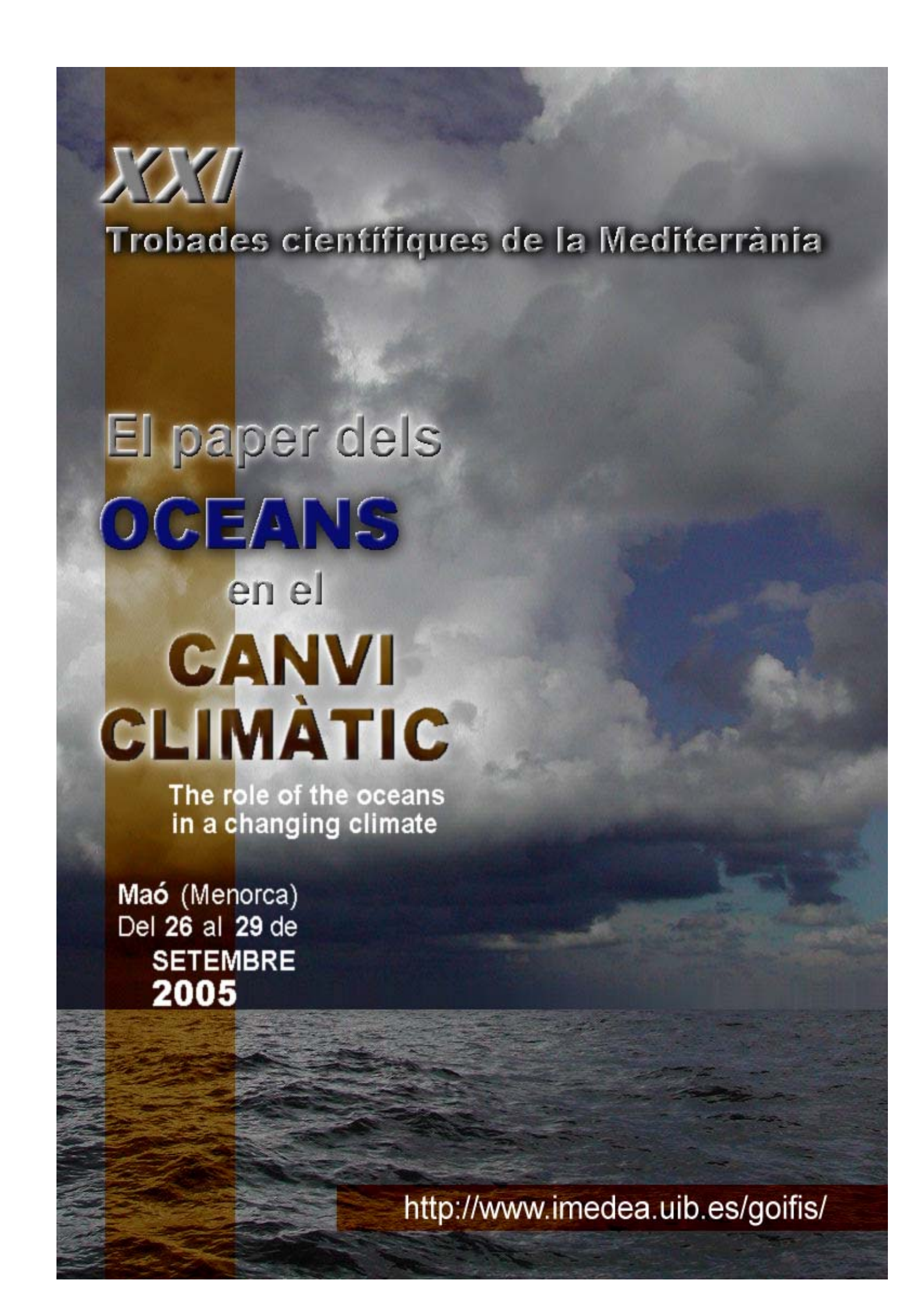




**XXI**

Trobades científiques de la Mediterrània

El paper dels

**OCEANS**

en el

**CANVI  
CLIMÀTIC**

The role of the oceans  
in a changing climate

Maó (Menorca)

Del 26 al 29 de

**SETEMBRE**

**2005**

<http://www.imedeas.uib.es/goifis/>



## Index

|                   |    |
|-------------------|----|
| Presentació.....  | 4  |
| Objectius.....    | 5  |
| Programa.....     | 7  |
| Resums.....       | 10 |
| Participants..... | 45 |
| Agraïments.....   | 48 |

## **Presentació**

Cada any, pel mes de setembre, la Secció de Ciència i Tècnica de l'**Institut Menorquí d'Estudis** (<http://www.webime.org/>) i la **Societat Catalana de Física** (<http://www.scf-iec.org/>) organitzen les Trobades Científiques de la Mediterrània amb el suport de diverses institucions acadèmiques. El seu objectiu principal és proveir un marc adequat al bescanvi d'experiència i coneixements sobre un tema actual de recerca dintre de l'àmbit de la Física. A més de constituir un fòrum científic, les Trobades contribueixen també a facilitar la relació i la comunicació entre els científics i tècnics de l'entorn més proper, en particular els dels territoris de parla catalana.

L'any passat, el 2004, es va celebra la XX edició d'aquestes Trobades. Durant aquests vint anys de continuïtat les Trobades científiques de la Mediterrània han transcendit el que va ser el seu marc inicial (l'àmbit lingüístic català) per convertir-se en un referent entre els encontres de Física a nivell nacional i internacional. Malgrat les Trobades sempre són organitzades per grups de recerca del nostre àmbit lingüístic, per elles han passat experts internacionals de camps tan diversos com la Relativitat, la Física de Partícules o la Meteorologia.

Per a aquesta XXI edició, celebrada la darrera setmana de setembre de 2005, el tema escollit és la relació entre els oceans i el canvi climàtic. Aquesta relació és ben estreta: d'una banda els oceans redistribueixen contínuament la calor i la bescanvien amb l'atmosfera, configurant així les oscil·lacions naturals del clima del planeta. En l'escenari actual de canvi climàtic, els oceans també juguen un paper fonamental en el cicle del diòxid de carboni, que és el principal responsable de l'escalfament global.

Però els oceans no només regulen el clima i els seus canvis, també 'els pateixen'. Les conseqüències del canvi climàtic van des d'un augment del nivell del mar i la modificació de corrents fins a l'impacte de l'augment de la temperatura sobre els ecosistemes. Això produeix una retroalimentació extremadament complexa en la qual hi entren totes les components físiques i biogeoquímiques del sistema, i que fa molt difícil la seva predicció. Per tant, el tema d'aquestes Trobades, a més de ser d'una gran rellevància científica, té unes implicacions socials molt clares. De manera especial per a les societats de la conca Mediterrània, donades les especials implicacions que el canvi climàtic pot tenir sobre l'entorn natural i l'economia d'aquesta regió del Planeta.

Els grups organitzadors de l'edició de 2005 són, d'una banda, el Grup d'Oceanografia Interdisciplinària (GOI, <http://www.imedeia.uib.es/natural/goi/>) de l'**Institut Mediterrani d'Estudis Avançats (IMEDEA)**, un centre mixt entre la Universitat de les Illes Balears (UIB) i el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). D'altra, el Grup d'Oceanografia Física (<http://www.icm.csic.es/geo/gof/>) de l'**Institut de Ciències del Mar de Barcelona (ICM)**, que pertany al CSIC. Els responsables de l'organització són el Dr. Damià Gomis, per part de l'IMEDEA<sup>1</sup>, i el Dr. Josep Lluís Pelegrí, de l'ICM de Barcelona.

A la comissió organitzadora hi són també el Dr. Joaquim Tintoré, director de l'IMEDEA, el Dr. Jordi Font, de l'ICM, el Sr. Josep Miquel Vidal Hernández, coordinador científic de l'IME i un representant de la Societat Catalana de Física.

---

<sup>1</sup> Damià Gomis és també el cap de la Secció de Ciència i Tècnica de l'Institut Menorquí d'Estudis

## **Objectius**

Com s'ha esmentat abans, els objectius generals de les Trobades són el de proveir un marc adequat a l'intercanvi d'experiències i de coneixements sobre un tema actual de recerca i, a més a més, contribuir a facilitar la relació i la comunicació entre els científics i els tècnics de l'entorn més proper.

En el cas de l'edició de 2005, l'objectiu específic és crear un fòrum d'intercanvi de coneixements i de debat sobre un tema que planteja encara grans incerteses, com és el paper de l'oceà en el clima. Tan des del punt de vista de la seva funció reguladora del clima com dels impactes observats o esperats en l'escenari actual de canvi climàtic. Són per tant unes Trobades del tot interdisciplinàries en les quals, tal i com es desprèn del programa final, hi tenen cabuda la hidrodinàmica i la meteorologia, la física i la biogeoquímica, amb l'objectiu de fomentar la interacció entre les distintes disciplines. Les Trobades són també obertes a qualsevol tipus d'estudi: tècniques observacionals, anàlisi de sèries històriques, modelització de processos, estudis d'impacte, tots hi tenen cabuda mentre comparteixin els denominadors comuns de referir-se als oceans i a la seva variabilitat climàtica.

En un moment en que s'està configurant una primera diagnosi del canvi climàtic a nivell de l'Estat Espanyol, les contribucions referides a l'àmbit geogràfic més proper són especialment benvingudes. Malgrat tot i atenent a la globalitat del problema, sembla evident també l'interès dels estudis centrats en altres zones.

Tal i com reflexa el programa, les Trobades s'han estructurat entorn de dos tipus de contribucions: les convidades i les presentades per altres autors. Amb les primeres es pretén donar una visió més general i ja consolidada sobre distints aspectes de la temàtica de les Trobades. Les segones reflecteixen la ciència més recent i específica. D'altra banda l'assistència d'investigadors novells és també molt benvinguda, no de bades un dels principals objectius de les trobades és posar en contacte distintes generacions d'investigadors.

Des de l'organització esperam que aquest marc tan adient per a la reflexió com és l'illa de Menorca pel mes de setembre ajudi a assolir els objectius que ens hem marcat.



## Programa

### Dilluns 26 de Setembre

- 09.15-09.45: Lliurament de documentació
- 09.45-10.00: Breu presentació de les Trobades
- 10.00-11.15: A. Orfila, IMEDEA, Mallorca.  
Títol: **Ocean-Climate interactions: Observation and Modelling in the Mediterranean basin, subbasin, local and beach scale.**
- 11.15-11.45: Pausa
- 11.45-13.00: M. Tsimplis, National Oceanography Centre, Southampton, UK.  
Títol: **Decadal and inter-decadal variability of sea level.**
- 13.00-13.30: Inauguració oficial de les Trobades
- 13.30-15.30: Dinar-buffet ofert per l'Institut Menorquí d'Estudis i la Societat Catalana de Física
- 15.30-15.50: J.L. Pelegrí  
Títol: **Ocean physiology**
- 15.50-16.10: M. Auladell, J.L. Pelegrí, P. Sangrà, A. García-Olivares, J. Font  
Títol: **Surface convergence/divergence in oceanic eddies**
- 16.10-16.30: E. Álvarez-Fanjul, J.C. Carretero Albiach, M. García Sotillo, A.W. Ratsimandresy, B. Pérez Gómez  
Títol: **HIPOCAS 44 year hindcast: a climatic ocean-atmosphere data set for the Mediterranean sea**
- 16.30-16.50: D. Gomis, M.N. Tsimplis, B. Martín-Mínguez, A. W. Ratsimandresy, J. García-Lafuente, S.A. Josey  
Títol: **Mediterranean sea level and barotropic flow through the Strait of Gibraltar for the period 1958-2001 and since 1659**
- 16.50-17.10: Pausa
- 17.10-17.30: A. Pascual, I. Pujol, G. Larnicol  
Títol: **Sea level trends in the Mediterranean Sea from 12 years of the altimetric data: real trends or changes in the circulation?**
- 17.30-17.50: J. Font, P. Puig, A. Palanques, M. Emelianov, A. Julià  
Títol: **Signals of climatic events in Mediterranean deep water**
- 17.50-18.10: M.I. Ferrer, A. Jordi, R. Onken, G. Vizoso, B. Casas, G. Basterretxea, J. Tintoré  
Títol: **Local variability in the Mediterranean Sea through coastal data assimilation**

**Dimarts 27 de Setembre**

- 09.15-10.30: E. Fahrbach, Alfred Wegener Institute, Bremerhaven (Alemania).  
Títol: **The role of the Southern Ocean in the climate system.**
- 10.30-11.00: Pausa
- 11.00-12.15: C.M. Duarte, IMEDEA, Mallorca.  
Títol: **The role of the biota and methabolic processes on the carbon fluxes in the ocean.**
- 12.15-13.30: Rafel Simó, Institut de Ciències del Mar de Barcelona (CSIC), coordinador del comitè SOLAS (*Surface Ocean–Lower Atmosphere Study*)- España.  
Títol: **Ocean-atmosphere fluxes.**
- 13.30-15.30: Pausa
- 15.30-15.50: A. Aretxabaleta, F. Werner, J. Nelson, H. Seim, B. Blanton  
Títol: **Cold event in the South Atlantic Bight during summer of 2003 : an anomalous event or the beginning of a shift?**
- 15.50-16.10: L. Herraiz and S. Rintoul  
Títol: **Spatial and temporal evolution of the subantartic mode waters**
- 16.10-16.30: F. Pastor, M. J. Estrella, J. Miró, M. Millán  
Títol: **Temperatura del mar y precipitaciones en la Comunidad Valenciana**
- 16.30-16.50: P. Oliver, S. Monserrat, E. Massutí, J. Moranta, J.L. López-Jurado, J.M. Hidalgo, B. Guijarro, M. Marcos, R. Romero  
Títol: **Impact of the oceanographic structure and dynamics on the population dynamics of demersal fishery resources: hypothesis for hake of Balearic Islands**
- 16.50-17.10: Pausa
- 17.10-17.30: D. Blasco and A. Morales-Blake  
Títol: **Annual winter fluctuations of surface chlorophyll in the north-western Mediterranean Sea from 1997 to 2004, in relation with meteorological conditions**
- 17.30-17.50: A. Sabatés, V. Raya, P. Martín, J. Salat, J. Lloret, and M. Emelianov  
Títol: **Climate change and ichthyoplankton distribution: the case of Sardinella Aurita in the western Mediterranean**
- 17.50-18.10: E. Huertas, G. Navarro, S. Rodríguez-Gálvez, L. Prieto, J. Ruiz  
Títol: **Is the Atlantic-Andalusian shelf a “continental shelf pump”?**
- 18.10-18.30: M. V. Pastor, J.L. Pelegrí, M.V. Emelianov, J. Font, J. Salat  
Títol: **Water and nutrient export in the upwelling system off NW Africa in March/April 1973 and October/November 1975**



### **Dimecres 28 de Setembre**

09.15-10.30: J. Price, Woods Hole Oceanographic Institution, EE.UU.

Títol: **Thermohaline circulation.**

10.30-11.00: Pausa

11.00-12.15: A. Rosell, Univ. Autònoma de Barcelona.

Títol: **Historical perspective on the role of the oceans in climate change**

12.15-13.30: M. Vargas, Centro Oceanográfico de Fuengirola, IEO.

Títol: **XXth century oceanographic trends in the Western Mediterranean.**

13.30-15.30: Pausa

Tarda Lliure

### **Dijous 29 de Setembre**

09.15-10.30: Fernando Méndez, Univ. de Cantabria.

Títol: **Methodologies for the analysis of wave climate long-term trends.  
Application to the Spanish coast**

10.30-11.00: Pausa

11.00-12.15: A. Sánchez-Arcilla, Univ. Politècnica de Catalunya, coordinador de un capítol del informe de la Oficina Española de Cambio Climático.

Títol: **Impact of climate change on Spanish shores.**

12.15-13.30: R. Anadón, Univ. de Oviedo, coordinador de un capítol del informe de la Oficina Española de Cambio Climático.

Títol: **Impact of climate change on Spanish marine ecosystems.**

13.30-15.30: Pausa

15.30-15.50: M. Alarcón, A. Avila, X. Querol

Títol: **Applications of source-receptor techniques to the assessment of the potential source areas in the Western Mediterranean**

15.50-16.10: M. J. Ortiz Beviá, F. Álvarez García, E. Sánchez-Gómez, W. Cabos Narváez

Títol: **Cambios en la predecibilidad de ENSO en la variabilidad observada y simulada para hoy y para el futuro**

16.10-16.30: J. García, B. Rodríguez-Fonseca

Títol: **Patrones del número de onda de Rossby estacionario para forzamientos térmicos asociados a El Niño**

16.30-16.50: I. Polo, G. Mainsant, A. Lazar, S. Arnault, B. Rodríguez-Fonseca

Títol: **Ondas de Kelvin en la costa norte Africana: implicaciones climáticas**

16.50-17.10: Pausa

17.10-17.30: R. Bermejo, P. Galán del Sastre

Títol: **Un modelo semi-lagrangiano de elementos finitos de alto orden para resolver las Ecuaciones Primitivas del océano**

17.30-17.50: A. Rodríguez-Santana, Y. Fajardo, A. Marrero-Díaz

Títol: **Análisis del coeficiente vertical de difusión turbulenta en la termoclina y su papel en el cambio climático**



## Application of source-receptor techniques to the assessment of the potential source areas in Western Mediterranean

Marta Alarcón<sup>1</sup>, Anna Avila<sup>2</sup> and Xavier Querol<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Marta Alarcón, Department of Physics and Nuclear Engineering, Universitat Politècnica de Catalunya (UPC). Avda. Víctor Balaguer s/n, 08800 Vilanova i la Geltrú, SPAIN.

<sup>2</sup> Center for Ecological Research and Forestry Applications (CREAF), Universitat Autònoma de Barcelona, Bellaterra, SPAIN.

<sup>3</sup> Xavier Querol, Institut Jaume Almera (IJA), Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Barcelona, SPAIN

### 1. INTRODUCTION

Receptor-oriented methodologies have been recently used to provide maps of potential sources for particular target species. Here, a receptor-oriented methodology has been applied to the chemistry of precipitation data collected at a background site in NE Spain (La Castanya rural station, LC) in order to identify the likely sources of anthropogenic pollutants ( $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ) and alkaline species to this site. The concentration fields were obtained on the basis of the residence time of the air mass trajectories in each source region.

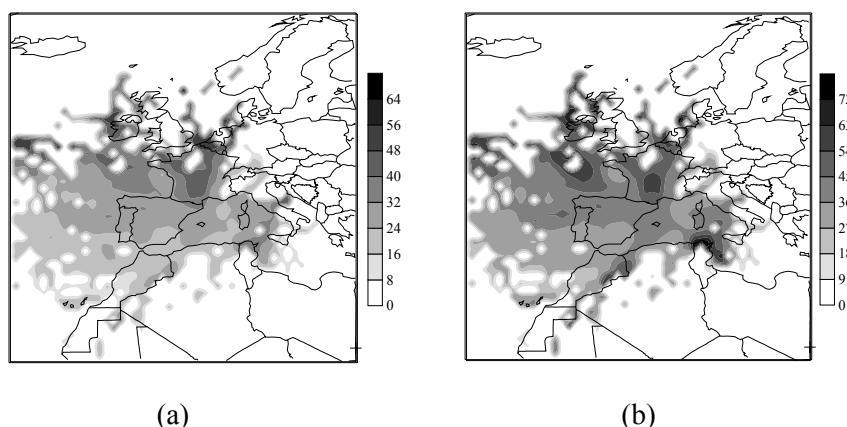
### 2. METHODOLOGY

The methodology consists in a statistical approach that combines concentration data for selected species in rain at a regional background site with backward trajectories ending at this site.

