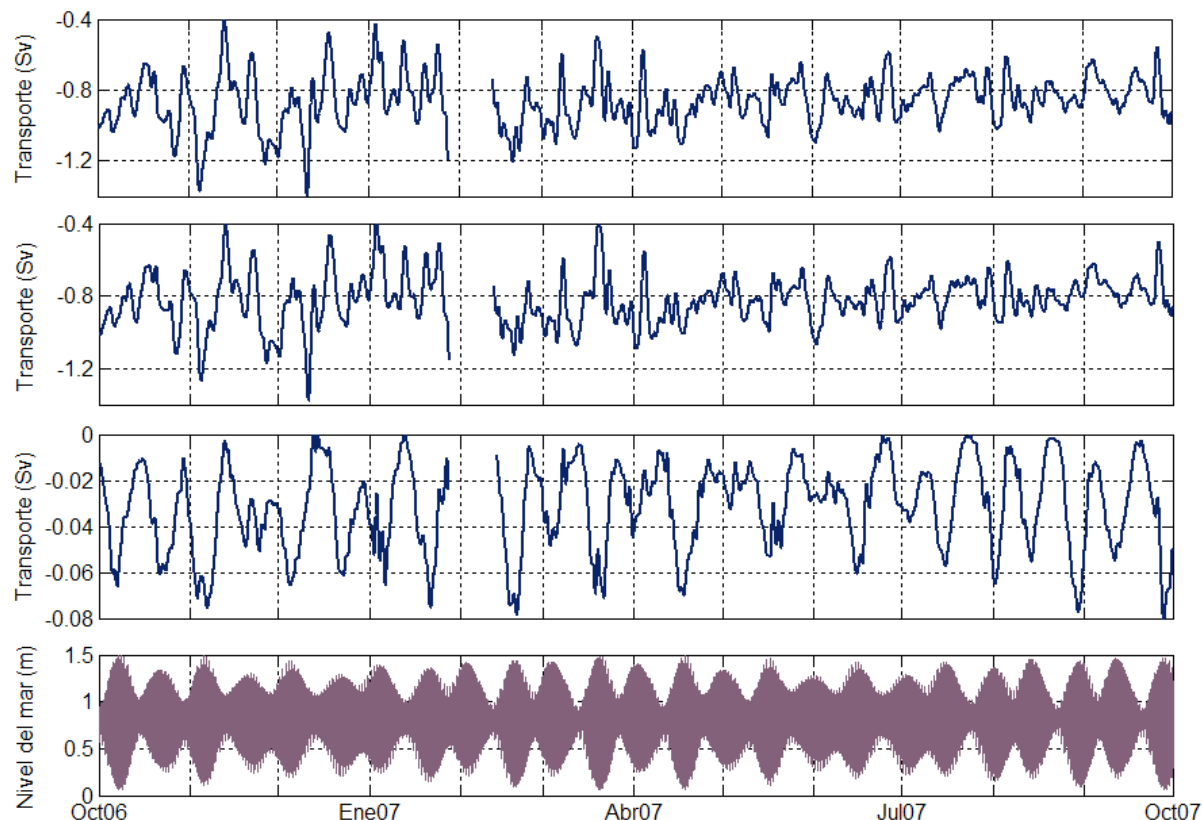
## Cálculo del transporte: flujos rectificados y baja frecuencia

Flujos rectificados obtenidos a partir de:  $\langle Q_2(t) \rangle = Q_2^{lf}(t) + Q_2^r(t)$