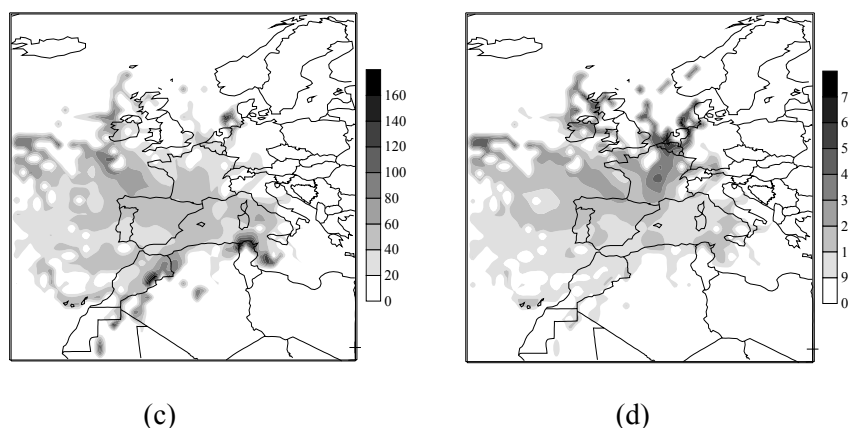
The sampling station is at 700 m asl in a clearing of the holm oak forest at La Castanya (LC) in the Montseny Mountains (41°46'N, 2°1°E) located 40 km to the NNE of Barcelona, and 25 km west from the Mediterranean Sea (figure 1). A total of 157 weekly precipitation samples were collected from July 1995 to September 2000, and analyzed for the major ions. For all the samples, the 12 UTC 96-hour isentropic back-trajectory at 1500 m was computed for each rainy day. Trajectories were computed from the meteorological data of the U.S. National Climate Data Center (1997-2003) and the NCEP/NCAR Reanalysis (1983-1996), using the HYSPLIT (Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectories) model (Draxler and Hess 1997<sup>1</sup>). Each trajectory was associated to the corresponding sample concentration. Superimposing a 1°x1° grid to the trajectory domain, a logarithmic mean concentration for each grid cell was calculated following the Seibert et al. (1994)<sup>2</sup> methodology

### 3. RESULTS

Figure 1 shows the result of the model application for  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$  and  $\text{NH}_4^+$ . The cells with less than 5 trajectory steps were not taken into account.



**Figure 1.** Concentration fields ( $\mu\text{mol/L}$ ) for  $\text{Ca}^{2+}$  (a) and  $\text{SO}_4^{2-}$  (b).



**Figure 1.** Concentration fields for  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$  and  $\text{NH}_4^+$  ( $\mu\text{mol/L}$ ).

The highest concentrations of anthropogenic pollutants ( $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ) are originated in North Europe (France, Belgium, The Netherlands and western Germany), a widely reported result in the literature. Sulfate, besides this, shows also predominant contributing sources in the Western Sahara, South Morocco and Tunisia, in coincidence with source areas for  $\text{Ca}^{2+}$ , and  $\text{Na}^+$  and  $\text{Cl}^-$  (not shown). Two hypothesis may account for this high sulfate and chloride contents: a) interactions of regionally emitted  $\text{SO}_2$  and calcium carbonate from dust (to form calcium sulfate), together with the simultaneous transport of marine aerosol; and b) contribution of dust and salt from salty soils and dry lakes (shebkas) in these regions of North Africa.

#### 4. REFERENCES

- <sup>1</sup>Draxler R.R. and Hess G.D. (1997) Description of the HYSPLIT modeling system, NOAA Tech. Memo., ERL, ARL-224, 24 pp., Natl. Oceanic and Atmos. Admin., Boulder, Colorado.
- <sup>2</sup>Seibert P., Kromp-Kolb H., Balterpersger U., Jost D.T., Schwikowski M., Kasper A. And Puxbaum H. (1994) Trajectory analysis of aerosol measurements at high alpine sites. In Transport and Transformation of Pollutants in the troposphere. Ed. Borrell, P.M., Borrell P., Cvitas T. and Seiler W., 689-693. Academic Publishing, Den Haag

## **A 44 years Ocean-atmosphere climatic data set over the Mediterranean Sea: The HIPOCAS project.**

Enrique Álvarez Fanjul, Juan Carlos Carretero Albiach, Marcos García Sotillo, Andry William Ratsimandresy, Begoña Pérez Gómez, Obdulio Serrano Hidalgo.  
Puertos del Estado, Avda. del Partenón 10, 28042, Madrid.

A set of 44-year (1958-2001) homogeneous Mediterranean high-resolution hindcasts of atmospheric, sea surface height and wave states was performed within the framework of the HIPOCAS European Project. To this aim, different numerical models were used. As a first step a Mediterranean high resolution atmospheric database, suitable to provide realistic and homogeneous forcing for the ocean hindcast runs was generated. The HIPOCAS atmospheric database was created by means of dynamical downscaling from the global reanalysis NCEP, using for that the limited area model REMO along with an spectral nudging technique. In a second stage, different Mediterranean oceanic hindcast were performed. The wave model WAM was used to perform the hindcast of the sea state over the western Mediterranean. Furthermore, a sea surface residual data base containing storm surge events was obtained from a long-term integration of the HAMSOM model over the entire Mediterranean basin. The three different hindcast runs have been exhaustively validated. On that score, different simulated parameters have been compared to both satellite and in-situ data from buoys and coastal stations. The results of such comparisons provide a measure on how suitable are the different simulated fields in reproducing realistically the observed features. After this evaluation of the different model capabilities, the hindcasted databases were used to study the ocean and atmospheric climate trends as well as the interannual variability along the whole 44-year period. The temporal homogeneity of the HIPOCAS data over the 44-years, along with their reliability, enhanced by the above referred comparisons with measurements, make the Mediterranean HIPOCAS ocean-atmosphere hindcasted data base a useful tool for studies focused on regional climatic variability, as well as for further applications in coastal and environmental decision processes in the Mediterranean area.

## Cold Event in the South Atlantic Bight during summer of 2003: an anomalous event or the beginning of a shift?

A. Aretxabaleta (1), F. Werner (1), J. Nelson (2), H. Seim (1), B. Blanton (1)

(1) University of North Carolina at Chapel Hill, NC 27599-3300, USA

(2) Skidaway Institute of Oceanography, Savannah, GA 31411, USA

The effect of climate change on coastal oceans associated with Western Boundary Currents is discussed in the context of the U.S. eastern seaboard. The focus is in the potential effects of climate change in the level of vertical density stratification in the adjacent South Atlantic Bight continental shelf. Previous studies have suggested increased stratification in open and coastal oceans due to global climate change<sup>1,2,3</sup>.

A case-study is presented looking at the unusually cold sea-water temperatures observed during the summer of 2003 along much of the U.S. eastern seaboard<sup>4,5</sup>. Analyses of the available hydrographic and atmospheric observations in the South Atlantic Bight showed that the event was a complex combination of upwelling-favorable winds, stratification on the shelf and intrusion of cold water from the Gulf Stream associated with the meanders and frontal eddies of the Stream. A set of model simulations was conducted to determine the relative importance of the principal forcing mechanisms during the 2003 event. It was found that the dynamics in the inner- and mid-shelf during the intrusion event were controlled by wind, stratification and river discharge. The increased stratification contributed to the dynamics of the event by reducing Ekman depth that, in turn, increased offshore velocity near surface and onshore velocity near the bottom.

Considering the consequences of increased stratification before and during upwelling events, in the near future we might expect an increase in the frequency of cold water events such as the one described for 2003. The economic impacts (e.g., decreased tourism income due to the presence of cold waters at the beach) and ecological effects (e.g., cold stunning of turtle hatchlings, elevated nutrient input to the shelf) of these events need to be considered. The character of the 2003 event as a single event or as a possible shift in conditions caused by climate change remains an open question.

---

<sup>1</sup>D. Scavia, J.C. Field, D.F. Boesch, R.W. Buddemeier, V Burkett, D.R. Cayan, M. Fogarty, M.A. Harwell, R.W. Howarth, C. Mason, D.J. Reed, T.C. Royer, A.H. Sallenger, and J.G. Titus, "Climate Change Impacts on U.S. Coastal and Marine Ecosystems", *Estuaries*, **25**, 149-164 (2002).

<sup>2</sup>J.T. Houghton (Ed), "Climate Change 2001: The Scientific Basis: Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change", IPCC (2001).

<sup>3</sup>P.W. Boyd and S.C. Doney, "Modelling Regional Responses by Marine Pelagic Ecosystems to Global Climate Change", *Geophys. Res. Lett.*, **29**, 10.1029/2001GL014130 (2002).

<sup>4</sup>A. Aretxabaleta, J.R. Nelson, J.O. Blanton, H.E. Seim, F.E. Werner, J.M. Bane, and R. Weisberg, "Cold event in the South Atlantic Bight during summer of 2003: Anomalous hydrographic and atmospheric conditions", *J. Geophys. Res.*, *submitted*.

<sup>5</sup>D. Sun, Z. Liu, L. Chiu, R. Yang, R.P. Singh, and M. Kafatos, Anomalous cold water detected along mid-Atlantic coast, *EOS*, **85**, 152 (2004).

## Surface convergence/divergence in oceanic eddies

M. Auladell (1), J. L. Pelegrí (1), P. Sangrà (2), A. García-Olivares (1) and J. Font (1)

(1) Institut de Ciències del Mar, CMIMA-CSIC, Barcelona, Spain. (2) Universidad Las Palmas de Gran Canaria, Las Palmas de Gran Canaria, Spain.

Mesoscale eddies are thought to be a prime mechanism for heat, nutrient and carbon exchange between the subsurface and surface oceanic layers. Cyclonic/anticyclonic eddies are characterized by the deepening/rising of the central isopycnals and isonutrient surfaces. This behavior suggests that cyclonic eddies undergo central upwelling of nutrient-rich cold subsurface waters, while anticyclonic eddies experience central downwelling of warm nutrient-poor surface layers. Cyclonic eddies become regions of high primary production while anticyclonic eddies appear to accumulate large biomass in their central surface waters.

Vortices may grossly be classified as barotropic and baroclinic, depending on their generation mechanism. Barotropic vortices arise as the result of growing instabilities originated through horizontal shear. One such example is the shedding of a vortex street when the Canary Current impinges onto the central island of Gran Canaria in the Canary Archipelago. Because of their generation through bottom friction these are quite deep vortices. Baroclinic eddies, on the other hand, require the existence of vertical shear in the flow. An example is the Algerian Current that flows eastward North of Africa, which becomes unstable and produces a meander that may separate as a closed eddy. These eddies are usually shallow, spanning that portion of the water column where vertical shear is intense.

Here we examine the surface convergence in three eddies as revealed by drifters. Two are barotropic eddies generated south of Gran Canaria, one anticyclonic<sup>1</sup> and the other cyclonic<sup>2</sup> (Figures 1 and 2). The anticyclonic eddy was generated in June 1998. Its initial diameter, as seen in satellite images, was about 50 km, and its initial rotation period was 2.5 days. This eddy was tracked by three buoys, their drag located below the surface mixed layer at a depth of 100 m. In Figure 1 we show the trajectory and radius of buoy 61 that followed the vortex during about 200 days. The positions are interpolated every 3 hours using a polynomial fit and the raw data are smoothed with a 12 hours low-pass Fourier filter. This filter was appropriate to smoothen the trajectory of the buoy, no further filter was necessary because of the negligible contribution by the tide and because of the relatively deep drag that kept it away from the inertial oscillations. A mean radius has been obtained by low-pass filtering the three-hour data with a 6-day filter. The time evolution of this mean radius supports the idea of radial convergence within the anticyclonic eddy, with a mean radial velocity of about  $0.001 \text{ m s}^{-1}$ .

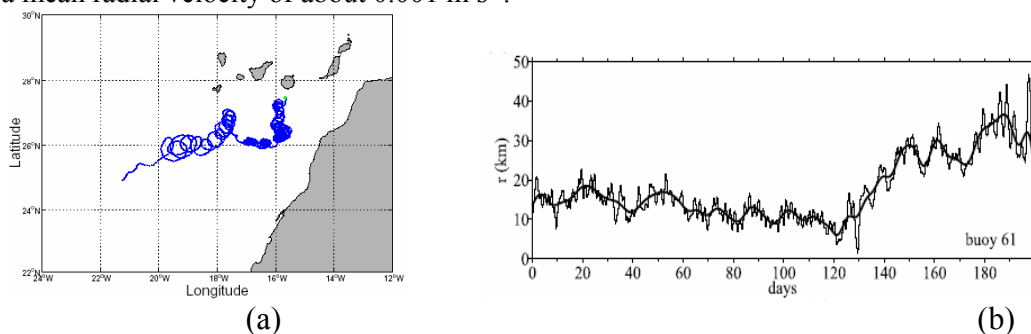


Figure 1. (a) Trajectory and (b) radius of revolution of buoy 61 in an anticyclonic barotropic vortex.

The cyclonic eddy, generated in October 2004, was tracked by two drifters. Its initial diameter, as seen in satellite images, was about 50 km, and its initial rotation period was 4.5 days. In order to obtain the trajectories we followed a procedure similar as above, but using a 27 hours

low pass Fourier filter to remove inertial oscillations (26,5 hours period in the eddy's generation area). In Figure 2 we show the trajectory of both buoys and the radius of buoy 88 that followed the vortex during about 100 days. A mean radius has been obtained by low-pass filtering the three-hour data with a 10-day low-pass filter until day 70, and with a 15-day low-pass filter afterwards. The time evolution of the mean radius suggests that this eddy was experiencing negligible radial convergence.

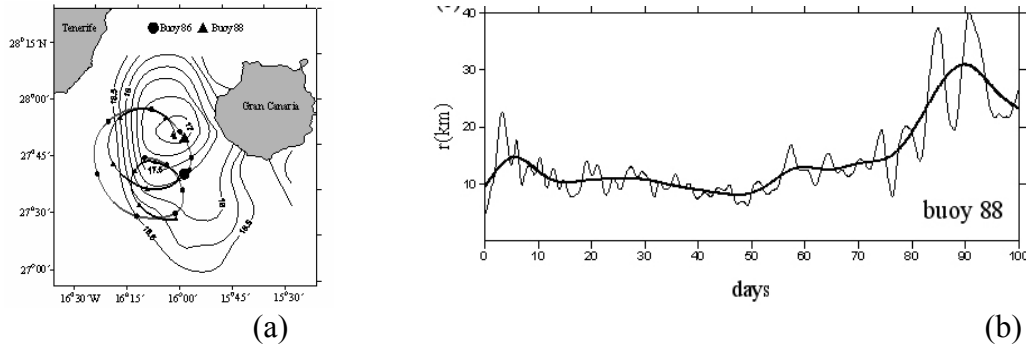


Figure 2. (a) Trajectory and (b) radius of revolution of buoy 88 in a cyclonic barotropic vortex.

The third vortex is a baroclinic vortex generated by the Algerian vortex, south of the Balearic Island<sup>3,4</sup>. Fifteen surface drifters were deployed across the eddy in month year. The buoys were dragged at a mean depth of 10 m. In Figure 3 we illustrate the trajectory and radius of buoy 24 which stayed within the eddy during 73 days. The procedure followed is similar as above but now using a 24 hours low-pass Fourier filter, in order to remove any tidal or inertial contribution. A mean radius has been obtained by low-pass filtering the three-hour data with a 10-day low-pass filter. The time evolution of this mean radius does not suggest the existence of radial convergence associated to baroclinic eddies.

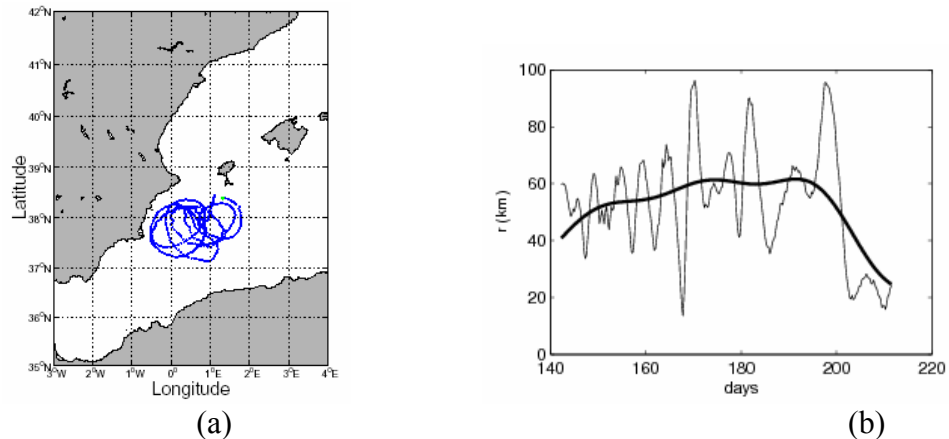


Figure 3. (a) Trajectory and (b) radius of revolution of buoy 24 in a cyclonic barotropic vortex.

<sup>1</sup> P. Sangrà, J. L. Pelegrí, A. Hernández-Guerra, A. Martinez, C. Gordo, B. Jimenez-Douglas, A. Marrero-Díaz, A. Rodríguez-Santana, and A.W. Ratsimandresy, "Life history of an anticyclonic eddy". *Journal of Geophysical Research* **110**, C03021 (2005).

<sup>2</sup> P. Sangrà, J. L. Pelegrí, A. Marrero-Díaz, M. Auladell, E. Fraile, J. M. Martín, A. Rodríguez-Santana, and A. Hernández-Guerra, "On the nature of eddies shed by Gran Canaria Island". *Deep-Sea Research*, in preparation.

<sup>3</sup> J. Font, J. Isern-Fontanet, and J. Salas, "Tracking a big anticyclonic eddy in the western Mediterranean Sea", *Scientia Marina* **68**, 331-342 (2004).

<sup>4</sup> S. Ruiz, J. Font, M. Emelianov, J. Isern-Fontanet, C. Millot, J. Salas, and I. Taupier-Letage, "Deep Structure of an open sea eddy in the Algerian Basin", *Journal of Marine Systems* **33-34**, 179-195 (2002).



## Un modelo semilagrangiano de elementos finitos de alto orden para resolver las Ecuaciones Primitivas del océano.

Rodolfo Bermejo (1), Pedro Galán del Sastre (2) )

( (1) Depto. de Matemática Aplicada, U. Politécnica de Madrid, (2) Depto. de Matemáticas, Universidad de Castilla-La Mancha)

Las Ecuaciones Primitivas para el océano son un sistema de EDPs no lineales que pretenden modelar la circulación del océano. Este sistema se compone esencialmente de las ecuaciones de Navier-Stokes para un fluido incompresible y en rotación, sujetas a las hipótesis simplificadoras de Boussinesq, capa delgada e hidrostática, acopladas a las ecuaciones de advección-difusión para la salinidad y temperatura, junto con una ecuación de estado para la densidad.

Las grandes dificultades numéricas que presentan este tipo de modelos son los términos de advección (términos no lineales), la divergencia nula del flujo y , desde el punto de vista computacional, la tridimensionalidad del problema que puede incrementar prohibitivamente el número de grados de libertad del sistema.

Combinando el método de elementos finitos de alto orden con un esquema semilagrangiano, podemos discretizar los términos advectivos de las ecuaciones sin necesidad de restringir el paso de tiempo por problemas de estabilidad. En concreto, presentamos algunos resultados con pasos de tiempo del orden de 10 veces más grandes que los modelos que se utilizan hoy día en los estudios oceanográficos [3].

El problema de la divergencia se resuelve utilizando un algoritmo de gradiente conjugado para la presión [1]. Si bien este tipo de esquemas puede resultar poco atractivo desde el punto de vista computacional para problemas en tres dimensiones, mostramos que en este modelo se puede hacer una formulación en dos dimensiones, gracias a la hipótesis de hidrostática, que hace competitivo el esquema propuesto.

Por último, la tridimensionalidad del problema, que es esencial para estudios realistas de la circulación oceánica, se resuelve mediante la utilización de técnicas de paralelización computacional. Para ello, la idea principal consiste en cambiar la coordenada vertical- $z$  a coordenada- $\sigma$  [2], [3], para convertir el dominio físico oceánico en un dominio de profundidad constante, aunque manteniendo la topografía de la costa. Esto permite la resolución de los problemas elípticos tridimensionales mediante algoritmos de paralelización por capas horizontales, procurando así un gran ahorro de tiempo de cálculo.

Finalmente, se presentarán algunos resultados preliminares obtenidos por la aplicación de este modelo al Mar Mediterráneo.

### Referencias:

- [1] E. J. Dean, R. Glowinski, "On some Finite Element Methods for numerical Simulation of Incompressible Viscous Flow". *Incompressible Computational Fluid Dynamics* University Cambridge Press. 17-65, 1993.
- [2] E. Deleersnijder, K.G. Ruddick. "A generalized vertical coordinate for 3D marine models." *Bulletin de la Société Royale des Sciences de Liège*, **61**, 489-592 (1992).
- [3] D. B. Haidvogel, A. Beckmann, "*Numerical Ocean Circulation Modeling*", Imperial College Press, 1999..

## Annual winter fluctuations of surface chlorophyll in the north-western Mediterranean Sea from 1997 to 2004, in relation with meteorological conditions.

D. Blasco and A. Morales-Blake

Institut Ciències del Mar, CSIC, Passeig Marítim de la Barceloneta 37-49- 08003 Barcelona, Spain.

[blasco@cmima.csic.es](mailto:blasco@cmima.csic.es), [almorales@cmima.csic.es](mailto:almorales@cmima.csic.es)

The Gulf of Lions and the Ligurian Sea, are two of the most productive zones of the Mediterranean reveal by the relatively high fish landings along the coastal towns as well as by being the home to several marine mammals<sup>1,2</sup>. This high productivity has been related to several hydrographic features: upwelling, river run-off, and intense deep water mixing<sup>3,4</sup>. Climatological monthly composites of surface chlorophyll from SeaWiFS imagery and wind speed from SSM/I and QuikScat produced in this region over the 1997 -2004 period, allowed us to determine the main patterns in the variability of the winter surface chlorophyll in this region and relate those pattern to wind conditions and with the long-term climatic indicator NAO. Time series analysis of standardized anomalies in MEDOC<sup>5</sup> area and central area of Ligurian Sea were carry out. Intense water mixing occurs mostly in the winter coinciding with the cooling of the surface water and induced by the predominant, strong, dry and cold north-westerly winds, Tramuntana and Mistral. Surprising enough it coincides with a relatively high surface chlorophyll concentration ( $> 1.5 \text{ mg m}^{-3}$ ) extending over the entire area, however a distinct region where the deep mixing is more intense and chlorophyll is very low, can be easily observed (Fig 1). It can also be observed that the intensity and extension of this low chlorophyll region is subject to annual variations. Wind data from September 1997 to August 2004 in two regions: MEDOC area and Ligurian Sea (Fig 2a), show distinct differences in the wind intensity between the two regions and a clear inter-annual variability. A similar pattern is reflected in the chlorophyll anomalies (Fig 2b). Interesting is the contrast between winter 1998 and winter 1999. The comparison of both sets of data clearly shows that at the short time scale, a negative relationship between wind intensity and chlorophyll as well as between the winter NAO index and chlorophyll exists. Nevertheless it is also evident that at the annual scale, both wind driven mixing and a positive NAO index have a dominant influence on the primary productivity of this region, rather than the possible influence of river discharge as often has been proposed. Corroborates this suggestion the fact that 1999 was dry year while 1998 was a relatively wet year.

---

<sup>1</sup>J. Lleó, “La pesqueria en Catalunya y Valencia, Descripción global y planteamiento de bases para su seguimiento”, Informe Proyecto EECGXIV, CSIC, Institut de Ciències del Mar, Barcelona, Spain 1634pp (1990).

<sup>2</sup>J. Forcada, G.N. de Sciara and F.Fabbri, “Abundance of fin whales and striped dolphins summering in the Corso Ligurian Basin”. *Mammalia*, **59**, 127-140 (1995).

<sup>3</sup>M. Estrada, “Primary production in the northwestern Mediterranean”, *Scientia Marina*, **60** (Suppl.2), 55-66 (1996).

<sup>4</sup>C. Millot, “Circulation in the western Mediterranean Sea”, *J. Mar. Syst.*, **20**, 423-442 (1999).

<sup>5</sup>MEDOC Group, Observation of formation of deep water in the Mediterranean Sea, 1969. *Nature*, **227**, 1037-1040, (1970).

Acknowledgements:

The authors would like to thank the SeaWiFS Project (Code 970.2) and the Distributed Active Archive Center (Code 902) at the Goddard Space Flight Center, Greenbelt, MD 20771, for the production and distribution of these data, respectively. These activities are sponsored by NASA's Mission to Planet Earth Program. SSM/I and QuikScat data are produced by Remote Sensing Systems and sponsored by the NASA Earth Science REASoN DISCOVER Project and NASA Ocean Vector Winds Science Team. Data are available at [www.remss.com](http://www.remss.com).

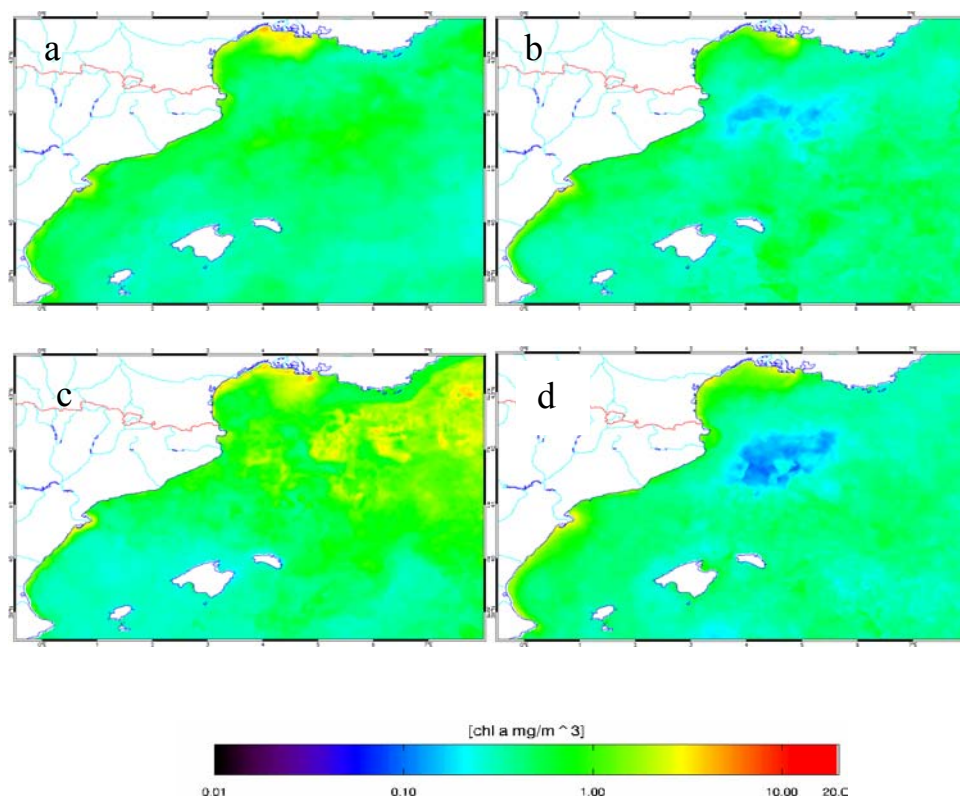


Fig. 1.- Monthly composites SeaWiFS images, showing spatial distribution of surface chlorophyll concentrations. (a) February 1998, (b) February 1999, (c) March 1999, (d) February 2003.

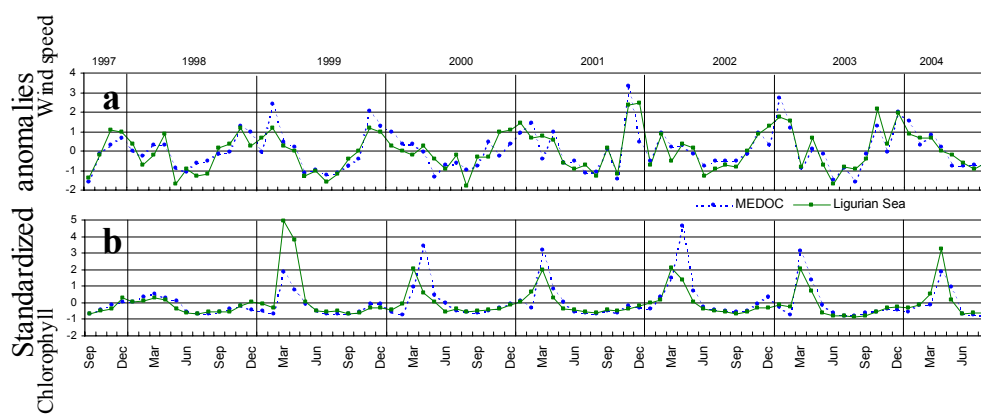


Fig. 2.- Time series of standardized anomalies in MEDOC area and central area of Ligurian Sea from September 1997 to August 2004. (a) Wind speed, (b) Sea surface chlorophyll.

## Local variability in the Mediterranean Sea through coastal data assimilation

M.I. Ferrer (1), A. Jordi (1), R. Onken (2), G. Vizoso (1), A. Álvarez (1), B. Casas (1), G. Basterretxea (1), J. Tintoré (1).

(1) IMEDEA, (CSIC-UIB) 07190. Esporles, Spain

(2) GKSS Research Center, Institute for Coastal Research, Max-Planck-Str. 1, 21502, Geesthacht, Germany

Temporal and spatial variability plays an important role in the oceans. In particular, the complexity of the circulation in the Mediterranean Sea is due to the interaction among different scales, not only spatial scales (basin, sub-basin scale and mesoscale) but also temporal scales (mesoscale, seasonal and inter-annual).

Numerical ocean models are used to study the circulation at different scales and to estimate the variability in the Mediterranean Sea. However, to represent an accurate ocean circulation by an ocean model is not a trivial task because it requires accurate numerics, good external forcing and adequate parameterizations. Observations are also obviously needed, particularly in key cross-sections such as straits and channels. Data assimilation is a powerful tool to provide better knowledge of ocean circulation. It combines a physical model with observational data to give more realistic ocean dynamics.

The model used in this study is HOPS (Harvard Ocean Prediction System) three-dimensional primitive equation ocean circulation model. The model is nested (one-way nesting) with the MFSTEP (Mediterranean Forecasting System Towards Environmental Predictions) Mediterranean model output. Some tests with climatology (MODB\_MED2) have been run. The model uses an optimal interpolation method to assimilate observational data. Some experiments at different time and spatial scales are performed. We assimilate CTD (Conductivity-Temperature-Depth) data and show the improvement to simulate the ocean circulation in comparison to the simulation without assimilation. With these experiments we show the importance of adequately resolving intermediate scales (mesoscale and local scale) and their interaction with large scale features to reproduce coastal ocean circulation.

---

## Signals of climatic events in Mediterranean deep water

J. Font, P. Puig, A. Palanques, M. Emelianov, A. Julià

Institut de Ciències del Mar CSIC, Passeig Marítim de la Barceloneta 37-49, 08003 Barcelona

The Mediterranean Sea is a good laboratory to analyse several aspects of the effect of climate in the ocean. For example it is one of the few areas, outside the Arctic Ocean, where deep water formation processes take place due to interaction with the atmosphere. The Mediterranean is known to be very sensitive to atmospheric forcing and far from a stationary state. Its hydrological characteristics and dynamics present long-term, interannual to decadal, variability, at least since sufficiently accurate data are available (i.e. about four to six decades)<sup>1</sup>. As part of a pilot program of the International Commission for the Scientific Exploration of the Mediterranean (CIESM)<sup>2,3</sup>, a series of deep moorings equipped with an autonomous CTD and eventually a current-meter are being set in place close to the seabed at depths ranging from 300 to 2000 m, by scientific teams and/or hydrographic services of riparian countries with the aim of tracking long term changes in the deep water characteristics. One of this stations is maintained by ICM-CSIC from October 2003 in the deepest part of the continental slope (1850 m) off the Catalan coast (41° 28'N, 3° 40.4'E). This point had been used in 1993-94 for a study related to deep water formation processes in the NW Mediterranean<sup>4</sup>.

During the same observational period, in the frame of the EU-NA EuroStrataform Project, several moorings were deployed in the Gulf of Lions submarine canyons. During winter 2003-04 seven canyon heads were instrumented with near-bottom current meters equipped with temperature, conductivity, pressure and turbidity sensors deployed at 300 m water depth (EVK3-CT-2002-00079 Project, EU Fifth Framework Program: Energy, Environment and Sustainable Development), and during winter 2004-05, one tripod and four moorings equipped with current meters were deployed along the Cap de Creus canyon axis, from 145 m down to 750 m depth (ONR Grant N00014-04-1-0379). The objective of these deployments was to investigate the processes by which sediment is transferred from the continental shelf to submarine canyons incised in a river-dominated margin.

Results obtained during the winter 2003-04 deployments demonstrated that the Gulf of Lions submarine canyons are active conduits of sediment during present conditions, and that the major mechanism contributing to the sediment transport are eastern storms and shelf water cascading. In the Gulf of Lions winter heat losses and evaporation caused by cold and dry northerly winds (Tramontane and Mistral) induce cooling and mixing of the coastal waters, which eventually become denser than the surrounding waters and sink. After travelling on the shelf, they flow down the continental slope –preferentially through submarine canyons– until they reach their equilibrium (neutral density contrast) level. Shelf water cascading events were characterized by decreases in temperature and increases in current speed (up to 80 cm/s) and occurred frequently from January to May in the W sector of the Gulf of Lions –where they were more intense–, and from February to April in the E sector. These events lasted few days and often begun and/or were enhanced during eastern storms, which caused increases in suspended sediment concentration, and contributed to amplify the sediment fluxes. The preferential direction of the coastal currents, the width of the shelf and the coastal topographic constrain causes that most of the sediment transport occur through the Cap de Creus Canyon (the westernmost one), where observed sediment fluxes were two orders of magnitude higher than in the eastern and central submarine canyons<sup>5</sup>.

During winter 2004-05, the persistent northerly winds and the absence of river discharges that increase buoyancy of coastal waters contributed to dramatically enhance the intensity of the shelf water cascading mechanism. Under this weather conditions, cascading in the Cap de Creus

Canyon took place without being triggered by eastern storms and begun in early November (much earlier than in the preceding year). During the first events, this process only affected the canyon head, but in late December-early January a major cascading event reached down to 500 m depth, and the next event arrived to 750 m depth. From late January to early March cascading occurred continuously and maintained cold temperatures and down-canyon steady currents between 40 and 80 cm/s, showing periodic fluctuations that lasted between 3-6 days and were particularly well defined at 750 m depth<sup>6</sup>.

The time series of data recorded at the CIESM-ICM station at 1845 m indicate a clear difference between the 2003-04 and 2004-05 winter seasons. The potential temperature (12.85°C) and salinity (38.47) values were almost unchanged from October 2003 until the end of January 2005, indicating a steady situation. However, from this last date both variables rapidly increased to 13.00 and 38.52, and by early March suddenly decreased by more than 0.2°C and 0.05 and remained during one month in a range of low values (with peaks down to 12.52 and 38.42), followed by a gradual increase until reaching quite steady values of 12.88-12.89 and 38.49-38.50 at the moment of recovering the data. Current meter records at the same point show usually very low values that can increase for short periods, reaching more than 10 cm/s by mid December 2003 and more than 20 cm/s during the second half of March 2004. After lower peaks in May and June, the records remain almost below the instrument threshold for the summer and fall 2004. By mid March 2005 the speed bangs suddenly (with peak values above 60 cm/s), almost in coincidence with the temperature and salinity drop, remains around 15-20 cm/s until mid April, then around 10 cm/s and returns to the minimum values during the second half of May. These big current values were mostly in the southwestwards alongslope direction.

The records in this point in winter 1993-94 indicated a cold temperature anomaly (less than 0.02°C) in March, with no impact on the current regime, which was related to the triggering of dense water formation in the Gulf of Lions, some 90 km upstream. The signals that we have observed in 2005 are much more intense and can indicate some very special event related to the particular conditions of this winter. The data recorded in the Cap de Creus canyon, located 100 km north and up-current from the CIESM-ICM station, can provide an explanation for this deep water behaviour in terms of alongslope spreading of the dense waters formed during the cascading.