$$\langle Q_2 \rangle = -0.79 \text{ Sv}$$

$$Q_2^{lf} = -0.76 \text{ Sv}$$

$$Q_2^r = -0.03 \text{ Sv}$$



- ✓ 4 % del transporte calculado
- ✓ 0.5 – 1.0 Sv en Camarinal

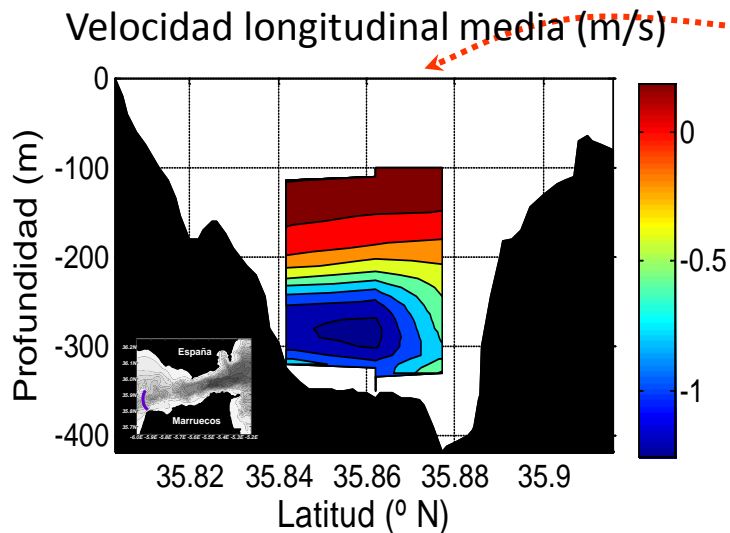
# Seis años de datos en el umbral de Espartel

## Cálculo del transporte con mayor precisión

### Registros de velocidad

- un único perfil en el centro del canal principal
- se asume representativo del canal → **¿SOBRESTIMA DEL TRANSPORTE?**
- ¿Qué sucede con el transporte a través del canal secundario?

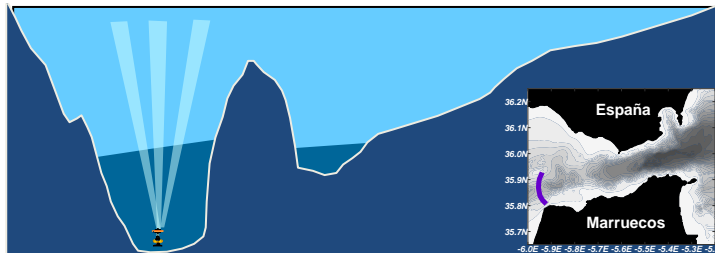
***El cálculo del flujo de salida debe ser corregido por la fracción de agua que atraviesa el canal situado al norte del principal y la estructura transversal del flujo***



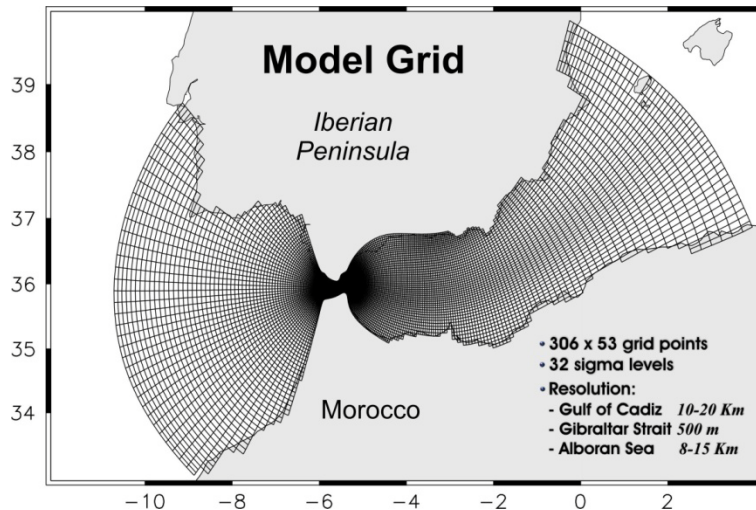
- ✓ Datos recopilados por dos estaciones auxiliares
- ✓ Velocidad máxima en la zona central y sur del canal
- ✓ Transporte recalculado: 16 % inferior

# Seis años de datos en el umbral de Espartel

## Cálculo del transporte con mayor precisión: canal secundario



- no hay datos disponibles en el canal norte
- las salidas del modelo se deben usar para complementar las observaciones



$$\frac{\partial u}{\partial t} + \mathbf{V} \cdot \nabla u + w \frac{\partial u}{\partial z} - fv = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial z} \left( K_M \frac{\partial u}{\partial z} \right) + F_x$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \mathbf{V} \cdot \nabla v + w \frac{\partial v}{\partial z} + fu = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial P}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} \left( K_M \frac{\partial v}{\partial z} \right) + F_y$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0$$