---

<sup>1</sup>J.P. Bethoux, B. Gentili, D. Tailliez, "Warming and freshwater budget change in the Mediterranean since 1940s, their possible relation to the greenhouse effect", *Geophys. Res. Lett.*, 25, 1023-1026 (1998)

<sup>2</sup>C. Millot et al., "Tracking long-term hydrological change in the Mediterranean Sea", *CIESM Workshop Series*, 16, 134 p. (2002)

<sup>3</sup>A. Theocharis and the CIESM initiative group, "Long-term sustained observing system for climatic variability studies in the Mediterranean", *Building the European capacity in operational oceanography*, Proceedings of the Third International Conference on EuroGOOS, *Elsevier Oceanography Series*, 69, 78-86 (2003)

<sup>4</sup>U. Send, J. Font, C. Mertens, "Recent observation indicates convections's role in deep water circulation", *EOS Trans. AGU*, 77(7), 61-65 (1996)

<sup>5</sup>A. Palanques, P. Puig, P., X. Durrieu de Madron, J. Guillén, A. Calafat, J. Fabrés, S. Heussner, M. Canals, "Suspended sediment transport through the Gulf of Lions submarine canyons". *EGU General Assembly 2005*, Viena, Austria. (2005)

<sup>6</sup>P.. Puig, A. Palanques, J. Guillén, "Sediment transport processes through the Cap de Creus submarine canyon". *ASLO Summer Meeting 2005*, Santiago de Compostela, Spain. (2005)

## Patrones del número de onda de Rossby estacionario para forzamientos térmicos asociados a El Niño

J. García, B. Rodríguez-Fonseca

Departamento de Geofísica y Meteorología, UCM. Av Complutense sn, 28040 Madrid

El fenómeno El Niño-Oscilación del Sur (ENSO) es el sistema acoplado océano-atmósfera responsable de un gran número de anomalías climáticas a lo largo de todo el globo. Una de las teorías más aceptadas para entender la dinámica de las teleconexiones atmosféricas, y en especial las asociadas a ENSO, es la que asume que en la alta troposfera se establecen ondas de Rossby que son capaces de propagar anomalías desde las regiones ecuatoriales de forzamiento hasta áreas alejadas de latitudes extratropicales<sup>1</sup>. Varios estudios<sup>2,3</sup> han revelado también la existencia de guías de onda ecuatoriales que permitirían conexiones interhemisféricas. Estas guías se sitúan en las cuencas oceánicas del Atlántico y del Pacífico-Este.

Un parámetro de diagnóstico particularmente útil para ilustrar la existencia de posibles guías de ondas de Rossby es el número de onda estacionario  $K_S$ . Éste se desprende, en condiciones estacionarias, de la Ecuación de Vorticidad establecida como una ecuación de onda para el potencial función de corriente<sup>3</sup>. La expresión que define este número de onda estacionario es:  $K_S = (\beta^* / U)^{1/2}$ , donde  $\beta^* = \beta - (\partial^2 U / \partial y^2)$  es el gradiente meridional de la vorticidad absoluta y  $U$  es el viento rotacional zonal.

Este trabajo se centra en las regiones delimitadas por un elevado número de onda estacionario (definido aquí para  $K_S \geq 13$ ), indicando la localización de áreas prohibidas o críticas que inhiben la propagación de los trenes de ondas de Rossby<sup>1,2,3</sup>. En particular, el estudio establece la relación entre la componente oceánica de ENSO, El Niño, y las anomalías en la distribución geográfica de esas regiones críticas. En este sentido, se ha analizado el comportamiento de  $K_S$  durante los meses invernales de diciembre a febrero (DEF) y su relación con las anomalías de la temperatura de la superficie del mar (SST) en la misma estación. Para ello se han empleado datos de viento en 200 hPa procedentes del re-análisis del NCEP/NCAR, distribuidos globalmente y con los que se ha calculado el número de onda  $K_S$ . Asimismo se han empleado datos de la temperatura de la superficie del mar procedentes de la base ERSST de NOAA. Se ha calculado la anomalía estacional respecto de la climatología 1948/49-2002/03 y se ha sustraído la tendencia.

Las técnicas de análisis multivariante *Análisis de Componentes Principales* (PCA) y *Análisis de Covarianza Máxima* (MCA) han sido empleadas para caracterizar los patrones fundamentales del número de onda estacionario, así como parejas de patrones de  $K_S$  y SST acopladas, respectivamente. Todo el estudio se ha realizado tomando las desviaciones del número de onda  $K_S$  con respecto a la climatología. La representación gráfica de estos  $K_S$  anómalos, tiene una interpretación dinámica que permite asociar la distribución correspondiente de cada evento al desplazamiento de las regiones prohibidas con respecto a su posición climatológica.

La Figura 1 muestra el primer modo del análisis MCA llevado a cabo entre anomalías de SST y de  $K_S$ . Éste primer modo, que representa más del 80% de la covarianza cuadrática entre los campos, sitúa los centros de acción del patrón de regresión homogénea para SST en la región de El Niño, mientras que la estructura de  $K_S$  (mapa de regresión heterogénea) muestra que la máxima variabilidad en la localización de las zonas prohibidas se sitúa sobre las regiones ecuatoriales del Atlántico y del Pacífico central-este. El hecho de que éstas zonas de anómalos  $K_S$  tengan una estructura significativa en su relación con el fenómeno de El Niño podría ayudar a entender la presencia o ausencia de teleconexiones a través de estas regiones.

Sin embargo, si se observan las estructuras asociadas a  $K_S$  a lo largo del tiempo se encuentran importantes asimetrías en las zonas prohibidas para diferentes fases de El Niño, lo cual

hace pensar que este primer patrón podría ser un híbrido de las estructuras anómalas de  $K_S$  asociadas a El Niño y a La Niña y que, por tanto, no fuera real sino una consecuencia del problema matemático asociado a MCA.

El resultado del análisis PCA para  $K_S$  muestra que el patrón principal, que explica el 11.7% de la varianza, no está relacionado con su homólogo patrón de  $K_S$  obtenido con el método MCA (figura1). Sin embargo, tanto la segunda como la tercera componente principal (Figuras 2.a y 2.b), que explican el 8.2% y el 6.5% de la varianza total, si que están altamente correlacionados con el patrón fundamental de  $K_S$  obtenido por MCA asociado al patrón de SST del Pacífico tropical, respectivamente: 0.61 para la EOF#2 y 0.63 para la EOF#3. Este resultado confirma nuestra hipótesis de que las regiones con variabilidad en la localización de las zonas prohibidas no coinciden para El Niño y La Niña. Las diferencias mas importantes son:

- En general, con respecto a la climatología, la región prohibida que se extiende desde Pacífico oeste hasta el Atlántico este parece moverse como un todo: desplazándose hacia el Pacífico central durante El Niño y hacia el Atlántico central durante La Niña.
- Durante casi todos los eventos El Niño, la región prohibida de la cuenca del Amazonas sufre una contracción con respecto a la climatología, faceta que también aparece en la segunda componente principal asociada a  $K_S$ . Por contra, durante los episodios La Niña la misma región se expande con respecto a la climatología, faceta que se muestra en la tercera EOF de  $K_S$ .

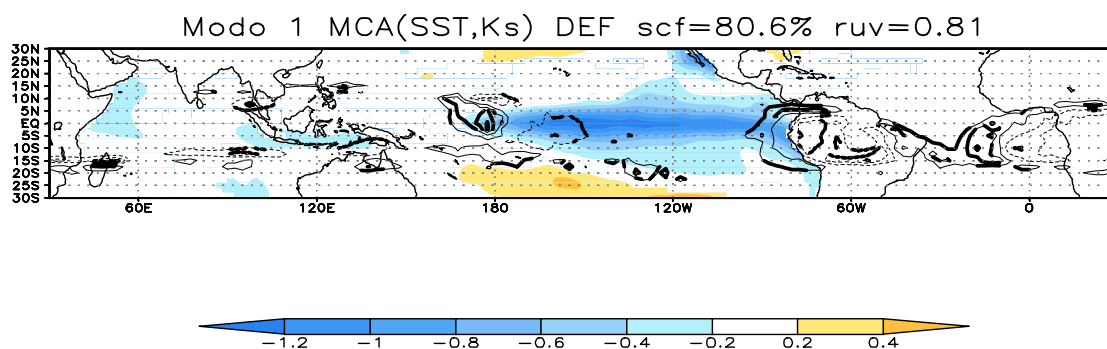


Figura 1. Mapa de regresión heterogéneo del primer modo de Covarianza Máxima asociado a la anomalía de  $K_S$  (contornos) frente al mapa de regresión homogéneo de dicho modo asociado a la anomalía de SST (sombreado, °C) para DEF. Sólo se han representado las anomalías significativas a un 98% según un test-t, resaltándose aquellos contornos de  $K_S$  significativamente asociados a SST. El porcentaje de covarianza cuadrática, junto con el coeficiente de correlación entre los coeficientes de expansión, asociado a este modo se indica en el título de la figura.

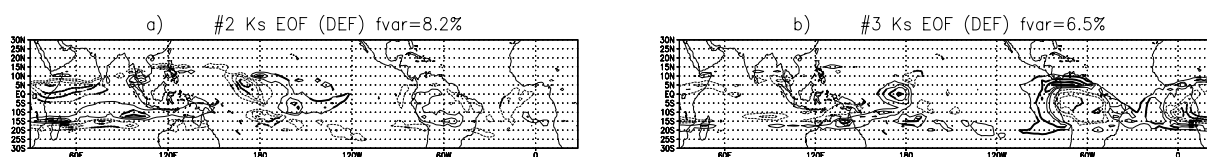


Figura 2. Estructuras espaciales de la función empírica ortogonal segunda (a) y tercera (b) del numero de onda estacionario anómalo  $K_S$  para DEF. Se han resaltado los contornos significativos a un 98% según un test-t. La fracción de varianza explicada por cada modo se indica como un porcentaje en el título de la figura.

<sup>1</sup> B.J. Hoskins y D.J. Karoly, "The steady linear response of a spherical atmosphere to thermal and orographic forcing", J. Atmos. Sci., vol 38, 1179-1196 (1981).

<sup>2</sup> H.-H. Hsu y S.-H. Lin, "Global teleconnections in the 250-mb streamfunction field during the Northern Hemisphere winter", Mon. Wea. Rev., vol 120, 1169-1190 (1992).

<sup>3</sup> B.J. Hoskins y T. Ambrizzi, "Rossby wave propagation on a realistic longitudinally varying flow", J. Atmos. Sci., vol 50, 1661-1671 (1993).



## Mediterranean Sea level and barotropic flow through the Strait of Gibraltar for the period 1958-2001 and since 1659.

Damià Gomis<sup>1</sup>, Michael N. Tsimplis<sup>2</sup>, Belén Martín-Míguez<sup>3</sup>, Andry W. Ratsimandresy<sup>3</sup>,  
J. García-Lafuente<sup>4</sup>, S.A. Josey<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Institut Mediterrani d'Estudis Avançats (UIB CSIC), Mallorca, Spain,

<sup>2</sup> National Oceanography Centre, Southampton, UK

<sup>3</sup> Area de Medio Físico, Puertos del Estado, Madrid, Spain

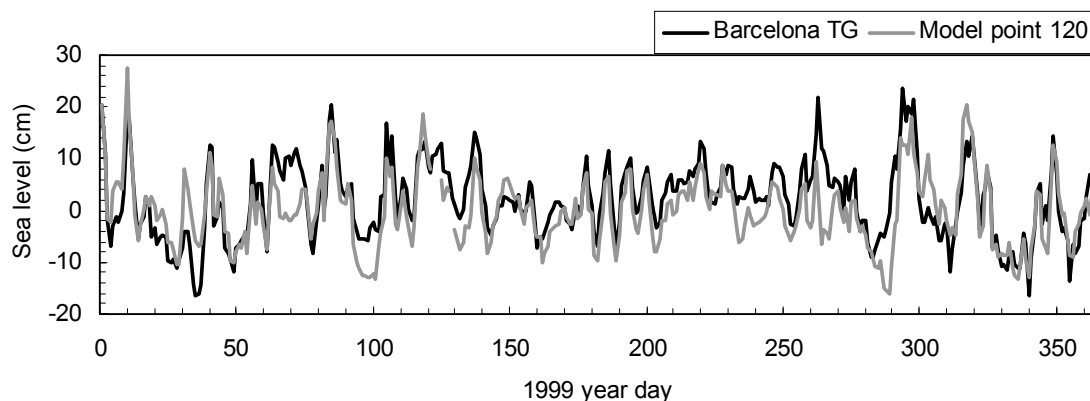
<sup>4</sup> Departamento de Física Aplicada, Universidad de Málaga, Spain

### SEA LEVEL MODEL DATA

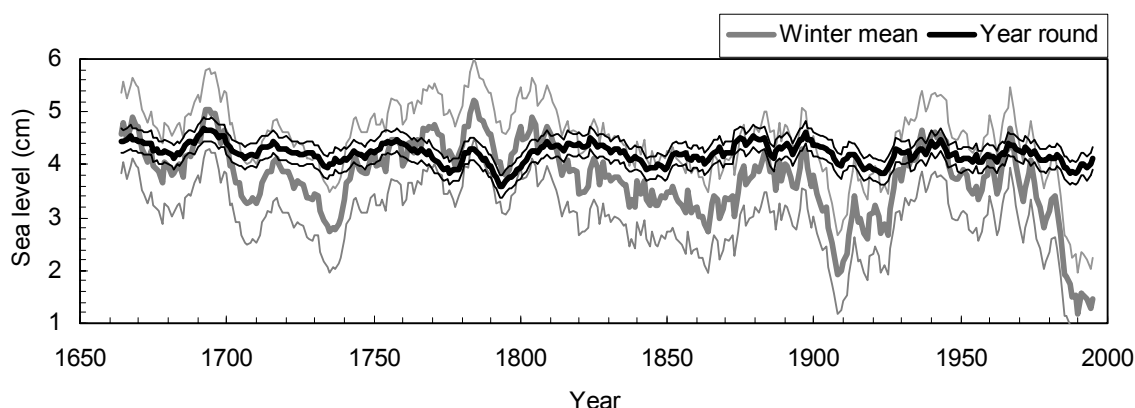
Sea level values from a two dimensional model<sup>1</sup> of the Mediterranean Sea are used to estimate the barotropic net flow through the Strait of Gibraltar for the period 1958-2001. The model is forced by a downscaled reanalysis of atmospheric pressure and wind, so that the outputs reflect the contribution of direct atmospheric forcing to total sea level variability. The ability of the model to reproduce actual sea level has been largely validated against tide gauge data. Correlation between tide gauge sea level residuals (which include the steric part) and model outputs is typically around 0.8 or higher, and RMS errors are of order 5 cm (Fig. 1). Removing the steric part from the tide gauge signal the agreement between model and observations would be even better.

A first relevant result is that for the last decades we obtain a negative trend of  $-0.6$  mm/yr which is especially apparent in winter (Fig. 2). This means that in the Mediterranean Sea, the meteorological forcing of sea level would be delaying the sea level rise derived from global warming<sup>2</sup>.

The Mediterranean mean sea level as derived from the model is well correlated with the North Atlantic Oscillation Index both on a monthly basis ( $r=0.583$ ) and on an annual basis ( $r=0.551$ ) especially during the winter season ( $r=0.856$ ). Despite sea level is even better correlated with the Mediterranean Oscillation Index (MOI), only long term reconstructions of the NAO are available. Hence, NAO historical data and reconstructions are used to derive the Mediterranean Sea level variability from 1659 until 2001. The accuracy of the reconstruction is estimated in 2.7 cm for monthly mean values, 0.41 cm for annual mean values and 0.22 cm for decadal mean values (0.48 for decadal winter mean sea level). The reconstruction enables the assessment of the influence of the meteorological forcing on sea level trends estimated over decades to centuries. As an example, if one was observing sea level during the period 1820-1900 and then between 1900-1960, the result would be a change in sea level rise from 0.03 to 0.3 mm/yr for the winters and about a third of this for the whole year. This coincides with the observed acceleration of sea level around the beginning of the century<sup>3</sup>.



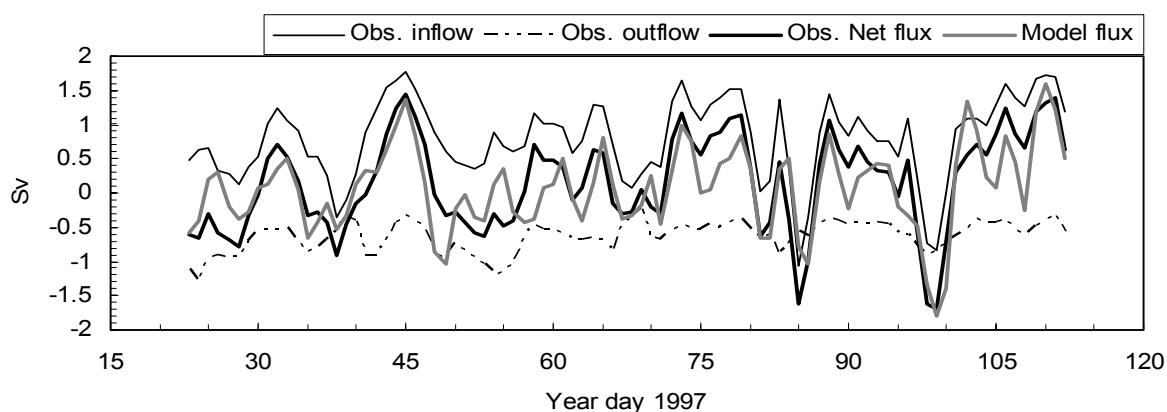
**Figure 1.** Sea-level residuals from the Barcelona tide gauge ( $41^{\circ} 21' 01''$  N,  $2^{\circ} 9' 41''$  E) and model values at the closest gridpoint ( $41^{\circ} 20' 00''$  N,  $2^{\circ} 15' 00''$  E) during 1999.



**Figure 2.** 10-year moving average of the monthly sea level series reconstructed from the NAO index and of winter (Dec-Mar) mean sea level reconstructed from the winter NAO index. The uncertainty associated with the reconstruction of both series has been plotted.

### NET FLUX THROUGH THE STRAIT OF GIBRALTAR

The barotropic exchange through the Strait is computed from the model output as the time derivative of the total water volume change within the basin. The model successfully reproduces the subinertial variability of published estimates of the fluxes based on current meter observations (Fig. 3). During the period 1958-2001 the meteorological component of the basin mean sea level ranges between  $\pm 20$  cm with a standard deviation of 5.5 cm and the derived fluxes vary between  $\pm 2.7$  Sv (except for an isolated value of 3.8 Sv) with a standard deviation of 0.56 Sv. The dominant frequencies of the computed flux are in between one and two weeks. The direct meteorological forcing has also an annual cycle of about  $\pm 0.025$  Sv. The annual cycle of the continuous inflow induced by the negative Evaporation-Precipitation budget of the Mediterranean basin has been estimated to vary between 0.035 and 0.085 Sv, so that the direct meteorological forcing significantly modulates the total annual cycle.



**Figure 3.** Comparison between model-derived flows and those observed by Tsimplis and Bryden [23 Jan - 23 Apr 1997]. The observed inflow and outflow have also been plotted.

### REFERENCES

- <sup>1</sup> Álvarez-Fanjul, E., B. Pérez and I. Rodríguez, NIVMAR: A storm-surge forecasting system for Spanish waters. *Sci. Mar.*, **60**, 145-154, 2001.
- <sup>2</sup> Rixen, M., J.-M. Beckers, S. Levitus, J. Antonov, T. Boyer, C. Maillard, M. Fichaud, E. Balopoulos, S. Iona, H. Dooley, M.J. García, B. Manca, A. Giorgetti, G. Manzella, N. Mikhailov, N. Pinardi and M. Zavaratelli, The Western Mediterranean Deep Water: a proxy for climate change, *Geophys. Res. Lett.* (in press).
- <sup>3</sup> Church, J. A., J. M. Gregory, P. Huybrechts, M. Kuhn, K. Lambeck, M. T. Nhuan, D. Qin and P. L. Woodworth, Changes in sea level. Chapter 11 of the *Intergovernmental Panel on Climate Change, Third Assessment Report*, pp. 639-694. Cambridge Univ. Press, 2001.

## **Spatial and temporal evolution of the subantarctic mode waters**

L. Herraiz and S. Rintoul

CSIRO Marine Research and Antarctic Climate and Ecosystems Cooperative Research Centre

Subantarctic Mode Water (SAMW) is formed by deep mixing on the equatorward side of the Antarctic Circumpolar Current. The subduction and export of SAMW from the Southern Ocean plays an important role in global heat, freshwater, carbon and nutrient budgets. However, the formation process and variability of SAMW remains poorly understood due largely to a lack of observations. Here we use repeat CTD and XBT sections to determine the distribution, variability and circulation pathways of Subantarctic Mode Water (SAMW) in the Australian sector of the Southern Ocean. The downstream evolution of SAMW properties with longitude is examined by averaging Argo float profiles in dynamic height bins. Changes in temperature, salinity and pycnostad strength of the modes are related to air-sea fluxes and Ekman transport. Temporal changes in SAMW properties are evaluated using a 12 year time series of repeat XBT section, recent repeat CTD section, historical hydrographic data and Argo profiles.

## Is the Atlantic-Andalusian shelf a “continental shelf pump”?

I. Emma Huertas, Gabriel Navarro, Susana Rodríguez-Gálvez, Laura Prieto and Javier Ruiz

Departamento de Oceanografía, Instituto de Ciencias Marinas de Andalucía (CSIC). Polígono Río San Pedro s/n  
11510 Puerto Real, Cádiz, SPAIN

During the last decade many efforts have been devoted to investigate, understand and quantify the global carbon cycle, since the greenhouse gas carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) plays a key role in controlling climate on Earth. Evidence has been now provided indicating that the ocean absorbs major amounts of the anthropogenic CO<sub>2</sub> although there is still a significant uncertainty in the assessment of this uptake of CO<sub>2</sub>. This is due in part to the fact that the coastal ocean has been largely ignored in the global carbon budgeting attempts. Considering the surface area of coastal seas and the high carbonate fluxes associated to the strong biological activity in these areas, continental margins are expected to contribute markedly to the open ocean storage of CO<sub>2</sub>, thereby influencing climate regulation. The necessity to re-evaluate the role of the coastal ocean within the context of climate change is evidenced by detailed field studies that have been initiated in a few areas such as the East China Sea<sup>1</sup>, the NW European shelf, the Baltic Sea and the North Sea<sup>2,3</sup>. Regardless of the geographical region considered, the participation of the coastal sea in the cycle of CO<sub>2</sub> is being generally described via a mechanism called the “continental shelf pump”, a term originally coined by Tsunogai et al. (1999)<sup>4</sup> to explain the observed large CO<sub>2</sub> absorption in the East China Sea during winter. The process is driven by the cooling of surface coastal waters that leads to the formation of dense water as well as an enhancement of CO<sub>2</sub> absorption together with high primary production. In the dense bottom waters, sedimented organic matter is degraded back into dissolved inorganic carbon (DIC) that is subsequently transported along isopycnals from the continental shelf to the adjacent deep ocean.

As a contribution to these global efforts in assessing the carbon cycle in coastal areas, a monitoring program has been established in the northeastern shelf of the Gulf of Cadiz, aimed at recording temporal patterns of carbon dioxide and dissolved organic carbon (DOC) in relation to local hydrological conditions and the annual cycle of primary production (PP). The area constitutes a domain of extraordinary interest where performing this analysis as the Gulf acts as a connecting node between the Oriental Atlantic and the Mediterranean Sea through the Strait of Gibraltar. In addition, recent investigations have shown that a wide coastal fringe bounded by the Guadalquivir and Guadiana rivers presents singular oceanographic dynamics that allow the maintenance of an elevated primary production even over periods of time in which the rest of the basin undergoes a profound oligotrophy<sup>5</sup>. It can be then speculated that in this sector the high biological activity would enable CO<sub>2</sub> drawdown from the atmosphere and a subsequent export to the subsurface layer that would enter into the deep circulation patterns of the Gulf. Therefore, the continental shelf is currently being subject to detailed investigations by our group, implementing remote sensing and *in situ* measurements to model the functioning of the ecosystem. A first description of the spatio-temporal variability of *p*CO<sub>2</sub> distribution in surface seawaters has been already obtained in connection with the multiple controlling factors that co-occur. According to data acquired during a 12-month period (March 2003-March 2004), seasonal *p*CO<sub>2</sub> variations in the Atlantic-Andalusian shelf are governed by the combination of the yearly sequence of phytoplankton biomass (chl *a*) and its concomitant PP and the fluctuations in local temperatures. Thus, in early spring, mixing of the water column brings nutrient to the surface, which along with those brought to surface waters by the Guadalquivir River discharge trigger the development of a phytoplankton bloom. The highest PP rates of the monitoring period are detected, occurring in parallel with the lowest values of surface *p*CO<sub>2</sub>. The undersaturation with respect to atmospheric *p*CO<sub>2</sub> leads the area to act as a net sink for CO<sub>2</sub>. Moreover, substantial accumulation of organic

matter in the form of both DOC and transparent exopolymer particles (TEP) takes place in surface<sup>6</sup>, with levels decreasing in depth. In contrast, over late summer, water stratification, wind relaxation and the diminution of river discharge cause a decrease in the surface concentration of chlorophyll [chl], which is accompanied by a reduction in the productivity of the shelf. A marked increase in surface  $p\text{CO}_2$  occurs, also in response to the high temperatures registered in the area, and the flux reverses towards the atmosphere. As autumn progresses, nutrient concentration rises as a consequence of fluvial inputs and the mixing in the water column favors the appearance of a second, but less intense, phytoplankton bloom. PP increases followed by a decrease in surface  $p\text{CO}_2$ . The undersaturation and the modulating influence of the wind result in a net capture of atmospheric  $\text{CO}_2$ . Although [chl] decreases during winter in response to PAR reduction, the air-sea  $\text{CO}_2$  flux remains directed towards the ocean. The observed findings indicate that, on annual basis, the Atlantic-Andalusian shelf behaves as a net sink for atmospheric  $\text{CO}_2$ <sup>7</sup> and point towards the possibility of considering this coastal margin as a continental shelf pump for the entire Gulf of Cádiz.

---

<sup>1</sup>C.-T. A. Chen, S.-L. Wang, Carbon, alkalinity and nutrient budgets on the East China Sea continental shelf, *Journal of Geophysical Research*, (104), 20675–20686 (1999).

<sup>2</sup>H. Thomas, Y. Bozec, H. J. W. de Baar, K. Elkalay, M. Frankignoulle, L.-S. Schiettecatte, G. Kattner, and A. V. Borges, The carbon budget of the North Sea, *Biogeosciences* (2) 87–96 (2005).

<sup>3</sup>A.V. Borges, Do We Have Enough Pieces of the Jigsaw to Integrate  $\text{CO}_2$  Fluxes in the Coastal Ocean?, *Estuaries* (28, 1), 3–27 (2005).

<sup>4</sup>S. Tsunogai, S. Watanabe, T. Sato, Is there a “continental shelf pump” for the absorption of atmospheric  $\text{CO}_2$ ?, *Tellus* (51B), 701–712 (1999).

<sup>5</sup>G. Navarro, J. Ruiz, Spatial and temporal variability of phytoplankton in the Gulf of Cadiz through remote sensing images, *Deep Sea Research II* (*submitted*)

<sup>6</sup>I.E. Huertas, G. Navarro, S. Rodríguez-Gálvez, L. Prieto, The influence of phytoplankton biomass on

the spatial distribution of carbon dioxide in surface seawater of a coastal area of the Gulf of Cádiz (SW Spain), *Canadian Journal of Botany* (*in press*)

<sup>7</sup>I.E. Huertas, G. Navarro, S. Rodríguez-Gálvez, L. M. Lubián, Temporal patterns of carbon dioxide in relation to hydrological conditions and primary production in the northeastern shelf of the Gulf of Cadiz (SW Spain), *Deep Sea Research II* (*submitted*)

## Impact of the oceanographic structure and dynamics on the population dynamics of demersal fishery resources: hypothesis for hake of Balearic Islands

Pere Oliver<sup>1</sup>, Sebastià Monserrat<sup>2</sup>, Enric Massutí<sup>1</sup>, Joan Moranta<sup>2</sup>, José Luis López-Jurado<sup>1</sup>, José Manuel Hidalgo<sup>2</sup>, Beatriz Guijarro<sup>1</sup>, Marta Marcos<sup>2</sup> y Romualdo Romero<sup>3</sup>

<sup>1</sup>IEO- Centre Oceanogràfic de les Balears, Moll de Ponent s/n, 07015 Palma

<sup>2</sup>CSIC/UIB- Institut Mediterrani d'Estudis Avançats, Miquel Marqués 21, 07190 Esporles

<sup>3</sup>UIB- Departament de Física, Campus Universitari, 07122 Palma

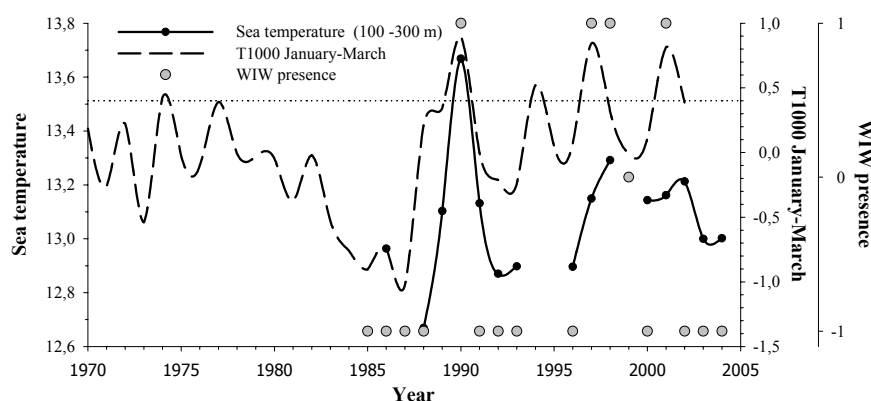
The IDEA project analyses the population dynamics of the demersal fishery resources in the Balearic Islands from an ecosystemic perspective, i.e. taking into consideration their natural fluctuations and the forcing factors ([www.ba.ieo.es/idea](http://www.ba.ieo.es/idea)). One of the project objectives has focused on the study of how the inter-annual variability of abiotic factors (oceanographic structure and dynamics) could impact on the demersal ecosystems, and to be more concrete, on the population dynamics of two species exploited by bottom trawlers: hake (*Merluccius merluccius*) and red shrimp (*Aristeus antennatus*).

Previous oceanographic surveys carried out around the Balearic Islands suggest two different scenarios for the regional ocean circulation<sup>1</sup>: (i) during cold winters, a water cooler than in milder winters is formed at intermediate layers (150-500 m) in the Gulf of Lions. This Winter Intermediate Water (WIW) usually move southward reaching the Balearic channels, deflecting the warmer Levantine Intermediate Water (LIW) coming from the eastern Mediterranean, and even stalling the Ibiza channel; (ii) during mild winters, less WIW is formed and then LIW flows through the channels appearing at their characteristic depths. At the same time, in the last decades, some inter-annual variability has also been observed in the trends of catches and population dynamics parameters of demersal species<sup>1</sup>.

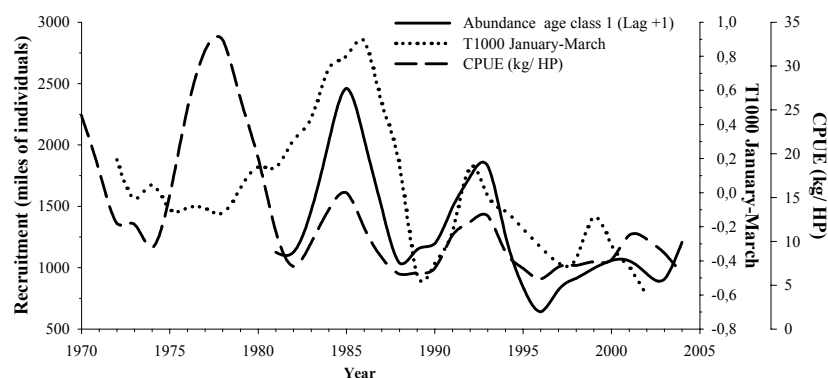
The oceanographic surveys carried out between 1986 and 2004 around the Balearic Islands have provided two data series that can characterize the presence or not of WIW in the Ibiza channel: (i) a qualitative one, indicating the presence or not, based on the analyses of TS diagrams; (ii) and another quantitative, based on mean water temperature between 100 and 300 meters depth in the channels. Both series are well correlated for the period 1985-2004 (Figure 1). Nevertheless, both data series are short and gapped. In order to obtain a longer and continuous index of presence of WIW, some atmospheric variables from the meteorological data base ERA-40 for the period 1970-2002 have been tested: (i) surface temperature (at 1000 hPa, the closest level to the surface) in 5 points (N, S, E, O and centre of the Western Mediterranean); (ii) the magnitude of components W-E and N-S of fluxes at low levels on the Western Mediterranean, based on the geo-potential height at 925 hPa. The series of air temperature anomalies at 1000 hPa in the Gulf of Lions during winter (January-March) has been shown to be the best indicator of presence/absence of WIW in the Balearic Islands channels in late spring. Values over 0.4 of the temperature anomaly would indicate absence of WIW in the Ibiza channel (Figure 1). The high correlation obtained allows using this index as an indicator of presence of WIW backwards in time and in those years for which the oceanographic data are missing.

Simultaneously, information referred to the fishing activity on hake and red shrimp around Mallorca is gathered since the 80': i.e. catches and landings, catches demography and biological and fishery parameters. These data have allowed estimating, from Virtual Population Analysis (VPA), the population dynamics of these two species, and in consequence the abundance of the species at sea (number of individuals and biomass at sea by year class and year). Regarding hake, once the time series have been smoothed by means of a three-year running mean average, the abundance of the first year class indexes show a good correlation with the index of presence of WIW (Figure 2). The three maximum values of abundance (1984, 1992 and 1999) fit well with the maximum values of negative anomalies of temperature in the Gulf of Lions (i.e. clear presence of

WIW in the Ibiza channel). However, abundance estimates are only possible from 1980 onwards. For previous years only catch per unit effort indexes (CPUE) are available to estimate the resource abundance. The maximum values of CPUE fit also well with the anomaly after the 80', with the only exception of the 1999 peak, probably due to the fact that in these years the exploitation targeted on older individuals more than on the first year class. High values of CPUE registered in the 70' do not fit well with this scenario. In this period, in which there is no information on the demography of catches, the fishing exploitation of this population had not reach the level of Maximum Sustainable Yield (MSY) and hence the capacity of resistance of the species to adverse environmental situations was supposed to be better than the one of the years after, when the population is showing a situation of overexploitation. As a conclusion this high correlation between hake dynamics and clear presence of WIW in the Balearic Islands since 1980, suggests an environmental favourable scenario for hake abundance in the area.



**Figure 1.-** Standardized air temperature anomaly in the Gulf of Lions (T1000 January-March), water temperature in the Ibiza Channel between 100 and 300 meters depth and presence of WIW in the Ibiza Channel (-1: well marked presence; 0: some presence; 1: absence of WIW).



**Figure 2.-** Negative air temperature anomaly in the Gulf of Lions (T1000 January-March) and series of abundance of the first year class and CPUEs of hake. Both variables are smoothed, by means of a three years running mean average. Note that the temperature anomaly is presented inverse by respect to the Figure 1.

The studies on the influence of different waters masses on species of slope shrimps are scarce. However, in the Mediterranean it has been suggested a possible association of these species with water masses of low temperature and high salinity<sup>1</sup>. For this reason, the project IDEA is working looking for an index to characterise the level of presence of this type of water masses in the area, in order to facilitate the analysis of their possible impact on the population dynamics of the red shrimp.

<sup>1</sup>Ghidalia W., & F. Bourgois.- 1961. Influence de la température et de l'éclairement sur la distribution des crevettes des moyennes et grandes profondeurs. *Stud. Rev. Gen. Fish. Counc. Médit.*, 16: 1-53.

## **Cambios en la predecibilidad de ENSO en la variabilidad observada y en la simulada para hoy y para el futuro**

M. J. Ortiz Bevia (1), F. Alvarez Garcia(1), E. Sanchez Gomez (2), W. Cabos Narvaez (1)

(1) Universidad de Alcala, Departamento de Fisica, Alcala de Henares

(2) CERFACS, Toulouse, Francia

Los cambios experimentados en la predecibilidad de ENSO se han mencionado repetidamente en algunos estudios científicos recientes (1,2) Un topico frecuente en la literatura es la atribucion de estos cambios. Se deben a cambios decadales en latitudes medias, son una manifestacion del calentamiento global o por el contrario a la naturaleza intrinseca de ENSO?. Con el objeto de contestar a estas preguntas, se ha realizado primerpo un estudio preliminar de la variabilidad ENSO simulada por un modelo de circulacion general en condiciones de control y de excitacion antropogenica. Nuestro analisis detecta en la simulacion de control distintas formas en que los eventos ENSO pueden generarse (3). En la simulacion excitada, la variedad se ve aumenada, lo que nos indica una menor habilidad predictiva en caso de que el modelo acoplado se utilizara para estos fines.

En el, presente trabajo, la predecibilidad se cuantifica como la habilidad predictiva (skill de correlacion ) obtenida por un modelo empirico de prediccion ( Patrones Principales de Oscilacion o POP). Esta tecnica empirica se utiliza para predecir a distintos plazos tanto observaciones como simulaciones (de control o forzada) . Los resultados obtenidos se discuten y se analizan algunas contradicciones aparentes.

### **Referencias:**

- (1) Fluegel M, Chang P.,Pendland C (2005) –The role of stochastic forcing in modulating ENSO Predictability- J. Climate, 17, 3125/3140.
  - (2) C.D.C Science Review . Epilogue of Chapter 5, ([www.cdc.noaa.gov&review](http://www.cdc.noaa.gov&review)).
  - (3) Cabos Narvaez W, Alvarez Garcia F, M.J. Ortiz Bevia. (2005)–Impact of Global Warming on ENSO Phase Change–Advances in Geosciences (submitted)
-



## Sea level trends in the Mediterranean Sea from 12 years of altimetric data: real trends or changes in the circulation?