$$\frac{\partial P}{\partial z} = -\rho g$$

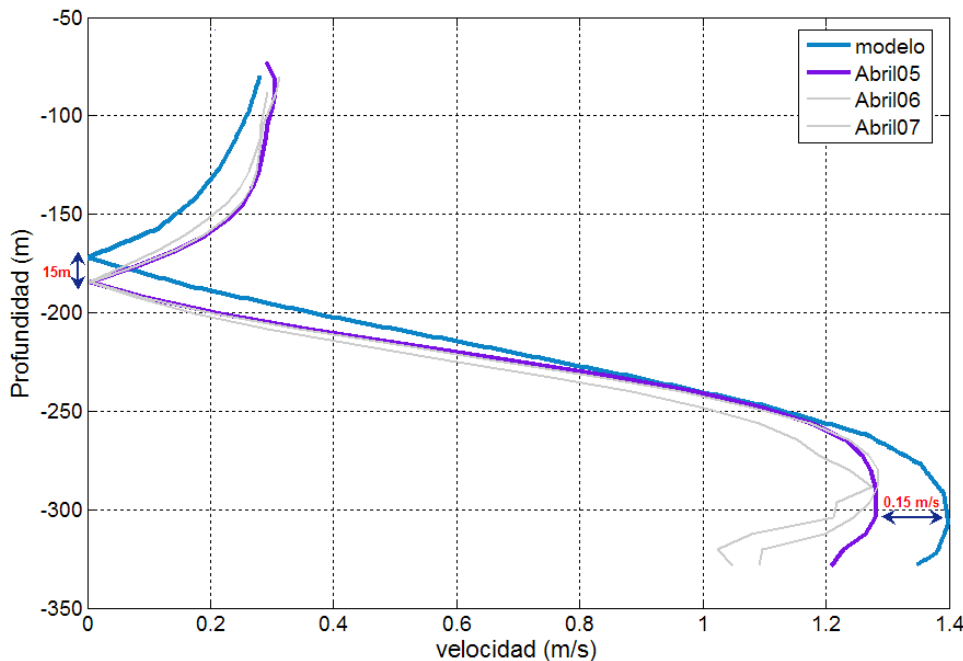
$$\frac{\partial \gamma}{\partial t} + \mathbf{V} \cdot \nabla \gamma + w \frac{\partial \gamma}{\partial z} + fu = \frac{\partial}{\partial z} \left( K_H \frac{\partial \gamma}{\partial z} \right) + F_\gamma$$

$\rho_0$	reference density	$K_H$	vertical eddy diffusivity
$\rho$	in situ density	$f$	Coriolis parameter
$K_M$	vertical eddy viscosity	$\gamma$	temp. potential or salinity

**Modelo numérico CEPOM. Sannino et al. (2002, 2004, 2005, 2007, 2009)**

# Seis años de datos en el umbral de Espartel

## Cálculo del transporte con mayor precisión: salidas del modelo



- Simulación para el mes de Abril
- Comparación Modelo-obs. En el canal principal .
- Fracción del flujo de salida a través del canal secundario:

**18 % del transporte total de salida**

	OBSERVADO* (Sv) (Mes de Abril)	MODELO* (Sv)
$Q_2$	- 0.88	- 1.03
$Q_2^{bf}$	- 0.84	- 0.96
$Q_2^r$	- 0.04	- 0.07