A. Pascual (1,2), I. Pujol (1), G. Larnicol (1)

(1) CLS Space Oceanography Division, Toulouse, France

(2) IMEDEA, Universitat de les Illes Balears-CSIC 07122, Palma

### INTRODUCTION

High precision satellite altimetry is a useful tool providing sea surface height measurements globally and periodically. Cazenave et al (2001)<sup>1</sup> have used Topex/Poseidon data from January 1993 to December 1999 to analyze sea level changes in the Mediterranean Sea. They have found that the entire Mediterranean Sea, with the exception of the Ionian Basin, has been rising during the past decade. In particular, in the Levantine Basin, a rate up to 20 mm/yr has been obtained. On the contrary, the Ionian Basin has shown an important sea level drop. These sea level trends seem to be strongly correlated with sea surface temperature trends.

In this work, the sea level trends during the last 12 years (from January 1993 to October 2004), are computed from weekly gridded maps combining 2 altimeters. These slopes will be compared with those obtained by Cazenave et al (2001)<sup>1</sup> and some considerations will be done concerning the interpretation of those trends, which in some cases, can not be related to real trends but to changes in the circulation, in agreement with Tsimplis and Rixen (2002)<sup>2</sup>.

### DATA SET AND DATA PROCESSING

We use a time series spanning from January 1993 to October 2004, combining TOPEX/POSEIDON, ERS-1/2, ENVISAT and Jason-1 altimeter missions. Standard geophysical corrections have been applied and the different missions are intercalibrated. Data were then interpolated over a regular  $1/8^\circ \times 1/8^\circ$  grid, every 7 days, using an objective analysis method that takes into account the reduction of long wavelength errors (Pujol and Larnicol, 2005)<sup>3</sup>.

To retain only the large scale signal, we apply a 2-D Loess filter with a cutoff wavelength of  $5^\circ \times 5^\circ$  in longitude and latitude. Then, we fit a linear trend, to the sea level time series of every grid point.

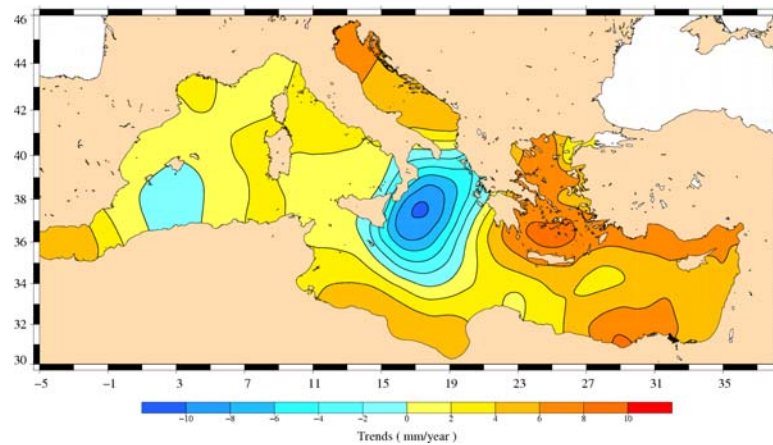
### RESULTS

The spatial distribution of the trends is shown in Figure 1. The rate of sea level change is far from being uniform: while in the Adriatic, Aegean and Southern Levantine Basins there is a strong sea level rise (up to 8 mm/yr), the Ionian Basin presents a negative trend of about -10 mm/yr. Other areas, like the North-Western Mediterranean Sea, are characterized by a weak positive trend comprised between 0-4 mm/yr. The patterns shown in this map are quite similar to those of Cazenave et al. (2001)<sup>1</sup>, but the magnitudes are smaller. This is due to the fact that here a longer time series is considered.

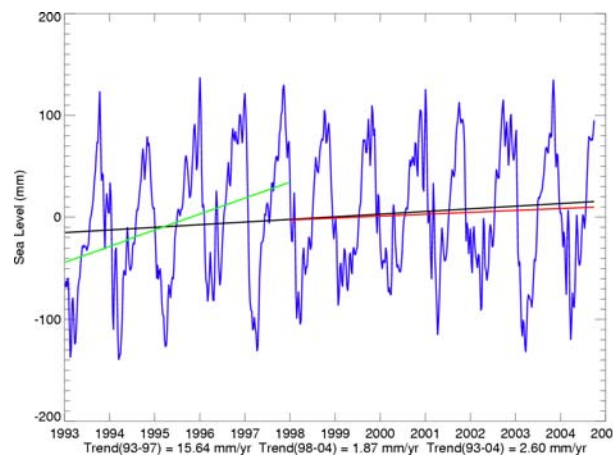
We have analyzed the different features of Figure 1 and we can state that not all of them can be related to real trends in sea level, instead, they may be associated with changes in the circulation. For instance the significant sea level drop observed in the Ionian Basin corresponds to a change in the circulation that took place in 1997-1998. Before that date the general circulation of the basin was anticyclonic and after that it became cyclonic (Pujol and Larnicol, 2005)<sup>3</sup>. South of Crete, where Cazenave et al. (2002) found very high positive trends, in our case these values are smaller and they are mainly due to the interannual variability of the Ierapetra Eddy.

The time series of the sea level averaged over the entire Mediterranean is shown in Figure 2. The predominant signal is the annual cycle, but superposed on it, a mean trend of 2.6 mm/yr is obtained. However, this trend is very sensitive to the period of study. For instance, a rapid

increase of sea level is observed during the first years (1993-1998) giving a slope higher than 15 mm/yr, whereas after 1998 the trend is smaller than 2 mm/yr.



**Figure 1:** Rate of sea level change for the period January 1993- October 2004.



**Figure 2:** Time series of mean sea level (averaged over the entire Mediterranean). Three fitted linear trends for different periods have been overimposed.

Note that the effect of atmospheric pressure on sea level via inverted barometer is missing on the sea level variations presented here. This contribution has been analyzed separately (not shown) and it presents almost negligible trends ( $\sim 0.2$  mm/yr).

The results presented here are quite preliminary but they put in evidence, once again, that the Mediterranean is a complicated basin, with many different scales interacting within each other, and that, probably, 12 years are not enough to study the sea level trends. Further research should better quantify the contribution of changes in the circulation on sea level trends. The correlation between sea level and the North Atlantic Oscillation during the last 12 years should be checked, as well as the changes in water mass characteristics, updating the work by Tsimplis and Rixen (2002)<sup>2</sup>, which covered until 1998.

<sup>1</sup>Cazenave, A, C. Cabanes, and K. Dominh, and S. Mangiarotti, Recent sea level changes in the Mediterranean Sea revealed by TOPEX/POSEIDON satellite altimetry, *Geophys. Res. Lett.*, **28(8)**, 1607-1610, 2001.

<sup>2</sup>Tsimplis, M.N. and M. Rixen, Sea level in the Mediterranean Sea: The contribution of temperature and salinity changes. , *Geophys. Res. Lett.*, **29(23)**, 2136, doi: 10.1029/2002GL015870, 2002.

<sup>3</sup>Pujol, I. and G. Larnicol, Eddy Kinetic Energy variability from 11 year of altimetric data in the Mediterranean Sea. *J. Mar. Sys.*, in press, 2005.

## **Retroalimentaciones mar-atmósfera en el Mediterráneo Occidental: Temperatura del mar y precipitaciones en la Comunidad Valenciana.**

F. Pastor, M.J. Estrela, J. Miró, M. Millán

Fundación Centro de Estudios Ambientales del Mediterráneo. Valencia. España.

La cuenca occidental del Mediterráneo es un sistema cerrado que presenta algunas características propias que le confieren una singularidad relevante. Se trata de un mar cálido encerrado por sistemas montañosos altos que confinan gran número de circulaciones atmosféricas locales o de mesoescala. El Mediterráneo occidental presenta un régimen de lluvias con elevados niveles de torrencialidad, siendo cruciales los intercambios mar-atmósfera en los episodios de lluvias torrenciales en la Comunidad Valenciana y por extensión en toda la cuenca. En este contexto se inscribe el presente trabajo que recoge algunas de las evidencias experimentales y estudios realizados en la Fundación CEAM en el estudio del sistema meteorológico mediterráneo, las interacciones entre sus elementos y procesos de realimentación, así como su futura evolución en el contexto del cambio climático global.

Durante la segunda mitad del siglo XX se ha observado una disminución de los totales de precipitación en la costa mediterránea española. En un trabajo reciente<sup>1</sup> los autores han desagregado los valores de precipitación en la Comunidad Valenciana según su origen meteorológico: frentes atlánticos, tormentas convectivas-orográficas y advecciones del Este sobre el Mediterráneo. El análisis de las series de precipitaciones desagregadas muestran una tendencia al descenso de las precipitaciones en el interior de la Comunidad Valenciana, debido al descenso en la aportación pluviométrica tanto de los frentes atlánticos como de las tormentas de verano, mientras que en las zonas costeras se observa una tendencia al incremento de las precipitaciones a la vez que presentan una mayor torrencialidad.

Vista esta evolución en las series de precipitación en la Comunidad Valenciana cabe intentar encontrar las causas de dichas variaciones. La Fundación CEAM ha participado en diferentes proyectos europeos<sup>2</sup> sobre el estudio de fenómenos de mesoescala en el Sur de Europa que han provisto de una gran cantidad de datos experimentales. A partir del análisis de datos de concentración de contaminantes se ha podido determinar la organización de celdas de recirculación en la cuenca occidental del Mediterráneo, dirigidas principalmente por las brisas, a lo largo de las cuales los contaminantes recirculan por la cuenca mediterránea con prolongados tiempos de residencia al no ser barridos a otras zonas por la circulación sinóptica general. Dentro de estas circulaciones se encuentra también el vapor de agua que, impulsado por las brisas hacia las barreras orográficas costeras o prelitorales, permite el desarrollo de tormentas convectivas en primavera y verano en toda la cuenca mediterránea occidental.

En otro trabajo reciente<sup>3</sup> los autores han analizado las observaciones realizadas en anteriores proyectos de investigación, viendo que en un ciclo normal de brisas la masa de aire que se desplaza hacia el interior de la Comunidad Valenciana sufre un calentamiento que situaría el nivel de condensación (NC) alrededor de 2700 m, situado por encima de las barreras orográficas. Durante ese mismo recorrido la masa de aire aumenta su contenido de humedad debido a la evaporación y evapotranspiración. Este incremento del contenido de vapor de agua hace bajar el NC hasta aproximadamente 1700 m, teniendo un intervalo de alturas posibles para dicho nivel de entre 1400 y 2700 m; dependiendo de las condiciones meteorológicas de cada situación podrán desarrollarse las tormentas al situar ese nivel en las cercanías de las alturas de las cadenas montañosas. También se ha analizado el efecto de los contaminantes en el NC concluyendo que las concentraciones observadas provocan un ascenso del nivel de entre 100 y 300m.

En la segunda mitad del siglo pasado, especialmente en su último tercio, el cambio de usos de suelo (cultivos, urbanización, desecación de marjales y zonas húmedas,...) ha provocado un descenso en el aporte de humedad a lo largo del recorrido de las brisas y un mayor calentamiento de la masa de aire. Ambos efectos, sumados al de la creciente presencia de contaminantes en la atmósfera, provocan un incremento del nivel de condensación y, por tanto, una creciente dificultad para el desarrollo de las tormentas de verano. Al no disminuir la cantidad de vapor de agua en la atmósfera con las precipitaciones, este vapor de agua “excedente” entra en el circuito de las recirculaciones (junto al ozono) retornando en los estratos más altos de la celda de brisa hasta el mar provocando un calentamiento adicional del mar mediante su capacidad como gas de efecto invernadero.

Este calentamiento del mar produce una mayor evaporación con lo que aumenta la cantidad de vapor de agua en la atmósfera y, en un proceso de retroalimentación, aumenta la temperatura del mar. Todo este proceso de interacciones y retroalimentaciones entre el mar y la atmósfera provoca el almacenamiento de gran cantidad de energía en el mar que provoca finalmente el desarrollo más frecuente e intenso de precipitaciones torrenciales en la cuenca occidental del Mediterráneo.

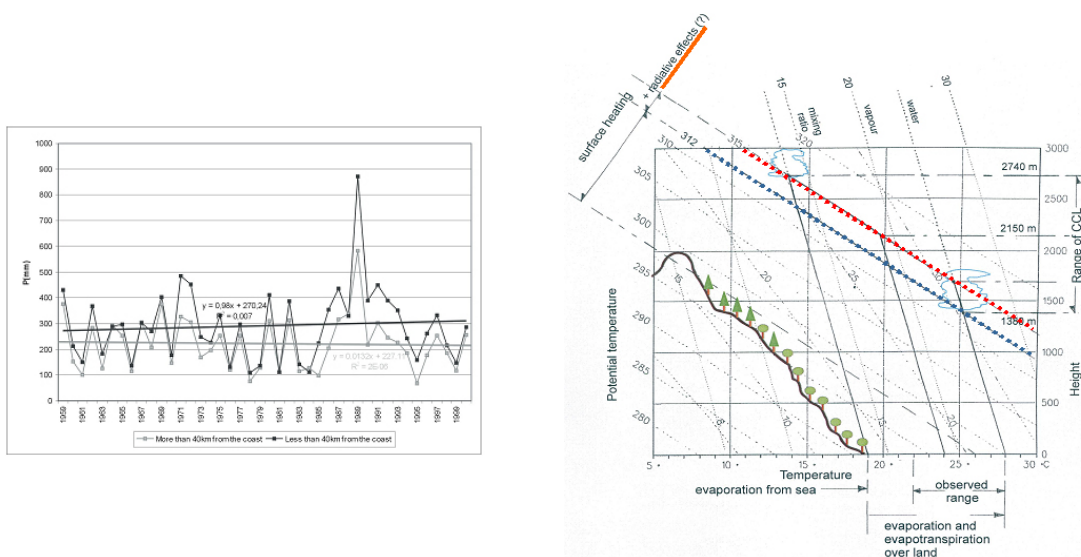


Figura 1: Tendencia de las precipitaciones torrenciales en la Comunidad Valenciana (izquierda) y contribuciones al nivel de formación de las tormentas (derecha).

<sup>1</sup> M. Millán, M.J. Estrela y J. Miró, “Rainfall Components: Variability and Spatial Distribution in a Mediterranean Area (Valencian Region)”, Journal of Climate, en prensa.

<sup>2</sup> M. Millán, R. Salvador, E. Mantilla, E. Y G. Kallos, “Photooxidant dynamics in the Mediterranean basin in summer: Results from European research project”, Journal of Geophysical Research, **102**, 811-8824 (1997).

<sup>3</sup> M. Millán y varios, " Climatic Feedbacks and Desertification: The Mediterranean Model", Journal of Climate, **18**, 84-701 (2005).

## Ocean physiology

J. L. Pelegrí

Institut de Ciències del Mar, CSIC, Passeig Marítim de la Barceloneta 37-49, 08003 Barcelona, Spain

Leonardo da Vinci in the fifteenth century already thought about the water circulating “as does the blood of animals”. In the eighteen century James Hutton endorsed the concept of a self-perpetuating living earth, with the water flow being its circulatory system. This homeostatic perspective has been supported, and brought to public debate, by James Lovelock, who has coined the term Geophysiology<sup>1</sup>. Lovelock, Lynn Margulis, and collaborators, however, searched for homeostatic processes and, apparently, left behind the study of the physiological characteristics of the earth. Here I will review a number of physiological concepts and propose how they apply to the living earth. I will concentrate on the circulatory system, to be composed by the ocean water, but will briefly describe some interactions with the digestive and respiratory systems.

Let us imagine the lithosphere as the ultimate source of minerals, i.e. the earth’s food, and the sun’s light as the energy source. We view the living earth as composed by the atmosphere, biosphere, and hydrosphere, the latter by far having the greatest mass and sustaining the circulatory system. For our analysis we will keep in mind the circulatory system of any complex living being, like an amphibious or a mammal. The role of the circulatory system is to deliver oxygen, hence interacting with a respiratory system, and food, hence relating to a digestive system, that are necessary to sustain the metabolic rate of all organs of the living being. The circulatory system also carries away the toxic residuals generated during this metabolic expenditure. In simple terms the circulatory system is composed of three main components or systems: (1) a cardiac component that sustains the heart pumping, (2) a respiratory component that intakes oxygen and removes carbon dioxide, and (3) a systemic system that reaches all parts of the body, in particular the digestive organs where nutrients are incorporated to the blood.

Before proceeding to describe what these systems are for the ocean we must note that, contrary to a heterotrophic mammal, the living earth is an autotrophic being, using the sun’s radiance as its energy source. Hence, for the ocean carbon has to play an analogous role to oxygen for a mammal. Additionally, for a mammal the pumping heart, which is in charge of initiating all blood’s circulation, requires the delivery of oxygen and minerals to the heart muscles. The ocean, however, does not need a cardiac system since this is entirely sustained by the sun’s energy. Today’s sequences of satellite images provide a beautiful view of the earth’s pumping heart and its role in sustaining oxygen and carbon exchange with the atmosphere, with annual periodicity, in what constitutes the respiratory apparatus for most of the earth’s biota. Further, this external energy source is the ultimate responsible for initiating the blood circulation, again with annual periodicity, in the respiratory and systemic components. Note that the respiratory and heart frequency are equal, something that approximately also occurs in mammals.

The thermocline circulation of the upper portion of the ocean is forced by the surface wind stress, and truly sustains the oxygenation of the atmosphere through seasonal primary production in the surface layers of the oceans. It also contains a self-regulating nutrient system, which oxidates biomass and regenerates carbon and nutrients by the time that the subsurface layers complete their thermocline recirculation, a system that requires very slow input of new carbon and nutrients from the deep waters. An important characteristic of the thermocline recirculation is the existence of intense fluxes of nutrients, localized in all margins of the oceans subtropical gyres<sup>2</sup>. These fluxes truly resemble close conduits as arteries, which are necessary for fast delivery of oxygen and nutrients in large beings. This thermocline or respiratory circulation takes of the order of ten heart beats (ten years) to complete, as compared with a few heart beats for a human being.

The deep-ocean circulation is also forced with annual periodicity, this time through heat fluxes between the atmosphere and ocean. These waters, originated at high latitudes, recirculate through the abyssal nutrient and carbon-rich regions, and very slowly bring their load to the surface waters. The deep ocean constitutes some type of digestive system, increasing its nutrient load with glacial to interglacial periods<sup>3</sup>. The deep-ocean or systemic system takes of the order of several hundred or even a thousand heart-beat to complete, as compared with about 60 heart beats for the human being.

Given these physiological resemblances it appears natural to use physiological variables for our study of the ocean's metabolism. Here we concentrate on the following physiological variables: heart beat, stroke volume (blood volume carried by each heart-beat), and arterio-venous (a-v) oxygen difference (the difference in oxygen concentration between the artery approaching the organ and the vein leaving it). The metabolic rate, or rate of consumption of oxygen, of some organ is simply the product of these three variables, the a-v oxygen difference being for the organ itself. When a mammal exercises it increases the rate of oxygen consumption by increasing each of these variables. For example, the difference between a trained human at rest and doing intense exercise is that the heart beat triples, the stroke volume may almost double, and the a-v oxygen difference increases three or four times. The metabolic rate, hence, may increase by a total factor of 15.