# Seis años de datos en el umbral de Espartel

## El flujo de agua mediterránea

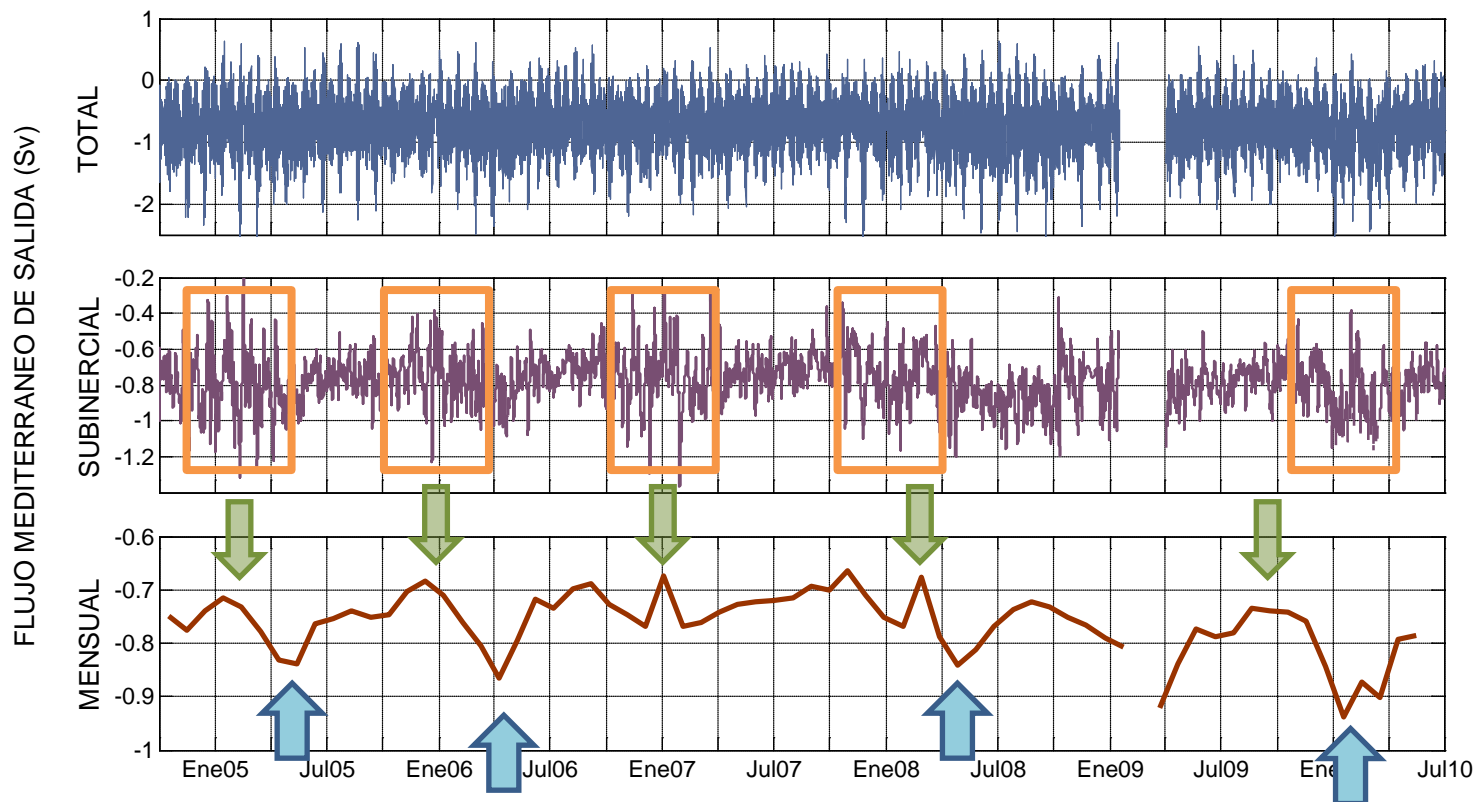
Si aplicamos las dos correcciones al transporte:

- Estructura transversal: - 16 %
- Fracción que atraviesa el canal norte: + 18%



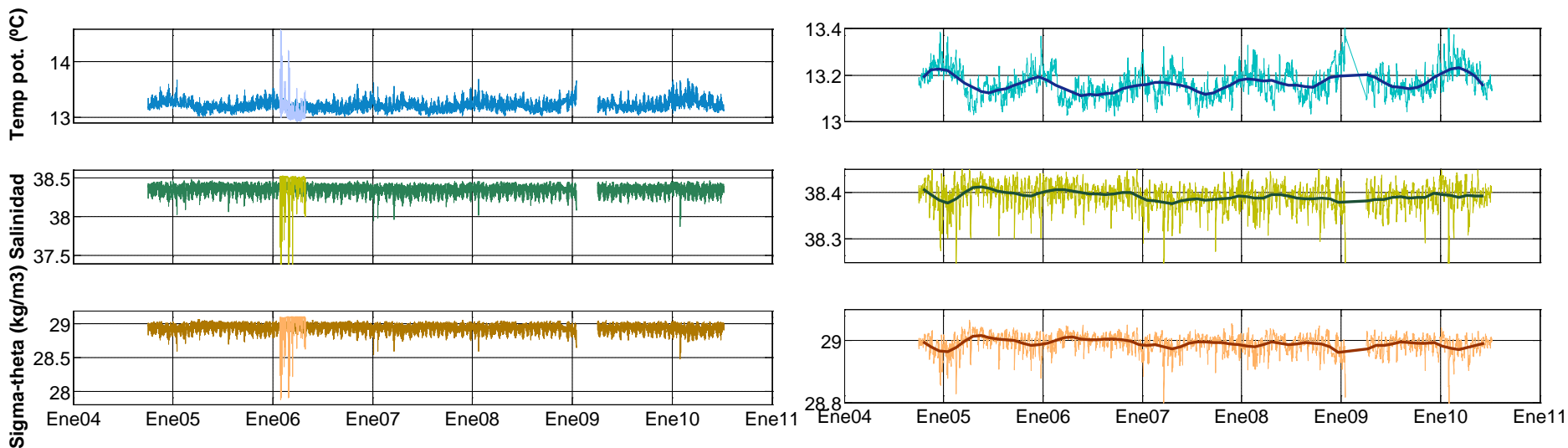
$$Q_2 = -0.79 \text{ Sv}$$

(en toda la sección)

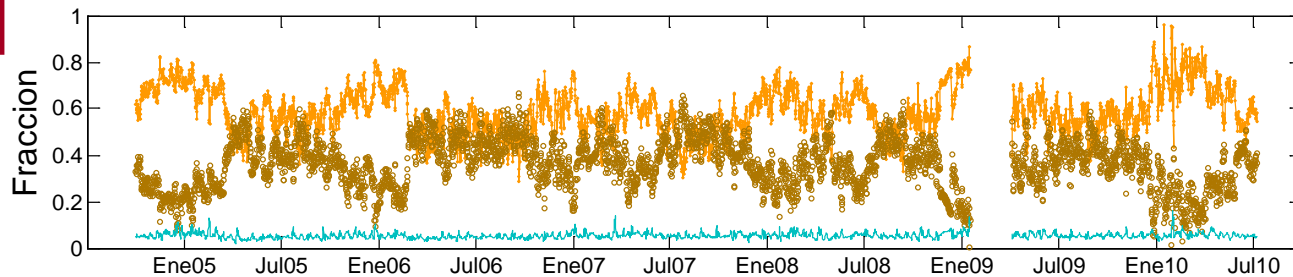
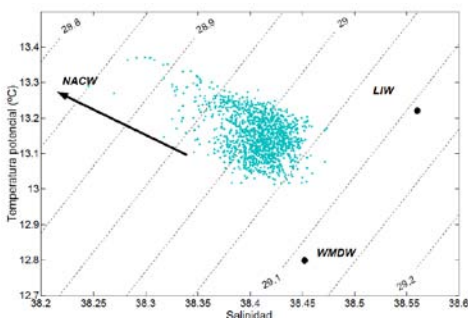


# Seis años de datos en el umbral de Espartel

## Propiedades hidrológicas del flujo mediterráneo



LIW ( $\theta=13.22^\circ\text{C}$  /  $S=38.56$ )  
 WMDW ( $\theta=12.80^\circ\text{C}$  /  $S=38.45$ )  
 NACW ( $\theta=15.00^\circ\text{C}$  /  $S=36.20$ )



## Conclusiones

- ❑ *El perfil vertical de las corrientes medias en ES muestran el típico patrón bicapa, que es anulado a veces por las mareas debido a su gran amplitud.*
- ❑ *El flujo de salida a través del canal principal presenta un valor medio de -0.79 Sv, con picos de hasta -2.5 Sv a consecuencia de la marea. La contribución de los flujos rectificados de marea es menos del 5% siendo importantes solo en mareas vivas. Todo ello convierte al umbral de Espartel en el lugar idóneo para controlar el flujo mediterráneo de salida.*
- ❑ *El uso de un único perfil de velocidad sobrestima el transporte en el canal principal un 16%. El modelo predice un flujo de salida por el canal secundario que representa el 18% del flujo total. Ambas correcciones permiten obtener el transporte en toda la sección a partir de la estación ES.*
- ❑ *Las fracciones de LIW y WMDW presentan un patrón estacional e interanual, ligado probablemente a procesos de formación del WMDW en invierno. La proporción de WMDW aumenta en primavera, igual que el transporte.*

Más detalles en:

*Transport estimates at the western section of the Strait of Gibraltar: a combined experimental and numerical modeling study*  
by Sanchez-Roman et al.,

(*J. Geophys. Res.*, 114, C06002, doi: 10.1029/2008JC005023)

<http://oceano.uma.es>