For the autotrophic living ocean we need to think in terms of carbon rather than oxygen, hence we define a related new variable, a-v carbon difference. Further, for the ocean the heart beat is one year, a constant externally-imposed quantity. Hence the metabolic rate of the ocean will only depend on the volume stroke and the a-v carbon difference. If we think of the ocean as undergoing metabolic changes related to the glacial and inter-glacial periods (order 100,000 years) then it may be useful to examine the evolution of these, or related, variables under a physiological perspective.

With these concepts in mind we have reviewed the literature on the temporal changes of a-v oxygen difference (for a specific organ, e.g. the brain) for a human between periods of rest and exercise. It turns out that the temporal pattern shows great similarity with changes in atmospheric carbon between glacial (rest) and interglacial (exercise) periods. Since atmospheric carbon dioxide becomes in equilibrium with the carbon in deep waters that approach the surface, we expect that it will be a measure of the a-v carbon difference. This physiological analogy also agrees with a proposed increase in the rate of formation of deep waters, or volume stroke, during inter-glacial periods<sup>4</sup>.

These ideas suggest that such a physiological approach may have good predictive skills for the earth's climate. From this perspective the ocean's behavior does not depend significantly on changes in the external supply of energy, but rather on the redistribution and rate of utilization of its internal energy.

---

<sup>1</sup> J. E. Lovelock, "Geophysiology, the Science of Gaia," *Rev. Geophys.*, **27**, 215-222 (1989).

<sup>2</sup> J. L. Pelegrí, A. Marrero-Díaz, and A. W. Ratsimandresy, "Irrigation of the North Atlantic," *Prog. Oceanogr.*, in press (2005).

<sup>3</sup> R. S. Ganeshram, T. E. Pedersen, S. E. Calvert, and J. W. Murray, "Large changes in oceanic nutrient inventories from glacial to interglacial periods," *Nature*, **376**, 755-758 (1995).

<sup>4</sup> D. M. Sigman, and E. A. Boyle, "Glacial/interglacial variations in atmospheric carbon dioxide," *Nature*, **407**, 859-869 (2000).

## Ondas de Kelvin en la costa norte africana: implicaciones climáticas

I. Polo (1), G. Mainsant (2), A. Lazar (2), S. Arnault (2), B. Rodríguez-Fonseca (1)

(1) Departamento de Geofísica y Meteorología UCM, Av Complutense sn, 28040 Madrid.

(2) LOCEAN, UMR 7617 CNRS/IRD/Université Pierre et Marie CURIE; 4 pl. Jussieu 75252 Paris.

El ajuste estacional del océano ecuatorial al forzamiento de la tensión del viento, dirige un ciclo de ondas consecutivas de Rossby y de Kelvin<sup>1</sup>. El conocimiento de las ondas ecuatoriales es importante para el entendimiento del acoplamiento océano-atmósfera. La propagación de las ondas de Rossby y de Kelvin ha sido descrita anteriormente desde los datos de altimetría, para el Atlántico ecuatorial<sup>1</sup>, para el Pacífico ecuatorial<sup>2</sup>, y para la costa este del Pacífico<sup>2,3</sup>.

A escalas intra-anales en el océano Atlántico, al comienzo del año la relajación de los vientos alisios en el ecuador genera una primera onda de Kelvin hacia el este (febrero-marzo) y una onda de Rossby hacia el oeste (marzo-agosto). En el verano, con el fortalecimiento de los vientos alisios, la onda de Rossby es reflejada como una onda de Kelvin en fase con una segunda onda de Kelvin estacional (septiembre-octubre)<sup>1</sup>. Por otro lado, existe una propagación estacional de ondas costeras de Kelvin hacia el norte: dos ondas de hundimiento (Febrero-marzo y octubre-noviembre) y una onda de afloramiento (junio-julio) coincidiendo con la estación de afloramiento en el Golfo de Guinea.<sup>1,2</sup>

La importancia de la propagación de las ondas de Kelvin ha sido revelada por otros autores por la cuenca del Pacífico. Así, en el ecuador, las ondas de Kelvin son un factor importante en el ciclo de El Niño<sup>2</sup>. La propagación de las ondas costeras de Kelvin, interactuando con los sistemas costeros de afloramiento, pueden ser una vía de producir anomalías de temperatura superficial del mar (SST), lo cual podría afectar la estación de la pesca<sup>1,2</sup>. Además, la propagación de las ondas costeras de Kelvin puede ser responsable de la propagación de las anomalías climáticas entre trópico-extratropical<sup>4</sup>.

Sin embargo, la propagación de estas ondas en el Atlántico a escalas interanuales no han sido bien descritas y su posible implicación en los modos de Variabilidad del Atlántico Tropical (ecuatorial y meridional) son todavía desconocidos. Es por ello, que nuestro trabajo recoge un análisis de las ondas de Kelvin ecuatoriales y costeras en el Atlántico ecuatorial. Este análisis ha sido realizado a partir de datos de satélite (T/P) y datos de modelo (OPA, resolución ORCA05) de la variable altura de la superficie del mar (SSH). Ambas bases de datos poseen una resolución espacial de 0.5°x0.5° y temporal de 5 días.

El análisis de las señales de la propagación de anomalías de SSH siguiendo el ecuador y la costa africana se ha realizado para los dos tipos de datos y con distintos filtros. La figura 2 muestra el diagrama *hovmuller* de la variable SSH anómala para los datos satélite T/P y modelo ORCA, siguiendo la trayectoria indicada en la figura 1.

Se han encontrado las propagaciones estacionales ya descritas así como una variabilidad interanual en la propagación. En concreto se han analizado los años del periodo 1993-1995 con el objetivo de buscar mecanismos que expliquen las variaciones de la SST que tienen lugar en el atlántico subtropical y que ya han mostrado ser importantes en su conexión con la variabilidad de la precipitación invernal en Europa y el noroeste de África<sup>2,3</sup>.

En los distintos eventos que se han descrito a partir de los datos, se ha encontrado que la señal que se propaga desde el ecuador, al llegar a la costa africana sufre una variación de la velocidad y la propagación se ve bloqueada alrededor de los 14°N.



En este trabajo se estudia la interacción de las ondas de Kelvin que llegan al sistema de afloramiento de Mauritania atrapadas a la costa desde el ecuador y la implicación en la variabilidad de la SST en la región subtropical.

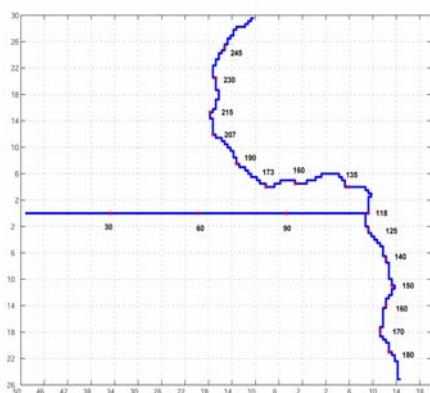


Figura 1. Mapa de la trayectoria seguida para el análisis de la propagación de las ondas de Kelvin.

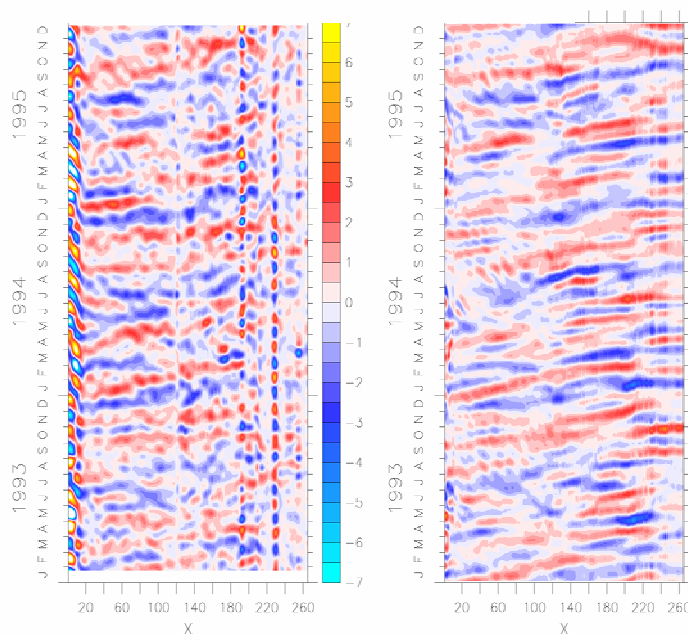


Figura 2. Anomalías de la altura de la superficie del mar (SSHa, sombreado en cm), a lo largo del ecuador y de la costa norte africana (siguiendo la trayectoria de la figura 1) para el periodo 1993-1995, datos de satélite T/P (izquierda) y datos del modelo ORCA05 (derecha).

<sup>1</sup> Shouten et al., "A description of the seasonal cycle of the equatorial Atlantic from altimeter data", en imprenta, 2004.

<sup>2</sup> França et al., "Planetary equatorial trapped waves in the Atlantic ocean from Topex/Poseidon altimetry", en imprenta.

<sup>3</sup> Cravette S., J. Picaut y G. Eldin, "Second and first Kelvin modes in the equatorial Pacific at intraseasonal timescales". J. Geophys. Res. vol 108, 2003

<sup>4</sup> Jacobs G.A., et al., "Decade-scale trans-Pacific propagation and warming effects of an El Niño anomaly". Nature, 370, 360-363, 2004.

<sup>5</sup> Vega A., Y. Du-Penhoat, B. Dewitte y O. Pizarro, "Equatorial forcing of interannual Rossby waves in the eastern South Pacific", Geophys. Res. Lett., vol 30, no 5, 1197, 2003.

<sup>6</sup> Picaut J., "Propagation of the seasonal upwelling in the eastern equatorial Atlantic". J. Phys. Oceanog., vol 13, 18-37, 1983.

<sup>7</sup> Suarez M. J. y P. S. Schopf, "A delayed action oscillator for ENSO", J. Atm. Sciences, 45, 3283-3287, 1988.

<sup>8</sup> Florenchie P. et al., "The source of Benguela Niños in the South Atlantic Ocean", Geophys. Res. Lett., vol 30, no 10, 1505, 2003.

<sup>9</sup> Rodríguez-Fonseca B., I. Polo, E. Serrano y M. Castro, "Evaluation of the north Atlantic SST forcing on the European and northern African winter climate", Int. J. Climatology., (en imprenta), 2005.

<sup>10</sup> Polo I., B. Rodríguez-Fonseca y J. Sheinbaum, "The importance of the Mauritanian Upwelling on the Atlantic Climate Variability", (enviado), 2005.



## **Análisis del coeficiente vertical de difusión turbulenta en la termoclina y su papel en el cambio climático.**

A. Rodríguez-Santana, Y. Fajardo, A. Marrero-Díaz

Departamento de Física, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, 35017 Las Palmas de Gran Canaria,  
arodriguez@dfis.ulpgc.es

Estudios con modelos de circulación global han demostrado que los transportes meridionales de calor y masa son extremadamente sensibles a variaciones en el valor utilizado para el coeficiente vertical de difusión turbulenta,  $k_v$ <sup>1,2,3</sup>. En la actualidad, las parametrizaciones más utilizadas para la estimación de la mezcla diapicna en estos modelos de circulación global utilizan valores fijos de  $k_v$ . Valores medios cercanos a  $1 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$  se escogen a partir de las observaciones realizadas en la termoclina<sup>4,5</sup> con difusividades turbulentas medias en el rango  $0,1 - 0,3 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$  y en las zonas abisales con topografía irregular<sup>6,7</sup> con valores en torno a  $10 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$ . Además, estos valores cercanos a  $1 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$  están de acuerdo con las inferencias realizadas desde balances globales<sup>8,9</sup>. Mientras que esta práctica resulta útil para modelar las propiedades actuales del océano, la parametrización de la mezcla no tiene la habilidad para evolucionar en un océano cambiante. Esto es problemático en la predicción de cambios en el estado del océano y de aquí en el sistema climático.

Un trabajo realizado por Simmons et al.<sup>10</sup> analiza como se comporta diferentes parametrizaciones de  $k_v$  (perfil uniforme, perfil tipo arcotangente<sup>11</sup> y un perfil variable propuesto por los autores donde se incluye el efecto de los flujos mareales) con un mismo valor medio de  $0,9 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$  aplicado a la componente oceánica del modelo climático de la Universidad de Victoria. Modificando sólo la mezcla vertical en dicho modelo con el cambio de parametrización se obtiene diferentes resultados en simulaciones durante 4000 años. Se concluye que las diferencias encontradas en las transformaciones de las masas de agua, esenciales para el establecimiento de la estructura termohalina a escala global, son el resultado de variaciones locales en la difusividad turbulenta y no pueden ser controladas por perfiles uniformes de  $k_v$  y encontrándose diferencias con los diferentes perfiles variables. Estos autores hacen notar que se deben realizar esfuerzos en la realización de mejoras en las parametrizaciones de la mezcla e incluir todas las fuentes principales de mezcla (turbulencia en corrientes de gravedad y en la capa de mezcla, ondas inerciales generadas por el viento y por flujos no mareales) en parametrizaciones totales de dicha mezcla para aplicarlas en los modelos de circulación global.

En este trabajo se explora como los procesos de mezcla diapicna pueden ser intensificados en estructuras mesoescalares cuyo desarrollo se produce en la termoclina. En estudios realizados en la Corriente del Golfo<sup>11</sup> se observó utilizando parametrizaciones de  $k_v$  en función del número de gradiente de Richardson,  $Ri$ , en el marco de las coordenadas isopícnas, como los procesos de mezcla diapicna se intensificaban en aquellas zonas donde la cizalla diapicna del flujo geostrófico en zonas altamente estratificadas producía  $Ri$  subcríticos. Trabajos posteriores en los meandros de la Corriente del Golfo localizados cerca de la costa este de Estados Unidos<sup>12</sup>, utilizando el mismo marco teórico, nos permitió analizar como los procesos de mezcla diapicna se intensificaban según las diferentes fases de dichos meandros. Estos estudios nos han llevado a observar de forma general un aumento de  $k_v$  en tales estructuras mesoescalares, superando los valores típicos asociados a la termoclina entre uno y dos ordenes de magnitud.

En la actualidad estamos realizando estudios de procesos de mezcla diapicna inducida por la cizalla del flujo geostrófico en remolinos oceánicos mesoescalares localizados en la región oceánica del Archipiélago Canario. El papel de los remolinos oceánicos en el cambio climático se fundamenta desde su influencia sobre la circulación oceánica por transportar y mezclar propiedades del agua de mar como la temperatura y la sal, e intercambiar energía potencial y momento con el flujo medio. La contribución de los remolinos en el transporte meridional de calor es pequeña en muchas regiones pero no puede ser ignorada a escala global. Progresos considerables han sido realizados en años recientes con la parametrización de los remolinos en modelos climáticos donde fundamentalmente se ha tenido en cuenta la mezcla isopícnica y la

advección de trazadores como la temperatura potencial y la salinidad, importantes para las propiedades de las masas de agua y sus variaciones, pero ocasionando pequeños efectos sobre la dinámica. Nuestros estudios, sin embargo, se centran en la mezcla diapicna y sus efectos tanto en las variaciones de las propiedades de las masas de agua como sus efectos en la dinámica. Los resultados preliminares con los que contamos nos indican que estos procesos se intensifican en los flancos de los remolinos donde se aprecia un aumento de  $k_v$  asociado a la cizalla diapicna en zonas altamente estratificadas. Hay que notar también que los perfiles verticales de  $k_v$  presentan una alta variabilidad en dichas zonas de la termoclina, lejos del comportamiento suave dado para  $k_v$  en las parametrizaciones anteriormente citadas. Además, nuestros esfuerzos se focalizan en poder utilizar no sólo la cizalla diapicna del flujo geostrófico sino la del flujo total a través de medidas de ADCP en dichos remolinos. Esto seguramente nos llevará a obtener valores aún más altos de los obtenidos para  $k_v$ .

Con lo anteriormente expuesto concluimos que la mezcla vertical, y de aquí el coeficiente  $k_v$ , juega un papel importante en la componente oceánica de los modelos de cambio climático. No sólo habría que incluir las fuentes de mezcla anteriormente citadas sino además la mezcla diapicna asociada a meandros en zonas frontales y a remolinos oceánicos mesoescalares. En dichas zonas se aplicarían perfiles verticales de  $k_v$  más apropiados. Esto es debido a la abundante presencia de tales estructuras en el océano y que seguramente deben de jugar un papel destacado en los flujos diapicnos dentro de la termoclina que permiten el afloramiento de aguas profundas que controlan a escala global la circulación termohalina.

---

<sup>5</sup> F. Bryan, "Parameter sensitivity of primitive equation ocean general circulation models", J. Phys. Oceanogr., **17**, 970-985 (1987).

<sup>6</sup> P. F. Cummins, G. Holloway, A. Gargett, "Sensitivity of the GFDL ocean general circulation model to a parameterization of vertical diffusion", J. Phys. Oceanogr., **20**, 817-830 (1990).

<sup>7</sup> J. Zhang, R. W. Schmitt, R. X. Huang, "The relative influence of diapycnal mixing and hydrologic forcing on the stability of the thermohaline circulation", J. Phys. Oceanogr., **29**, 1096-1108 (1999).

<sup>8</sup> J. R. Ledwell, A. J. Watson, C. S. Law, "Evidence for slow mixing across the pycnocline from an open-ocean tracer-release experiment", Nature, **364**, 701-703 (1993).

<sup>9</sup> J. R. Ledwell, A. J. Watson, C. S. Law, "Mixing of a tracer released in the pycnocline", J. Geophys. Res., **103**, 21499-21529 (1998).

<sup>10</sup> K. L. Polzin, J. M. Toole, J. R. Ledwell, R. W. Schmitt, "Spatial variability of turbulent mixing in the abyssal ocean", Science, **276**, 93-96 (1997).

<sup>11</sup> J. R. Ledwell, E. T. Montgomery, K. L. Polzin, L. C. S. Laurent, R. W. Schmitt, J. M. Toole, "Mixing over rough topography in the Brazil Basin", Nature, **403**, 179-182 (2000).

<sup>12</sup> W. Munk, "Abyssal recipes", Deep Sea Res., **13**, 707-730 (1966).

<sup>13</sup> W. H. Munk, C. Wunsch, "Abyssal recipes II: energetics of tidal and wind mixing", Deep Sea Res., **45**, 1977-2010 (1998).

<sup>14</sup> K. Bryan, L. Lewis, "A water mass model of the world ocean", J. Geophys. Res., **84**, 2503-2517 (1979).

<sup>15</sup> J. L. Pelegrí, G. T. Csanady, "Diapycnal mixing in western boundary currents", J. Geophys. Res., **99**, 18275-18304 (1994).

<sup>16</sup> A. Rodríguez-Santana, J. L. Pelegrí, P. Sangrà, A. Marrero-Díaz, "Diapycnal mixing in Gulf Stream meanders", J. Geophys. Res., **104**, 25891-25912 (1999).

## Climate change and ichthyoplankton distribution: The case of *Sardinella aurita* in the western Mediterranean

Sabatés A., Martín P., Lloret, J., Emilianov, M., Salat, J., Raya V.

Institut de Ciències del Mar, CSIC. P. Maritim 37-49. 08003, Barcelona

Los gradientes de temperatura asociados a la latitud o altitud constituyen un factor determinante en la distribución de especies en ambientes acuáticos. La preferencia por un determinado rango de temperaturas implica que la estructura térmica de la masa de agua determina la extensión del hábitat adecuado para una especie. De aquí se puede inferir que, a gran escala, el efecto más inmediato del calentamiento global en la ictiofauna sean variaciones en los límites geográficos en la distribución de las especies, resultado tanto de extinciones de especies locales, como invasiones de especies alóctonas características de ambientes más cálidos hacia zonas más al norte de sus límites habituales de distribución. Este efecto será más apreciable en aquellas poblaciones localizadas en el límite del rango de distribución geográfica de la especie. Expansiones hacia el norte del rango geográfico de distribución se han observado en distintas áreas (e.j.1).

Existen evidencias de que los patrones de biodiversidad marina mediterránea están cambiando y estas variaciones podrían relacionarse con un incremento de la temperatura del agua. Especies de peces características de aguas cálidas del Mediterráneo sur y Mediterráneo oriental, son cada vez más frecuentes en el sector noroccidental, donde las aguas son más frías en invierno (e.j. 2, 3). Por el contrario, la abundancia de algunas especies boreales ha descendido notablemente desde los años 80, lo que sugiere una meridionalización de la costa del Mediterráneo noroccidental (4).

Durante los últimos 30 años se ha detectado en el Mediterráneo noroccidental un incremento de la temperatura media, alrededor de 1 °C en superficie y 0,7 °C a 80 m de profundidad (5) y entre los años 1959 y 1989 un incremento de 0,12 °C a profundidades superiores a 400 m (6).

La alacha, *Sardinella aurita*, es una especie pelágica, termófila, con distribución tropical y subtropical en el océano Atlántico y Pacífico. Es también una especie muy abundante en el Mediterráneo sur. El objeto del presente estudio es analizar cambios en la abundancia y distribución de *S. aurita* en el Mediterráneo occidental durante las últimas décadas, en relación a la temperatura del agua, considerando que la temperatura puede afectar, tanto el rango de distribución de la especie como su biología reproductiva.

Par la realización del estudio, se seleccionaron tres áreas en el Mediterráneo occidental a lo largo de un gradiente latitudinal desde Alicante hasta l'Escala. En estas áreas se obtuvieron datos de temperatura superficial del agua del mar de la base de datos COADS ("Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set"; ver (7)) y capturas de la flota comercial a lo largo del periodo 1982-2004. Además, se realizaron muestreos de huevos y larvas en el límite norte del área de estudio durante los veranos de 2003 y 2004.

Las anomalías de temperatura para las tres áreas, mostraron un período de anomalías principalmente negativas, desde 1982 a 1993, y un segundo período a partir de 1994, con anomalías positivas. A lo largo del periodo estudiado, el calentamiento estacional más acusado tuvo lugar en primavera, de abril a junio.

En el Mediterráneo occidental, las especies más pescadas por la flota del cerco son la sardina, *Sardina pilchardus* y la anchoa, *Engraulis encrasicolus*. No obstante, a finales de la década de los 80, las capturas de *Sardinella aurita* iniciaron un marcado aumento, en coincidencia con la desaparición de *Sprattus sprattus*, especie boreal, en las capturas comerciales. A lo largo de un gradiente latitudinal en la costa mediterránea española, la abundancia relativa de *S. aurita*, respecto a las otras especies de pequeños pelágicos, era particularmente elevada en el Mediterráneo sur disminuyendo su abundancia gradualmente hacia el norte. Además, el

incremento en las capturas de *S. aurita* detectado a finales de los años 80, tuvo lugar antes en el sur que más al norte. Estas tendencias en las variaciones de abundancia de *S. aurita* están relacionadas, probablemente, con el patrón latitudinal de la temperatura superficial del mar.

Al sur del área de estudio, en Alicante y Castellón, se observó una correlación significativa entre la temperatura del mes de abril, inicio de la maduración gonadal de *S. aurita*, y las capturas del siguiente año. Ello sugiere un efecto positivo de la temperatura en la maduración de la especie favoreciendo, de esta manera, el reclutamiento (reflejado en las capturas del siguiente año). En cambio, al norte del área, en l'Escala, donde las temperaturas son mas frías se observó una relación directa entre las capturas anuales y la temperatura media anual registrada este mismo año. Apparently, existe una temperatura umbral que determina la presencia de la especie en el Mediterráneo noroccidental, es decir a temperaturas inferiores a 17.8 C la especie no se halla presente en la zona.

El estudio de la distribución espacial de huevos y larvas de *S. aurita* mostró que éstos eran mucho más abundantes en el sur, a la vez que su distribución hacia el norte se encontraba limitada por la isoterma de 25 °C. Además, la abundancia de huevos y larvas era sensiblemente superior a la detectada 20 años antes en la misma área.

En síntesis, en las últimas décadas se ha detectado en el Mediterráneo occidental un incremento en la abundancia y expansión hacia el norte del rango geográfico de distribución de *S. aurita*. Estos cambios parecen estar relacionados con el calentamiento del agua observado en la región. Además, la temperatura en el inicio de la maduración afecta el éxito reproductor de la especie. Todas estas evidencias indican una progresiva acomodación de *S. aurita* en el Mediterráneo noroccidental.

## Referencias

- <sup>1</sup> Perry, A.L., Low, P.J., Ellis, J.R., Reynolds, J.D. 2005 Climate change and distribution shifts in marine fishes. *Science* 308: 1912-1915
- <sup>2</sup> Francour P., Boudouresque C.F., Harmelin J.G., Harmelin-Vivien M., and Quignard J.P., 1994. *Mar. Poll. Bull.* 28: 523-626
- <sup>3</sup> Bianchi and Morri, 2000. Marine biodiversity of the Mediterranean Sea: situation, problems and prospects for future research. *Mar. Poll. Bull.* 40: 367-376
- <sup>4</sup> Riera, F.; Grau, A.M.; Pastor, E. & Pou, S. 1995. Faunistical and demographical observations in Balearic ichthyofauna. In: *La Méditerranée: variabilités climatiques, environnement et biodiversité. Actes Colloque Scientifique OKEANOS*, Montpellier: 213-220.
- <sup>5</sup> Salat J., and Pascual, J., 2002. *CIESM Work.Ser.* 16: 29-32
- <sup>6</sup> Bethoux J.P., Gentili B, Raunet J., and Tailliez D., 1990. *Nature* 347:660-662
- <sup>7</sup> Woodruff, S.D., Diaz, H.F., Elms, J.D. and Worley, S.J. 1998. COADS Release 2 data and metadata enhancements for improvements of marine surface flux fields. *Phys. Chem. Earth*, 23: 517-527

## Participants

Anadón, Ricardo  
Dpto. de Biología de Organismos y Sistemas  
Universidad de Oviedo  
Tel. 985104790  
[ranadon@uniovi.es](mailto:ranadon@uniovi.es)

Alarcón, Marta  
Dpt. Of physics and Nuclear Engineering  
Universitat Politècnica de Catalunya  
Avda. Víctor Balaguer s/n, 08800  
Vilanova i la Geltrú  
[marta.alarcon@upc.edu](mailto:marta.alarcon@upc.edu)

Auladell Mestre, Maricel  
Institut de Ciències del Mar  
CMIMA-CSIC  
P. Marítim de la Barceloneta, 37-49  
08003 Barcelona  
Tel.: 93 2309524  
[maricel@icm.csic.es](mailto:maricel@icm.csic.es)

Bermejo Bermejo, Rodolfo  
Universidad Politécnica de Madrid  
Tel.: 91 3364220  
[rbermejo@etsii.upm.es](mailto:rbermejo@etsii.upm.es)

Blasco, Dolors  
Institut de Ciències del Mar  
CMIMA-CSIC  
P. Marítim de la Barceloneta, 37-49  
08003 Barcelona  
Tel.: 932309516  
[blasco@icm.csic.es](mailto:blasco@icm.csic.es)

Broglio, Elisabetta  
Institut de Ciències del Mar  
CMIMA-CSIC  
P. Marítim de la Barceloneta, 37-49  
08003 Barcelona  
Tel.: 93 2309500  
[broglio@icm.csic.es](mailto:broglio@icm.csic.es)

Cascón Rodríguez, María  
Instituto Nacional de Meteorología  
Oficina de Meteorología Aeropuerto de Menorca,  
07701 Mahón  
Tel.: 971 361545  
[m\\_cascon@hotmail.com](mailto:m_cascon@hotmail.com)

Duarte, Carlos  
Grupo de Oceanografía Interdisciplinar  
IMEDEA CSIC-UIB  
Miquel Marqués, 21  
07190 Esporles  
Tel.: 971 611725  
[cduarte@uib.es](mailto:cduarte@uib.es)

Fahrbach, Eberhard  
Alfred Wegener Inst., Bremerhaven  
Tel. +49 47148311820  
[efhrbach@awi-bremerhaven.de](mailto:efhrbach@awi-bremerhaven.de)

Ferrer Sanz, Inmaculada  
Grupo de Oceanografía Interdisciplinar  
IMEDEA CSIC-UIB  
Miquel Marqués, 21  
07190 Esporles  
Tel.: 971 611759  
[vieaifs4@uib.es](mailto:vieaifs4@uib.es)

Flexas Sbert, María del Mar  
Grupo de Oceanografía Interdisciplinar  
IMEDEA CSIC-UIB  
Miquel Marqués, 21  
07190 Esporles  
Tel.: 971 611732  
[vieamfs4@uib.es](mailto:vieamfs4@uib.es)

Font Ferré, Jordi  
Institut de Ciències del Mar  
CMIMA-CSIC  
P. Marítim de la Barceloneta, 37-49  
08003 Barcelona  
Tel.: 93 2309512  
[jfont@icm.csic.es](mailto:jfont@icm.csic.es)

Forcén Vázquez, Aitana  
Universidad Católica de Valencia  
Guillem de Castro  
Tel.: 646 206944  
[aitana.forcen@gmail.com](mailto:aitana.forcen@gmail.com)

García Serrano, Javier  
Dpto. Geofísica y Meteorología  
Universidad Complutense de Madrid  
Av. Complutense s/n 28040 Madrid  
Tel.91 3944440  
[javigarcia@fis.ucm.es](mailto:javigarcia@fis.ucm.es)

Gomis Bosch, Damià  
Grupo de Oceanografía Interdisciplinar  
IMEDEA CSIC-UIB  
Miquel Marqués, 21  
07190 Esporles  
Tel.: 971 173236  
[damia.gomis@uib.es](mailto:damia.gomis@uib.es)

González Castellano, Sara  
Facultad de Ciencias  
Universidad de Salamanca  
Tel. 616813474  
[sarapgonzalez@yahoo.es](mailto:sarapgonzalez@yahoo.es)

Hidalgo Roldán, José Manuel  
IMEDEA CSIC-UIB  
Miquel Marqués, 21  
07190 Esporles  
Tel.: 971 611722  
[manuel.hidalgo@uib.es](mailto:manuel.hidalgo@uib.es)

Herraiz, Laura  
CSIRO  
Marine Research and Antarctic Climate and  
Ecosystems Cooperative Research Centre  
[Laura.HerraizBorreguero@csiro.au](mailto:Laura.HerraizBorreguero@csiro.au)

Huertas, Emma  
Departamento de Oceanografía, Instituto de  
Ciencias Marinas de Andalucía (CSIC).  
Polígono Río San Pedro s/n  
11510 Puerto Real, Cádiz  
[emma.huertas@icman.csic.es](mailto:emma.huertas@icman.csic.es)

Jordà, Gabriel  
Grupo de Oceanografía Interdisciplinar  
IMEDEA CSIC-UIB  
Miquel Marqués, 21  
07190 Esporles  
Tel.: 971 611732  
[gabriel.jorda@upc.es](mailto:gabriel.jorda@upc.es)

López de Aretxabaleta, Alfredo  
Dpt. of Marine Sciences  
University of North Carolina at Chapel Hill  
12-7 Venable Hall, Chapel Hill, NC  
27599-3300, USA  
Tel.: +1 9199624466  
[alfredo@unc.edu](mailto:alfredo@unc.edu)

Méndez J., Fernando  
Ocean & Coastal Research Group  
Universidad de Cantabria  
Tel. 942 201810  
[mendezf@unican.es](mailto:mendezf@unican.es)

Monserrat Tomás, Sebastià  
Universitat de les Illes Balears,  
Crta. Valldemossa Km 7.5  
07122 Palma  
Tel.: 971 172806  
[s.monserrat@uib.es](mailto:s.monserrat@uib.es)

Oliver Reus, Pere  
Instituto Español de Oceanografía,  
Moll de Ponent, Palma  
Tel.: 971 401877  
[pere.oliver@ba.ieo.es](mailto:pere.oliver@ba.ieo.es)

Oquiñena Smith, Begoña  
CEP-Menorca  
Josep M<sup>a</sup> Quadrado 33, Maó, Menorca  
Tel.: 971 350164  
[beksmit@yahoo.es](mailto:beksmit@yahoo.es)

Orfila, Alejandro  
Grupo de Oceanografía Interdisciplinar  
IMEDEA CSIC-UIB  
Miquel Marqués, 21  
07190 Esporles  
Tel.: 971 611760  
[dfsjts0@uib.es](mailto:dfsjts0@uib.es)

Ortiz Bevia, M<sup>a</sup> José  
Universidad de Alcalá  
Dpto. de Física  
Alcalá de Henares  
[mjose.ortiz@uah.es](mailto:mjose.ortiz@uah.es)

Pascual Ascaso, Ananda  
Grupo de Oceanografía Interdisciplinar  
IMEDEA CSIC-UIB  
Miquel Marqués, 21  
07190 Esporles  
Tel.: 971 611758  
[ananda.pascual@uib.es](mailto:ananda.pascual@uib.es)

Pastor Guzmán, Francesc  
Fundació Centre d'Estudis Ambientals del  
Mediterrani,  
Charles R. Darwin, 14, 46980  
Paterna, Valencia  
Tel.: 96 1318227  
[paco@ceam.es](mailto:paco@ceam.es)

Pastor Mollà, Maria V.  
Institut de Ciències del Mar  
CMIMA-CSIC  
P. Marítim de la Barceloneta, 37-49  
08003 Barcelona  
Tel.: 93 2309524  
[mpastor@icm.csic.es](mailto:mpastor@icm.csic.es)

Pelegrí, José Luis  
Institut de Ciències del Mar  
CMIMA-CSIC  
P. Marítim de la Barceloneta, 37-49  
08003 Barcelona  
Tel.: 93 2309500  
[pelegri@icm.csic.es](mailto:pelegri@icm.csic.es)

Polo, Irene  
Dpto. Geofísica y Meteorología  
Universidad Complutense de Madrid  
Av. Complutense s/n 28040 Madrid  
Tel.91 3944440  
[ipolo@fis.ucm.es](mailto:ipolo@fis.ucm.es)

Price, Jim  
Physical Oceanography Department  
Woods Hole Oceanographic Institution,  
Woods Hole, MA 02543, USA  
Tel. +1 5082892526  
[jprice@whoi.edu](mailto:jprice@whoi.edu)

Rodríguez-Santana, Angel,  
Dpto. de Física  
Edificio de Ciencias Básicas. Campus  
Universitario de Tafira.  
35017 Las Palmas de G.C.  
Universidad de Las Palmas de G.C.  
[arodriguez@dfis.ulpgc.es](mailto:arodriguez@dfis.ulpgc.es)

Rosell, Antoni  
Institute of Environmental Science and  
Technology  
Universitat Autònoma de Barcelona  
08193 Bellaterra, Cerdanyola del Vallés  
Tel. 93 5813583  
[antoni.rosell@uab.es](mailto:antoni.rosell@uab.es)

Ruiz Valero, Simón  
Grupo de Oceanografía Interdisciplinar  
IMEDEA CSIC-UIB  
Miquel Marqués, 21  
07190 Esporles  
Tel.: 971 611758  
[simon.ruiz@uib.es](mailto:simon.ruiz@uib.es)

Sabatés Freijo, Ana  
Institut de Ciències del Mar  
CMIMA-CSIC  
P. Marítim de la Barceloneta, 37-49  
08003 Barcelona  
Tel.: 93 2309500  
[anas@icm.csic.es](mailto:anas@icm.csic.es)

Saló Rocamora, Violeta  
Institut de Ciències del Mar  
CMIMA-CSIC  
P. Marítim de la Barceloneta, 37-49  
08003 Barcelona  
Tel.: 93 2309500  
[vsalo@cmima.csic.es](mailto:vsalo@cmima.csic.es)

Sánchez-Arcilla, Agustín  
Dpto. D'Enginyeria Hidràulica, Marítima i  
Ambiental  
Universitat Politècnica de Catalunya  
Tel. 93 4016472  
[agustin.arcilla@upc.es](mailto:agustin.arcilla@upc.es)

Simó, Rafel  
Institut de Ciències del Mar  
CMIMA-CSIC  
P. Marítim de la Barceloneta, 37-49  
08003 Barcelona  
Tel.: 93 2309500  
[rsimo@icm.csic.es](mailto:rsimo@icm.csic.es)

Tsimplis, Michael  
National Oceanography Centre, Southampton, UK  
Tel. +44 23 8059 6412  
[mn@soc.soton.ac.uk](mailto:mn@soc.soton.ac.uk)

Vargas, Manuel  
Instituto Español de Oceanografía, Fuengirola  
[manolo.vargas@ma.ieo.es](mailto:manolo.vargas@ma.ieo.es)

## Agraïments

Aquestes Trobades s'han fet possibles gràcies al suport de les següents entitats:

L'**Institut Menorquí d'Estudis** (organisme autònom del Consell Insular de Menorca), el qual s'ha fet càrrec de tasques de logística tals com la reserva de sales i mitjans audiovisuals, l'edició de cartells i l'organització d'actes socials.

La **Societat Catalana de Física**, la qual ha col·laborat en l'organització i difusió de les Trobades.

El **Ministeri d'Educació i Ciència**, el qual ha donat suport a aquestes Trobades en finançar una Acció Complementària.

La **Direcció General d'I+D+R del Govern de les Illes Balears**, la qual també ha donat suport econòmic en forma d'Acció Especial.

La **Universitat de les Illes Balears**, per la concessió de la quantitat demanada en el marc del seu programa d'ajudes a l'organització de congressos.

El **Consejo Superior de Investigaciones Científicas**, també per la concessió d'una ajuda en el marc de la seva convocatòria destinada a finançar l'organització de congressos.

A la **Universidad de Barcelona**, la **Universitat Politècnica de Catalunya** i la **Universitat Autònoma de Barcelona**, per difondre les Jornades entre els seus docents i estudiants.

## Organitzen:



## Col·laboren:

