

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS

TESIS DOCTORAL

**PATRONES DE CIRCULACIÓN OCEÁNICA EN EL
LITORAL ESPAÑOL**

Presentada por: MARÍA LISTE MUÑOZ

**Dirigida por: RAÚL MEDINA SANTAMARÍA
MAITANE OLABARRIETA LIZASO
ALICIA LAVÍN MONTERO**

Junio 2009

CAPÍTULO VIII:

Bibliografía

Abascal, A.J., Sheinbaum, J., Candela, J., Badan, A., y Ochoa, J., 2003. Analysis of flow variability in the Yucatan Channel. *Journal of Geophysical Research*, 108, N°. C12, 3381, doi:10.1029/2003JC001922.

Abascal, A., 2008. Avances en el Modelado de Transporte de Hidrocarburos. Aplicación en la Respuesta a Vertidos Marinos Accidentales. *Tesis doctoral*, Universidad de Cantabria. 331 pp.

Ahran, M., 1990. The North Atlantic Current and Subarctic Intermediate Water. *J. Marine Res.*, 48, pp.109-144.

Ainsworth, E.J., 1999. Visualization of ocean colour and temperature from multispectral imagery captured by the Japanese ADEOS satellite. *Journal of Visualization 2*, pp.195-204.

Ainsworth, E.J., Y Jones, I.S.F., 1999. Radiance Spectra Classification from the Ocean Colour and Temperature Scanner on ADEOS. *IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing*, 37, pp. 1645-1656.

Alvera-Azcárate, A., Barth, A., Rixen, M., y Beckers, J.M., 2005. Reconstruction of incomplete oceanographic data sets using empirical orthogonal functions: application to the Adriatic Sea surface temperature. *Ocean Modelling*, Vol 9, Issue 4, pp.325-346.

Alves, M., 1996. Instability dynamics of a subtropical jet: the Azores Front-Current System case (FCA). *PhD thesis*, Université de Bretagne Occidentale, Brest, France, 426, 229 pp.

Alves, M., Simoães, A., Verdière, A.C., y Juliano, M., 1994. *Atlas Hydrologique Optimale pour l'Atlantique Nord-Est et Centrale Nord (08–508W, 208–508N)*. Universidad de las Azores, 77 pp.

Alves, M., y Verdière, A.C., 1999. Instability dynamics of a subtropical jet and applications to the Azores Front-Current System-eddy driven mean flow. *Journal of Physical Oceanography* 29 (5), pp. 837-864.

Âmbar I. y Howe M.R., 1979. Observations of the Mediterranean outflow. Mixing in the Mediterranean outflow. *Deep-Sea Research* 26, pp. 535-554.

Antonov, J.I., Locarnini, R.A., Boyer, T.P., Mishonov, A.V., y Garcia, H.E., 2006. *World Ocean Atlas 2005, Volume 2: Salinity*. S. Levitus, Ed. NOAA Atlas NESDIS 62, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C., 182 pp.

Armi, L., y W. Zenk, W., 1984. Large lenses of highly saline Mediterranean water. *Journal of Physical Oceanography* 14, pp. 1560-1576.

Armi, L., Herbert, D., Oakey, N., Price, J., Richardson, P.L., Rossby, T. y Ruddick, B., 1989. Two years in the life of a Mediterranean salt lens. *Journal of Physical Oceanography* 19, pp. 354-370.

Astraldi M., Balopoulos S., Candela J., Font J., Gacic M., Gasparini G.P., Manca B., Theocharis A., Tintoré J., 1999. The role of straits and channels in understanding the characteristics of Mediterranean circulation. *Progr. Oceanog.*, 44, pp. 65-108.

Bakun, A., y Nelson, C.S., 1991. Wind stress curl in subtropical eastern boundary current regions. *Journal of Physical Oceanography* 21, pp. 1815-1834.

Baldacci, A., Corsini, G., Grasso, R., Manzella, G., Allen, J.T., Cipollini, P., Guymer, T.H., y Snaith, H.M., 2001. A study of the Alboran sea mesoscale system by means of empirical orthogonal function decomposition of satellite data. *Journal of Marine Systems* 29, pp. 293–311.

Barnier, B., Marchesiello, P., de Miranda, A.P., Molines, J.M., Coulibaly M., (1998). A sigma-coordinate primitive equation model for studying the circulation in the South Atlantic. Part I : Model configuration with error estimates. *Deep-Sea Research I* 45, pp. 543-572.

Barringer, M., y Price, J.F., 1997. Mixing and spreading of the Mediterranean Overflow. *J. Phys. Oceanogr.*, 27, pp.1654-1677.

Bascheck, B., Send, U., García-Lafuente, J. y Candela, J., 2001. Transport estimates in the Strait of Gibraltar with a tidal inverse model. *Journal of Geophysical Research* 106 C12, pp. 31,033-31,044.

Beckmann, A., y Doscher, R., 1997. A method for improved representation of dense water spreading over topography in geopotential-coordinate models. *Phys. Oceanogr.*, 27, pp.581-591.

Béranger, K., Mortier, L., Gasparini, G.P., Gervasio, L., Astraldi, M., y Crépon, M., 2004. The dynamics of the Sicily Strait: a comprehensive study from observations and models. *Deep-Sea Research II*, 51, pp.411-440.

Béranger, K., Mortier, L., Crépon, M., 2005. Seasonal variability of water transport through the Straits of Gibraltar, Sicily and Corsica, derived from a high-resolution model of the Mediterranean circulation. *Progress in Oceanography* 66, pp.341-364.

Bethoux, J.-P., Gentili, B., Tailliez, D., 1998. Warming and freshwater budget change in the Mediterranean since the 1940s, their possible relation to the greenhouse effect. *Geophys. Res. Lett.*, 25, pp.1023-1026.

Blanton, J.O., Atkinson, L.P., Castillejo, F., Y Lavín A., 1984. Coastal upwelling off the Rias Bajas, Galicia, Northwest Spain. I. Hydrographic Studies. *Réunion du Conseil International Exploration Mer*. 183, pp. 79-90.

Böning, C.W., Doscher, R., Budich, R.G., 1991. Seasonal transport variation in the Eastern Subtropical North Atlantic: experiments with an eddy-resolving model. *J. Physical Oceanography*, 21 (9), pp.1271-1289.

Born, A., Levermann, A., y Mignot, J., 2009. Sensitivity of the Atlantic Ocean circulation to a hydraulic overflow parameterisation in a coarse resolution model: Response of the subpolar gyre. *Ocean Modelling* 27, pp.130-142.

Botas, J.A., Fernández, E., Bode, A. y Anadón, R., 1990. A persistent upwelling off the Central Cantabrian Coast (Bay of Biscay). *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 30, pp. 185-199.

Bower, A. S., y Hogg, N.G., 1996. Structure of the Gulf Stream and its recirculations at 55W. *Journal of Physical Oceanography* 26 (6), pp.1002-1022.

Bower, A. S., Serra, N., y Ambar, I., 2002. Structure of the Mediterranean undercurrent and Mediterranean Water spreading around the southwestern Iberian Peninsula. *Journal of Geophysical Research Oceans*, 107(C10), 3161, doi:10.1029/2001JC001007.

Bray, N.A., Ochoa, J., y Kinder, T.H., 1995. The role of the interface in Exchange through the Strait of Gibraltar. *Journal of Geophysical Research* 100, pp. 10,755-10,776.

Bretherton, F.P., Davis, R.E., y Fandry, C.B. 1976. A technique for objective analysis and design of oceanographic experiment applied to MODE-73. *Deep-Sea Research* 23, pp.559-582.

Bryden, H.L., y Kinder, T.H., 1991. Steady two-layer exchange through the Strait of Gibraltar. *Deep-Sea Research*, 38(Supplement 1), pp.S445-S463.

Bryden, H.L., Candela, J., y Kinder, T.H., 1994. Exchange through the Strait of Gibraltar. *Progress in Oceanography* 33, pp.201-248.

Cailleau, S., Fedorenko, V., Barnier, B., Blayo, E., y Debreu, L., 2008. Comparison of different numerical methods used to handle the open boundary of a regional ocean circulation model of the Bay of Biscay. *Ocean Modelling* 25 (1-2), pp. 1-16

Calmanti, S., Artale, V., Sutera, A., 2005. North Atlantic MOC variability and the Mediterranean Outflow: a box-model study. *Tellus*, 58A, pp. 416-423.

Candela J., Winant, C.D., y Bryden, H.L., 1989. Meteorologically forced subinertial flows through the Strait of Gibraltar. *J. Geophys. Res* 94, pp.12667-12679.

Candela, J., 1991. The Gibraltar Strait and its role in the dynamics of the Mediterranean Sea. *Dyn. Atmos. Oceans* 15, pp. 267-299.

Castro, R., Lavín, M.F., y Ripa, P., 1994. Seasonal heat balance in the Gulf of California. *J. Geophys. Res.*, 99, pp. 3249-3261.

Centurioni, L.R., y Niiler, P.P., 2003. On the surface currents of the Caribbean Sea. *Geophysical Research Letters* 30(6), pp.1279-1282.

Colas, F., 2003. Circulation et Dispersion Lagrangiennes en Atlantique Nord-Est. *Ph. D. Thesis*, Université de Bretagne Occidentale, Brest, France. 259 pp.

Crepon, M., 1965. Influence de la pression atmospherique sur le niveau moyen de la Mediterranée Occidentale el sur le flux á travers le Detroit de Gibraltar. *Cah. Oceanography* 1, pp.15-23.

Cunningham, S., y Pavic, M., 2007. Surface geostrophic currents across the Antarctic circumpolar current in Drake Passage from 1992 to 2004. *Progress In Oceanography* 73, pp.296-310.

Cuny, J., Rhines, P.B., Niiler, P.P., y Bacon, S., 1992. Labrador Sea boundary currents and the fate of the Irminger Sea Water. *Journal of Physical Oceanography* 32, pp. 627-647.

Curry, R., McCartney, M.S., y Joyce, T.M., 1998: Oceanic transport of subpolar climate signals to mid-depth subtropical waters. *Nature*, 391, pp. 575-577.

Curry, R., Dickson, R., y Yashayaev, I., 2003. A change in the freshwater balance of the North Atlantic Ocean over the last four decades, *Nature*, 426, pp. 826-829.

Cushman-Roisin, B., Korotenko, K., y Dietrich, D.E., 2003. Simulation and Characterization of the Adriatic Sea Mesoscale Variability. *EGS-AGU-EUG Joint Assembly*, Nice, France.

Cushman-Roisin, B., y Beckers, J.M., 2009. Introduction to Geophysical Fluid Dynamics. *Physical and Numerical Aspects. Academic Press*, 766 pp.

Daniault, N., Mazem, J.P., y Arhan, M., 1994. Circulation and mixing of Mediterranean Water West of the Iberian Peninsula. *Deep-Sea Res* 41, pp. 1685-1714.

Dickson, R.R., Lazier, J.R.N., Meincke, J., Rhines, P.B., Swift J., 1996. Long-term coordinated changes in the convective activity of the North Atlantic. *Progress in Oceanography* 38, pp. 241-295.

Díaz del Río, G., Lavín, A., Alonso, J., Cabanas, J.M., y Moreno-Ventas, X., 1996. Hydrographic variability in Bay of Biscay shelf and slope waters in spring 1994, 1995, 1996 and relation to biological drifting material. *ICESCM* 1996/S:18. 8 pp.

Dietrich, D. E., B. E. McDonald, and A. Warn-Varnas 1975. Optimized block-implicit relaxation, *J. Comput. Phys.*, 18, pp. 421-439.

Dietrich, D. E., Marietta, M.G., y Roache, P.J., 1987. An ocean modelling system with turbulent boundary layers and topography. Part I: Numerical description. *Int. J. Numer. Methods Fluids*, 7, pp. 833-855.

Dietrich, D.E., 1993. On modelling geophysical flows having low Rossby numbers. *Atmosphere-Ocean* 31, pp. 57-71.

Dietrich, D.E., 1997. Application of a modified Arakawa "a" grid ocean model having reduced numerical dispersion to the Gulf of Mexico circulation. *Dynamics of Atmospheres and Oceans* 27, pp.201-217.

Dietrich, D.E., Lin, C.A., Mestas-Nunez, a., y Ko, D.S., 1997. A High Resolution Numerical Study of Gulf of Mexico Fronts and Eddies. *Meteorology and Atmospheric Physics* 64, pp.187-201.

Dietrich, D. E., Mehra, A., Haney, R.L., Bowman, M.J., y Tseng, Y-H., 2004a. Dissipation effects in North Atlantic Ocean modelling. *Geophys. Res. Lett.*, 31, L05302, doi:10.1029/2003GL019015.

Dietrich, D. E., Haney, R.L., Fernandez, V., Josey, S., y J. Tintore, J., 2004b. Air-sea fluxes based on observed annual cycle surface climatology and ocean model internal dynamics: A precise, non-damping zero-phase-lag approach applied to the Mediterranean Sea. *J. Mar. Syst.*, 52, pp.145-165.

Dietrich, D. E., Tseng, Y.H., Medina, R., Piacsek, S.A., Liste, M., Olabarrieta, M., Bowman, M.J., y Mehra, A., 2008. Mediterranean Overflow Water (MOW) simulation using a coupled multiple-grid Mediterranean Sea/North Atlantic Ocean model. *J. Geophys. Res.*, 113, C07027, doi:10.1029/2006JC003914.

Drillet, Y., Bourdalle-Badie, B., Siefridt, L., y Le Provost, C., 2005. Meddies in the Mercator North Atlantic and Mediterranean Sea eddy resolving model. *J. Geophys. Res.*, 110, C03016, doi:10.1029/2003JC002170.

Du, T., Tseng, Y.H., y Yan, X.H., 2008. The impacts of tidal currents and Kuroshio intrusion on the generation of nonlinear internal waves in Luzon Strait. *Journal of Geophysical Research Ocean* VOL. 113, C08015, doi:10.1029/2007JC004294..

Eden, C. y Greatbatch, R.J., 2009. A diagnosis of isopycnal mixing by mesoscale eddies. *Ocean Modeling* 27 (1-2) pp. 98-106.

Ellet, D.J., y Blindheim, J., 1992. Climate and hydrographic variability in the ICES area during the 1980s. *ICES Mar. Sci. Symp.* 195, pp.11-31.

Ezer, T., y Mellor, G.L., 2004. A generalized coordinate ocean model and a comparison of the bottom boundary layer dynamics in terrainfollowing and in z-level grids. *Ocean Modell.*, 6, pp.379-403.

Faucher, P., Gavart, M., y De Mey, P., 2002. Isopycnal empirical orthogonal functions (EOFs) in the North and tropical Atlantic and their use in estimation problems. *J. Geophys. Res.*, 107(C8), 3107, doi:10.1029/2000JC000690.

Fernández, V., 2004. Numerical Studies of the Mediterranean Sea Variability. *Tesis doctoral*. Universidad de las Islas Baleares. Departamento de Física. 150 pp.

Fernandez, V., Dietrich, D.E., Haney, R.L., y Tintore, J., 2005. Mesoscale, seasonal and inter-annual variability in the Mediterranean Sea using the numerical ocean model. *Prog. Oceanogr.*, 66, pp.321-340.

Fiúza, A.F.G., de Macedo, M.E., y Guerreiro, M.R., 1982. Climatological space and time variation of the Portuguese coastal upwelling. *Oceanol.* 5, pp. 31-40.

Flatau, M.K., Talley, L., Niiler, P.P., 2003. The North Atlantic Oscillation, surface current velocities, and SST changes in the subpolar North Atlantic. *Journal of Climate* 16(14), pp.2355-2369.

Font, J., Salat, J., Tintoré, J., 1988. Permanent features of the circulation in the Catalan sea. *Oceanol. Special Issue: Oceanographie Pélagique Méditerranéenne*, pp. 51-57.

Font, J., García-Ladona, E., y Gorriz, E.G., 1995. The seasonality of mesoscale motion in the Northern current of the western Mediterranean: several years of evidence. *Oceanologica Acta* 18, pp.207-219.

Forget, G., Ferron, B., y Mercier, H., 2008. Combining ARGO profiles with a general circulation model in the North Atlantic. Part1: Estimation of hydrographic and

circulation anomalies from synthetic profiles, over a year. *Ocean Modelling*, 20, pp.1-16.

Fox, AD., Maskell, SJ., 1995. Two way interactive nesting of primitive equation ocean models with topography. *J Phys Oceanography* 25, pp.2977-2996.

Fraga, F., Mouriño, C., y Manríquez, M., 1982. Las masas de agua en la costa de Galicia: Junio–Octubre. *Res. Exp. Cient.* 10, pp. 51-77.

Frouin, R., Fiuza A.F.G., Ambar I. y Boyd, T., 1990. *Journal of Geophysical Research*, 95, pp. 679-681.

Fruchaud- Laparra, B., Floch, E., Le Roy, C., Le Tareau, J.Y., Madelain, F., 1976. Dans le Proche Atlantique en 1974. Centre National pour L'exploitation des Oceans (CNEXO). *Rapport Scientifique et Technique N° 30*.

Gallegos, A. & S.P.R. Czitrom, 1997. Aspectos de la Oceanografía Física Regional del Mar Caribe. *Monografía de la Unión Geofísica Mexicana sobre la oceanografía de los mares Mexicanos. N° 3*, pp. 225-242. ISBN 968-7829-00-1.

García-Lafuente, J., Delgado, J., Vargas, J.M., Vargas, M., Plaza, F., y Sarhan, T., 2002. Low-frequency variability of the exchanged flow through the Strait of Gibraltar during CANIGO. *Deep-Sea Research. Part 2. Topical Studies in Oceanography* 49, pp. 4051-4067.

García-Soto, C., Pingree, R., Valdés, L., 2002. Navidad development in the southern Bay of Biscay: Climate change and swoddy structure from remote sensing and in situ measurements. *J. Geophys. Res-Oceans* 107(C8): 10.1029/2001JC001012.

GDP (www.aoml.noaa.gov/phod/dac/gdp.html)

Gill, A.E., 1982. Atmosphere-ocean dynamics. *Academic Press*. 662 pp.

González-Pola, C., Alicia Lavín, A., y Vargas-Yáñez, M., 2005. Intense warming and salinity modification of intermediate water masses in the southeastern corner of the Bay

of Biscay for the period 1992–2003. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 110, C05020, doi:10.1029/2004JC002367.

Griffiths, R.W., y Linden, P.F., 1981 The stability of vortices in a rotating, stratified fluid. *J. Fluid Mech* 105, pp. 283-316.

Griffies, S.M., Arne Biastoch, A., Böning, C., Bryan, F., Danabasoglu, G., Chassignet, E.P., England, M.H., Gerdes, R., Haak, H., Hallberg, R.W., Hazeleger, W., Jungclaus, J., Large, W.G., Madec, G., Pirani, A., Samuels, B.L., Scheinert, M., Gupta, A.S., Severijns, C.A., Simmons, H.L., Treguier, A.M, Winton, M., Yeager, S., y Yin, J., 2009. Coordinated Ocean-ice Reference Experiments (COREs). *Ocean Modelling*, 26, pp. 1-46.

Gründlingh, M., 1981. On the observation of a solitary event in the Mediterranean outflow west of Gibraltar. *Meteor Forschungsergebnisse A/B*, 23, pp. 15-46.

Gutiérrez, J.M., Cano, R., Cofiño, A.S. y Rodríguez, M.A., 2004. Clustering methods for statistical downscaling in short-range weather forecast. *Monthly Weather Review* 132, pp. 2169- 2183.

Haidvogel, D. B y Beckmann, A., 1999. Numerical Ocean Circulation Modeling. *Series on Environmental Science and Management*, Vol. 2, Imperial College Press, 319 pp.

Haney, R.L., Hale, R.A., y Dietrich, D.E., 2001. Offshore propagation of eddy kinetic energy in the California Current. *JGR-Oceans* 106, C6, pp.11,709-11,717.

Hansen, D.V., y Herman, A., 1989. Temporal sampling requirements for surface drifting buoys in the tropical Pacific. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology* 6(4).

Hansen, D.V., y Poulain, P.M., 1996. Quality control and interpolations of WOCE-TOGA drifter data." *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology* 13(4), pp. 900-909.

HAMSOM (<http://www.puertos.es/externo/clima/Modelos/hamsom.html>).

Hardman-Mountford, N.J., Richardson, A.J., Agenbag, J.J., Hagen, E., Nykjaer, L., Shillington, F.A., y Villacastin, C., 2003. Ocean climate of the South East Atlantic observed from satellite data and wind models. *Progress In Oceanography* 59, Issues 2-3, pp.181-221.

Harvey, J.G., y Arhan, M., 1988. The water masses of the central North Atlantic in 1983–84. *Journal of Physical Oceanography* 18, pp. 1855-1875.

Haynes, R.D., y Barton, E.D., 1990. A poleward flow along the Atlantic coast of the Iberian Peninsula. *Journal of Geophysical Research* 95, pp.11425-11442.

Hellerman, S. and Rosenstein, M., 1983. Normal monthly wind stress over the world ocean with error estimates. *J. Phys. Ocean* 13, pp.1093-1104.

Hewitson, B.C., y Crane, R.G., 2002. Self-organizing maps: applications to synoptic climatology. *Climate Research* 22, pp.13-26.

Hong, G., Heygster, G., Miao, J., Y Kunzi, K., 2005: Detection of tropical deep convective clouds from AMSU-B water vapour channels measurements. *J. Geophys. Res.*, 110, D05205, doi:10.1029/2004JD004949.

Hopkins, T.S., 1999. The thermohaline forcing of the Gibraltar Strait. *Journal of Marine Systems* 20, pp.1-31.

Howe, M.R., 1984. Current and hydrographic measurements in the Mediterranean Undercurrent near Cape St. Vincent. *Oceanol.* 7, pp.163-168.

<http://www.ocean-modeling.org/>

Hurrell, J.W., 1995. Decadal Trends in the North Atlantic Oscillation: Regional Temperatures and Precipitation. *Science, New Series*, Vol. 269, nº 5224, pp.676-679.

Hsu, K., Gupta, H.V., Gao, X., Sorooshian, S., y Imam, B., 2002. Self-organizing linear output map (SOLO): an artificial neural network suitable for hydrologic modeling and analysis. *Water Resources Research* 38, pp. 1302.

Iorga, M.C., y Lozier, M.S., 1999. Signatures of the Mediterranean outflow from a North Atlantic climatology: 1. Salinity and density fields. *J. Geophys. Res.*, 104(C11), pp.25,985–26,009.

Jacob, D., y Podzun, R., 1997. Sensitivity studies with the regional climate model REMO. *Meteorol Atmos Phys* 63, pp.119-129.

Johnson, R.G., 1997. Climate control requires a dam at the Strait of Gibraltar. *Eos Trans. AGU*, 78, 277, pp.280-81.

Johnson, J., Ambar, I., Serra, N., Stevens, I., 2002. Comparative studies of the spreading of Mediterranean water through the Gulf of Cadiz. *Deep Sea Res., Part II*, 49, pp.4179-4193.

Jorge da Silva, A., New, A., Srokosz, M., y Smyth, T., 2002. On the observability of internal tidal waves in remotely-sensed ocean colour data. *Geophysical Research Letters* 29, pp. 1-4.

Jorge da Silva, A. 1996. Current measurements over the upper slope off the west coast of Portugal, 1994–1995. *ICES CM* 1996/S:34, 5 pp.

Kanzow, T., Cunningham, S.A., Rayner, D., Hirschi, J.J-M., Johns, W.E., Baringer, M.O., Bryden, H.L., Beal, L.M., Christopher, S.M., Jochem, Marotzke, 2007. Observed flow compensation associated with the meridional overturning at 26.51N in the Atlantic. *Science* 317, pp.938-941.

Käse, R., Beckmann, A., y Hinrichsen, H.H., 1989. Observational evidence of salt lens formation in the Iberian Basin. *J. geophys. Res.* 94, 4905–12.

Käse, R.H., y Zenk, W., 1996. Structure of the Mediterranean Water and meddy characteristics in the northeastern Atlantic. Krauss, W. (Ed.), *The Warmwatersphere of the North Atlantic Ocean*, *Gebrüder Borntraeger*, Berlin, Stuttgart, pp. 365–395.

Killworth, P., 2001. On the rate of descent of overflows. *J. Geophys. Res.* 106(C10), pp. 22,267-22,275.

Killworth, P., y Edwards, N.R., 1999. A turbulent bottom boundary layer code for use in ocean models. *J. Phys. Oceanogr.*, 29, pp.1221-1238.

Krauss, W., 1996. The warm water sphere of the North Atlantic Ocean. *Gebrüder Borntraeger*, 466 pp.

Klein, H., 1987. Benthic storms, vortices and particle dispersion in Deep West European Basin. *Dtsch. Hydrogr. Z.* 40 3, pp. 87-102

Kohonen, T., 2001. *Self-Organizing Maps*. Springer. 501 pp.

Korres, G., Pinardi, N., y Lascaratos, A., 2000. The ocean response to low frequency interannual atmospheric variability in the Mediterranean Sea. Part II: empirical orthogonal functions analysis. *Journal of Climate*, vol. 13, n°4, pp.732-745.

Koutsikopoulos, C., y Le Cann, B., 1996. Physical processes and hydrological structures related to the Bay of Biscay anchovy. *Sci.Mar* 60 (Suppl.2), pp.9-19.

Kowalik, Z., y Murty, T.S., 1995. *Numerical Modeling of Ocean Dynamics*. World Scientific. 481 pp.

Kuhlbrodt, T., Griesel, A., Montoya, M., Levermann, A., Hofmann, M., y Rahmstorf, S., 2007. On the driving processes of the Atlantic meridional overturning circulation. *Rev Geophys* 45, RG2001, doi:10.1029/2004RG000166.

Kundu, P.K., 1990. *Fluid Mechanics*. Academic Press. 462 pp.

Kurihara, Y., Tripoli, G.J., y Bender, M.A., 1979. Design of a movable nested-mesh primitive equation model. *Monthly Weather Review* 107(3), pp.239-249.

Lacombe, H., y Richez, C., 1982. The regime of the Strait of Gibraltar. J.C.J. Nihoul, Editor, Hydrodynamics of Semi-Enclosed Seas, *Elsevier Sci. Publ. Comp.*, New York. pp.13-73.

Larsen, J.C. y Sanford, T.B., 1985. Florida Current volume transports from voltage measurements. *Science*, 227, pp.302-304.

Lascaratos, A., Roether, W., Nittis, K., y Klein, B., 1999. Recent changes in deep water formation and spreading in the eastern Mediterranean Sea: a review. *Prog. Oceanogr.* 44, pp. 5-36.

Larnicol, G., Ayoub, N., y Le Traon, P.Y., 2002. Major changes in Mediterranean Sea level variability from 7 years of TOPEX/Poseidon and ERS-1/2 data. *Journal of Marine Systems*, 33-34, 63-89.

Larsen, J.C., y Sanford, T.B., 1985. Florida Current Volume Transport from Voltage Measurements. *Science* 18, pp.302-304. 10.1126/science.227.4684.302.

La Violette, P., 1990. The Western Mediterranean Circulation Experiment (WMCE): introduction. *J. Geophys. Res.* 95, pp.1513–1514.

Lavín, A., Bryden, H.L., y Parrilla, G., 1998. Meridional transport and heat flux variations in the subtropical North Atlantic. *The Global and Ocean System*, 6, pp. 269-293.

Leaman, K.D., Molinari, R., y Vertes, P., 1986. Structure and Variability of the Florida Current at 27N: April 1982-July 1984. *Journal of Physical Oceanography*, 17, pp.565-583.

Leaman, K.D., 1987. Florida Atlantic Coast Transport Study (FACTS):PEGASUS Data. Final Report to U.S. Dept. of Interior, 59 pp.

Leaman, K.D., Johns, E., y Rossby, T., 1989. The average distribution of volume transport and Potential Vorticity with temperature at three sections across the Gulf Stream. *Journal of Physical Oceanography* 19, pp.36-51.

Le Cann, B., Speer, K.A., Serpette, A., Paillet, J., y Reynaud, T., 1999. Lagrangian observations in the intergyre North-East Atlantic during the ARCANE and EUROFLOAT projects: Early results. *WOCE Int. Newsl.* 34, pp.25-27.

Le Cann, B., Assenbaum, M., Gascard, J.C., Reverdin, G., 2005. Observed mean and mesoscale upper ocean circulation in the midlatitude northeast Atlantic. *Journal of Geophysical research-Oceans* 110, C7, C07S05

Lee, T.N., Scott, F.A., Zantopp, R.J., 1985. Florida Current: low-frequency variability as observed with moored current meters during April 1982 to June 1983. *Science*, 227, pp.298-302.

Lee, P., Tsidulko, M., Hart, M., Kang, D., McQueen, J., DiMego, G., Seaman, N., y Davidson, P., 2008. Impact of Domain Size on Modeled Ozone Forecast for the Northeastern United States. *Journal of Applied Meteorology and Climatology* 47, pp.443-461.

Legg, S.,R., Hallberg, W., y Girton, J.B., 2005. Comparison of entrainment in overflows simulated by z-coordinate, isopycnal and non-hydrostatic models. *Ocean Modell.*, 11, pp. 69-97.

Levitus, S., Conkright, M.E., Reid, J.L., y Najjar, R.G., 1993. Distribution of nitrate, phosphate and silicate in the world oceans. *Prog. Oceanogr.*, 31, pp.245-273.

Levitus, S., y Boyer, T., 1994. World Ocean Atlas 1994, vol. 4, Temperature. *NOAA Atlas NESDIS 4*. 150 pp.

Liu, J., Curry, J.A., Rossow, W.B., Key, J.R., y Wang, X., 2005. Comparison of surface radiative flux data sets over the Arctic Ocean. *J. Geophys. Res.*, 110, C02015, doi:10.1029/2004JC002381.

Locarnini, R.A., Mishonov, A.V., Antonov, J.I., Boyer, T.P., Garcia, H.E., 2006. *World Ocean Atlas 2005, Volume 1: Temperature*. S. Levitus, Ed. NOAA Atlas NESDIS 61, U.S. Gov. Printing Office, Washington, D.C., 182 pp.

Lozier, M.S., Owens, W.B., y Curry, R., 1995. The climatology of the North Atlantic. *Prog. Oceanogr.*, 36, pp.1-44.

Lumpkin, R., y Pazos, M., 2006. Measuring surface currents with Surface Velocity Program drifters: the instrument, its data, and some recent results. *Lagrangian Analysis and Prediction of Coastal and Ocean Dynamics (LAPCOD)*. ed. A. Griffa, A.D. Kirwan, A.J. Mariano, T. Ozgokmen, and T. Rossby.

Lund, D.C, Lynch-Stieglitz, J., y Curry, W.B., 2006. Gulf Stream density structure and transport during the past millennium. *Nature* 444, pp.601-604.

Maltrud, M.E., y McClean, J.L., 2005. An eddy resolving global 1/10 degree ocean simulation. *Ocean Modell.*, 8, pp.31-54.

Mantyla, A.W., y Reid, J.L., 1983. Abyssal characteristics of the world ocean waters, *Deep-Sea Research* 20, pp. 871-885.

McDowell, S.E., y Rossby, T., 1978. Mediterranean Water: An Intense Mesoscale Eddy off the Bahamas. *Science* 202., pp.1085-1087. doi:10.1126/science.202.4372.1085.

MEDOC Group. 1970. Observation of formation of deep water in the Mediterranean sea. *Nature*, 227, pp.1037-1040.

Millot, C., 1999. Circulation in the Western Mediterranean Sea. *J. Mar. Syst.*, 20, pp.423-442.

Millot, C., 2007. Interannual salinification of the Mediterranean inflow. *Geophys. Res. Lett.*, 34, L21609, doi:10.1029/2007GL031179.

Ministerio de Educación y Ciencia, 2007. Ciencia and Prestige. La investigación desarrollada a raíz del accidente del Prestige. *Oficina Técnica de Vertidos Marinos* (Univesidad de Vigo), Comisión de Coordinación Científica, Dirección General de Investigación Ministerio de Educación y Ciencia, 67 pp.

Niiler, P.P., y Davis, R.E., et al., 1987. Water-following characteristics of a mixed layer drifter. *Deep-Sea Research Part a-Oceanographic Research Papers* 34(11), pp.1867-1881.

Molinari, R.L., Wilson, W.D., y Leaman, K., 1985: Volume and heat transports of the Florida Current: April 1982 through August 1983. *Science*, 227, pp.292-294.

Niiler, P.P., y Sybrandy, A.S., et al., 1995). Measurements of the water-following capability of holey-sock and TRISTAR drifters. *Deep-Sea Research Part I-Oceanographic Research Papers* 42(11-12), pp.1951.

Niiler, P.P., Maximenko, N.A., McWilliams, J.C.,2003. Dynamically balanced absolute sea level of the global ocean derived from near-surface velocity observations. *Geophysical Research Letters* 30(22), pp. 2164-2167.

Nof, D., 1990. The role of angular momentum in the splitting of isolated eddies. *Tellus* 42, pp.469-481.

MPI, 1995. A Message-Passing Interface Standard Message Passing Interface Forum.

Ochoa, J., y Bray, N., 1991. Water mass exchange in the Gulf of Cádiz. *Deep-Sea Research* 38 (Suppl. 1), pp. 465-503.

Oey, L.Y., Ezer, T., y Sturges, W., 2004. Modeled and observed empirical orthogonal functions of currents in the Yucatan Channel, Gulf of Mexico. *J. Geophys. Res.* 109, C08011, doi:10.1029/2004JC002345.

Oja, E., y Kaski, S., 1999. *Kohonen Maps*. Elsevier. Amsterdam, pp. 171-182.

OSPAR, 2000. <http://www.ospar.org/>

Ozkokmen, T., Chassignet, E.P., y Rooth, C.G., 2001. On the connection between the Mediterranean outflow and the Azores Current. *J. Phys. Ocean.*, 31, pp.461-480.

Pacanowski, R.C., y Philander, S.G.H., 1981. Parameterization of vertical mixing in numerical models of tropical ocean. *J. Phys. Oceanogr.* 11, pp.1443-1451.

Pazan, S.E., y Niiler, P., (2004). New global drifter data set available. *EOS: Transactions American Geophysical Union* 85(2), pp.17.

Peliz, A., Rosa, T.L., Santos, A.M.P., y Pissarra, J.L., 2002. Fronts, jets, and counter-flows in the Western Iberian upwelling system. *Journal of Marine Systems* 35, pp. 61-77.

Peters, H., Johns, W.E., Bower, A.S. y Frantantoni, D.M., 2005. Mixing and entrainment in the Red Sea overflow plume. Part II: Plume structure. *J. Phys. Oceanogr.*, 35, pp.569-583.

Pichevin, T., y Nof, D., 1996. The eddy cannon. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers* 43, Issue 9, pp.1475-1507.

Pinardi, N., Navarra, A., 1993. Baroclinic wind adjustment processes in the Mediterranean Sea. *Deep Sea Research II* 40 Ocean(6), pp.1299-1326.

Pinardi, N., Korres, G., Lascaratos, A., Roussenov, V., Stanev, E., 1997. Numerical simulation of the Mediterranean Sea upper ocean circulation. *Geophysical Research Letters* 24 (4), pp.425-428.

Pinardi, N., y Masetti, E., 2000. Variability of the large scale general circulation of the Mediterranean Sea from observations and modelling: a review. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 158, pp.153-173.

Pingree, R., 1997. The Eastern Subtropical Gyre: flow, rings, recirculations, structure and subduction. *Journal of Marine Biology Association U.K.* 77, pp. 573-624.

Pingree, R.D., y Le Cann, B., 1989. Celtic and Armorican slope and shelf residual currents. *Progress in Oceanography* 23, pp. 303-338.

Pingree, R.D., y Le Cann, B., 1990. Structure, strength and seasonality of the slope currents in the Bay of Biscay region. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 70, pp.104-128.

Pingree, R.D., y Le Cann, B., 1992a. Anticyclonic eddy X91 in the Southern Bay of Biscay, May 1991 to February 1992. *Journal of Geophysical Research* 97, pp.14,353-14,367.

Pingree, R.D., y Le Cann, B., 1992b. Three anticyclonic slope water Oceanic eDDIES (SWODDIES) in the Southern Bay of Biscay. *Deep Sea Research I* 39, pp. 1147-1175.

Pinot, J.M., López-Jurado, J.L., y Riera, N., 2002. The CANALES experiment (1996-1998). Interannual, seasonal, and mesoscale variability of the circulation in the Balearic Channels. *Progress in Oceanography* 55, pp.335-370.

POEM GROUP, 1992. General circulation of the Eastern Mediterranean. *Earth-Science Reviews* 32 pp.285-309.

Pollard, R.T., y Pu, S., Structure and Circulation of the upper Atlantic Ocean northeast of Azores. *Progress in Oceanography* 14, pp. 443-462.

Pollard, R.T., Griffiths, M.J., Gwilliam, T.J.P., Read, J.F., 1996. Optical Plankton Counter SeaSoar data collected on Polarstern Cruise ANTARKTIS XIII/2 4 Dec 1995-24 Jan 1996. *Southampton Oceanography Centre Internal Report* N° 3, 92 pp.

Preisendorfer, R.W., y Mobley, C., 1988. *Principal Component Analysis in Meteorology and Oceanography*, Elsevier, New York.

Rahmstorf, S., 2003. Thermohaline circulation: The current climate. *Nature* 421. pp.699

Reusch, D.B., y Alley, R.B., 2007. Antarctic sea ice: a self-organizing map-based perspective. *Annals of Glaciology*, 46, pp.391-396.

Richardson, A.J., Pfaffl, M.C, Field, J.G., Silulwane, N.F., y Shillington., F.A., 2002. Identifying characteristic chlorophyll a profiles in the coastal domain using an artificial neural network. *Journal of Plankton Research*, 24 no.12, pp.1289-1303.

Richardson, T.L., Jackson, G.A., y Burd, A.B., 2003. Planktonic food web dynamics in two contrasting regions of Florida Bay, USA. *Bulletin of Marine Science* 73, pp.569-591.

Richardson, P.L., 2005. Caribbean current and eddies as observed by surface drifters. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography* 52 (3-4), pp.429-463.

Risien, C.M., Reason, C.J.C., Shillington, F.A., Chelton, D.B., 2004. Variability in satellite winds over the Benguela upwelling system during 1999–2000. *J. Geophys. Res.*, 109, C03010, doi:10.1029/2003JC001880.

Ríos, A., Pérez, F., y Fraga, F., 1992. Water Masses in the upper and middle North Atlantic Ocean East of the Azores. *Deep Sea Research* 39 (3/4), pp. 645-658.

Rixen, M., Beckers, J.M., Brankart, J.M., y Brasseur, P., 2001. A numerically efficient data analysis method with error map generation. *Ocean Modelling*, 2(1-2), pp.45-60.

Rixen, M., et al. (2005), The Western Mediterranean Deep Water: A proxy for climate change, *Geophys. Res. Lett.*, 32, L12608, doi:10.1029/2005GL022702.

Robinson, A.R., y Golnaraghi, M., 1994. The physical and dynamical oceanography of the Eastern Mediterranean Sea. *P. Ocean Processes in Climate Dynamics: Global and Mediterranean Examples*, Vol. 419, pp. 205-306.

Ruiz, J., Prieto, L., Ortegón, F., 2002. Diatom aggregate formation and fluxes: a modeling analysis under different size-resolution schemes and with empirically

determined aggregation kernels. *Deep-Sea Research Part I-Oceanographic Research Papers*, 49, pp. 495-515.

Roache, P.J., 1995. Elliptic Marching Methods and Domain Decomposition. *CRC Press*. 185 pp.

Sannino, G., Bargagli, A., y Artale, V., 2002. Numerical modelling of the exchange through the Strait of Gibraltar. *Journal of Geophysical Research* 107 (C8), pp. 3094.

Saunders, P.M., 1987. Flow through Discovery Gap. *J. Phys. Oceanogr.* 17, pp.631-643.

Saunders, P.M., 1982. Circulation in the eastern North Atlantic. *Journal of Marine Research*, 40 (suppl), pp. 641-657.

Schmitz Jr., W.J., y McCartney, M.S., 1993. On the North Atlantic Circulation. *Reviews of Geophysics*, vol. 31, nº1, pp 29-49.

Schott, F., Lee, T.N., y Zantopp, R., 1988. Variability of structure and transport of the Florida Current in the period range of days to seasonal. *Journal of Physical Oceanography*, 18, pp.1209-1230.

Send U., Font, J., Krahnemann, G., Millot, C., Rhein, M., y Tintoré, J., 1999. Recent advances in studying the physical oceanography of the western Mediterranean. *Sea. Progress in Oceanogr.* 44, pp.37-64.

Serpette, A., Le Cann, B., y Colas, F., 2006. Lagrangian circulation of the North Atlantic Central Water over the abyssal plain and continental slopes of the Bay of Biscay: description of selected mesoscale features. *Scientia Marina* 70 (S1), pp. 27-42.

Sheinbaum, J., 2008 (ROMS/TOMS European Workshop, Grenoble, France, 2008)).

Silulwane, N.F., Richardson, A.J., Shillington, F.A., y Mitchell-Innes, B.A., 2001. Identification and classification of vertical chlorophyll patterns in the Benguela upwelling system and Angola–Benguela front using an artificial neural network. In S.

C. Pillar, & R. J. M. Crawford (Eds.). A Decade of Namibian Fisheries Science. South African. *Journal of Marine Science*, 23, pp. 37-51.

Sheng, J., Tang, L., 2003. A Numerical Study of Circulation in the Western Caribbean Sea. *Journal of Physical Oceanography*, 33 pp.2049-2069.

Sheng, J., y Tang, L., 2004. A two-way nested-grid ocean-circulation model for the Meso-American Barrier Reef System. *Ocean Dynamics* 54, pp. 232-242.

Smith, P.C., 1975. A streamtube model for bottom boundary currents in the ocean. *Deep-Sea Res.* 22, pp. 853-873.

Smith, R.L., 1981. A comparison of the structure and variability of the flow field in three coastal upwelling regions: Oregon, Northwest Africa, and Peru. Coastal Upwelling (Richards, F. A., ed.). *Coastal and Estuarine Sciences* 1, AGU, Washington, pp.107-118.

Smith, R.D., Maltrud, M.E., Bryan, F.D., y Hecht, M.M.W., 2000. Numerical simulation of the North Atlantic Ocean at 1/10. *J. Phys. Oceanogr.*, 30, pp.1532-1561.

Staneva, J.V., Dietrich, D.E., Stanev, V.E., Bowman, M.J., 2001. Rim current and coastal eddy mechanisms in an eddy-resolving Black Sea general circulation model. *Journal of Marine Systems* 31, pp.137-157.

Somavilla, R., González-Pola, C., Rodríguez, C., Josey, S.A., Sánchez, R.F., y Lavín, A., 2009. Large changes in the hydrographic structure of the Bay of Biscay after the extreme mixing of winter 2005. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 114, C01001, doi:10.1029/2008JC004974, 2009

Stansfield, K., Gasparini, G.P., y Smeed D.A., 2003. High-resolution observations of the path of the overflow from the Sicily Strait. *Deep-Sea Research I* 50, pp.1129-1149.

Sy, A., Rhein, M., Lazier, J.R.N., Koltermann, K.P., Meincke, J., Putzka, A., Bersch, M., 1997. Surprisingly rapid spreading of newly formed intermediate waters across the North Atlantic Ocean. *Nature* 386, pp. 675-679.

Tang, L., Sheng, J., Hatcher, B.G., y Sale, P.F., 2006. Numerical study of circulation, dispersion, and hydrodynamic connectivity of surface waters on the Belize shelf. *Journal of Geophysical Research* Vol.111, C01003.

Timmermann, R., Danilov, S., Schröter, J., Böning, C., Sidorenko, D., Rollenhagen, K., 2009. Ocean circulation and sea ice distribution in a finite element global sea ice-ocean model. *Ocean Modelling*, doi:10.1016/j.ocemod.2008.10.009.,

Tintoré, J., La Violette, P., Blade, I., Cruzado, A., 1988. A study of an intense density front in the eastern Alboran Sea: the Almeria-Oran front. *J. Phys. Oceanogr* 18-10, pp.1384-1397.

Tseng, Y.H. y Breaker, L.C., 2007. 'Nonhydrostatic simulation of the regional circulation in the Monterey Bay area'. *Journal of Geophysical Research-Ocean* 112, C12017, doi: 10.1029/2007JC004093.

Tomás, A., Méndez, F.J., Liste, M., Losada, I.J., Carretero, J.C., 2005. Metodología de Calibración de bases de datos de modelos de reanálisis: aplicación a altura de ola significativa. *Ed. Fundación para el Fomento de la Ingeniería del Agua*. VIII Jornadas Españolas de Ingeniería de Costas y Puertos. Sitges, España.

Tseng, Y.H., and y Dietrich, D.E., 2006. Entrainment and transport in idealized three-dimensional gravity current simulation. *J. Atmos. Ocean. Technol.*, 23, pp. 1249-1269.

Tsimplis, M. S., y Bryden, H.L., 2000. Estimation of the transports through the Strait of Gibraltar. *Deep-Sea Research I*, 47, pp.2219-2242.

UCAR, (<http://www.unidata.ucar.edu/>).

Ultsch, A., y Roske, F., 2002. *Self-organizing feature maps predicting sea levels. Information Sciences* 144, pp. 91-125.

Van Aken, H.M., y Becker, G., 1996. Hydrography and through-flow in the north-eastern North Atlantic Ocean: the NANSEN project. *Progress in Oceanography*, 38, pp.297-346.

Van Aken, H.M., 2002. Surface currents in the Bay of Biscay as observed with drifters between 1995 and 1999. *Deep-Sea Res I* 49, pp.1071-1086.

Vidal, V., Vidal, F., y Pérez-Molero, J., 1992. Collision of a Loop Current anticyclonic ring against the continental shelf slope of the western Gulf of Mexico. *J. Geophys. Res.*, 97, pp.2155-2172.

Vitorino, J., 1989. Circulação residual ao largo da costa NW de Portugal durante a estação de afloramento de 1987 (Residual circulation off the NW Portuguese coast during the 1987 upwelling season). *Anais do Instituto Hidrografico* 10, pp. 25-37.

Viudez, A., Pinot, J.M., y Haney, R.L., 1998. On the upper layer circulation in the Alboran Sea. *J. Geophys. Res.*, 103, pp. 21,653-21,666.

WAMDI group, 1988: The WAM model-a third generation ocean wave prediction model. *J. Phys. Oceanogr.*, 18, pp.1775-1810.

Wang, L., Sheng, J., Hay, A.E, y Schillinger, D.J., 2006. Storm-Induced Circulation in Lunenburg Bay of Nova Scotia: Observations and Numerical Simulations. *Journal of Physical Oceanography* Vol.37 pp.873-895.

Willebrand, J., Barnier, B., Boning, C.W., Dietrich, D.E., Killworth, P.O., LeProvost, C., Jia, Y., Molines, M.J., y New, A.L., 2001. Circulation characteristics in three eddy-permitting models of the North Atlantic. *Prog. Oceanogr.*, 48, pp.123-161.

Wooster, W.S., Bakum, A., y McLain, D.R., 1976. The seasonal upwelling cycle along the eastern boundary of the North Atlantic. *Journal of Marine Research* 34, pp.131-140.

Wu, P., y Haines. K., 1996. Modelling the dispersal of Levantine Intermediate Water and its role in Mediterranean deep water formation. *J. Geophys. Res.*, 101(C3), pp.6591-6607.

Wu, W., Danabasoglu, G., y Large, W.G., 2007. On the effects of parameterized Mediterranean overflow on North Atlantic Ocean circulation and climate. *Ocean Modelling*, 19, pp.31-52, doi:10.1016/j.ocemod.2007.06.003.

Wright, D.G., 1996. An Equation of State for Use in Ocean Models: Eckart's Formula Revisited. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*. 14, pp. 735-741.

Yang, B., Sheng, J., Hatcher, B.G., y Petrie, B., 2007. Numerical Study of Circulation and Temperature-salinity Distributions in the Bras d'Or Lakes. *Ocean Dynamics* 57, pp.245-268. DOI 10.1007/s10236-007-0120-7.

Zenk, W., 1970. On the temperature and salinity structure of the Mediterranean Water in the Northeast Atlantic. *Deep-Sea Research* 17, pp.627-631.

Zenk, W., Armi, L., 1990. The complex spreading pattern of Mediterranean Water off the Portuguese continental slope. *Deep-Sea Research* 37, pp.1805-1823.

Publicaciones derivadas de la investigación doctoral

Liste, M., Olabarrieta, M., Medina, R., Castanedo, S., 2008. Simulation of the Spanish Currents. *Nonlinear Processes in Geophysics. Journal of the European Geosciences Union*. ISSN: 1023-5809. *in press*

Dietrich, D.E., Tseng, Y.-H., Medina R., Piacsek S.A., Liste, M., Olabarrieta, M., Bowman, M.J. and Mehra, A., 2008. Mediterranean Overflow Water (MOW) simulation using a coupled multiple-grid Mediterranean Sea/North Atlantic Ocean model, *J. Geophys. Res.*, 113, C07027, doi:10.1029/2006JC003914.

Dietrich, D.E., Tseng, Y.-H., Medina R., Liste, M., Olabarrieta, M., 2006. An eddy-simulating six-grid, two-way coupled Mediterranean Sea/North Atlantic Ocean Model. *AGU, OS43H-0. Ocean Sciences Meeting*. Honolulu, Hawaii.

Dietrich, D.E., Tseng, Y.-H., Medina R., Liste, M., Olabarrieta, M., Piacsek S.A., Mehra, A. and Haney, R., 2006. Realistic simulation of Mediterranean Overflow Water (MOW) depth penetration using a purely z-level model. *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 8, 05049. SRef-ID: 1607-7962/gra/EGU06-A-05049. *European Geosciences Union*. Viena, Austria.

Castanedo, S., Abascal, A.J., Medina, R., Fernandez, F., Liste, M. and Olabarrieta, M. 2007. A GIS-based statistical tool for spill response planning in the Cantabrian coast (Gulf of Biscay, Spain). *Proc. 8th International Symposium on GIS and Computer Mapping for Coastal Zone Management*, 2, 121-126. ISBN 971-84-8102-471-5.

Liste, M., Olabarrieta, M., Medina, R., Dietrich, D., Castanedo, S., 2007. Retroanálisis de corrientes en el litoral español. *Libro de resúmenes. IX Jornadas Españolas de Ingeniería de Puertos y Costas*. San Sebastián, España.

Castanedo, S., Abascal, A.J., Medina, R., Fernandez, F., Liste, M., Olabarrieta, M., 2007. Análisis Probabilística del Riesgo de Contaminación por Hidrocarburos en la Costa de Cantabria. *Libro de resúmenes. IX Jornadas Españolas de Ingeniería de Puertos y Costas*, 198-202. San Sebastián, España.

ANEJO I:

Esquema reducido de dispersión de cuarto orden

Como se ha descrito a lo largo del capítulo 2 de este documento, el promedio de los valores en las caras de las celdas, se calcula utilizando los valores promedio del volumen de control más cercano, utilizando un esquema reducido de dispersión de cuarto orden. Para simplificar, se demuestra a continuación dicho esquema para una única dirección (x), aunque este mismo análisis se puede aplicar a las demás direcciones (y, z), así como a cualquier variable (por ejemplo, la temperatura, q), a partir de un polinomio de tercer grado como el que se muestra en la siguiente ecuación (Anejo I.1):

$$q(x, y, z) = q_0(y, z) + q_1(y, z)x + q_2(y, z)x^2 + q_3(y, z)x^3 + \dots \quad AI. 1$$

No hay pérdida de generalidad en la escritura de una función en 3D $q(x, y, z)$, así como un polinomio en x con coeficientes siendo funciones de y y z . Por conveniencia en la notación, se considera que los volúmenes de control están centrados en $x=0$, donde las integrales de las caras son evaluadas y se asume como unidad la de los incrementos de la malla (figura I.1).

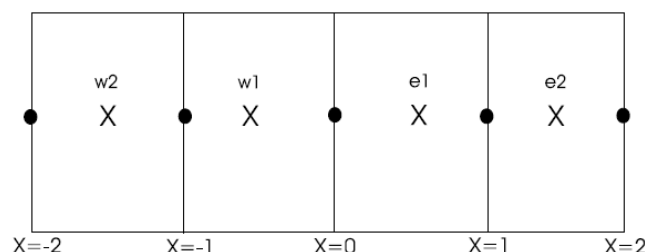


Figura I.1. Esquema de las celdas e índice para la interpolación de cuarto orden. Las X se corresponden con el centro de los volúmenes de control.

En los términos del polinomio *AI.1*, el lado oeste del promedio del volumen de control se puede aproximar:

$$\bar{q}_w^x = \int_{-1}^0 (q_0 + q_1x + q_2x^2 + q_3x^3)dx = q_0 - \frac{1}{2}q_1 - \frac{1}{3}q_2 - \frac{1}{4}q_3 \quad AI. 2$$

Donde la barra situada encima de la variable q , significa la media en la dirección x . Del mismo modo, otros promedios de volúmenes de control se pueden escribir como:

$$\bar{q}_e^x = \int_0^1 (q_0 + q_1x + q_2x^2 + q_3x^3)dx = q_0 - \frac{1}{2}q_1 - \frac{1}{3}q_2 - \frac{1}{4}q_3 \quad AI. 3$$

$$\bar{q}_{w2}^x = \int_{-2}^{-1} (q_0 + q_1x + q_2x^2 + q_3x^3)dx = q_0 - \frac{3}{2}q_1 - \frac{7}{3}q_2 - \frac{15}{4}q_3 \quad I. 4$$

$$\bar{q}_{e2}^x = \int_1^2 (q_0 + q_1x + q_2x^2 + q_3x^3)dx = q_0 - \frac{3}{2}q_1 - \frac{7}{3}q_2 - \frac{15}{4}q_3 \quad AI. 5$$

El valor de la variable q en la cara ($x=0$) es: $q(0, y, z) = q_0$.

Se representa su valor nominal como una combinación lineal de los cuatro promedios de los volúmenes de control más cercanos:

$$q(x=0) = q_0 = c_1\bar{q}_{w2}^x + c_2\bar{q}_w^x + c_3\bar{q}_e^x + c_4\bar{q}_{e2}^x \quad AI.6$$

Por lo tanto, los coeficientes desconocidos c_1 , c_2 , c_3 y c_4 , deben cumplir (a partir de las ecuaciones *AI.2*, *3*, *4*, *5* y *6*):

$$c_1 + c_2 + c_3 + c_4 = 1$$

$$-\frac{3}{2}c_1 - \frac{1}{2}c_2 + \frac{1}{2}c_3 + \frac{3}{2}c_4 = 0$$

$$\frac{7}{3}c_1 + \frac{1}{3}c_2 + \frac{1}{3}c_3 + \frac{7}{3}c_4 = 0$$

$$-\frac{15}{4}c_1 + \frac{1}{4}c_2 + \frac{1}{4}c_3 + \frac{15}{4}c_4 = 0$$

La solución de las ecuaciones anteriores se puede dar a partir de los coeficientes:

$$c_1 = c_4 = -\frac{1}{12}$$

$$c_2 = c_3 = \frac{7}{12}$$

Por último se integra el resultado sobre el promedio de las caras de y y z :

$$\int_0^1 \int_0^1 q(0, y, z) = \int_0^1 \int_0^1 \left[\frac{7}{12}(\bar{q}_w^x + \bar{q}_e^x) - \frac{1}{12}(\bar{q}_{w2}^x + \bar{q}_{e2}^x) \right] dydz = \quad AI.8$$

$$\frac{7}{12}(\bar{q}_w^{xyz} + \bar{q}_e^{xyz} + c_3 \bar{q}_e^x) - \frac{1}{12}(\bar{q}_{w2}^{xyz} + \bar{q}_{e2}^{xyz} + c_3 \bar{q}_{e2}^x)$$

Donde \bar{q}^{xyz} significa el nuevo promedio en el volumen de control de la variable q . Si se sigue con la notación utiliza para la ecuación 2.8 del capítulo 2 (AI.9):

$$\frac{u_{i,j,k}^{n+1} - u_{i,j,k}^{n-1}}{\Delta t} = - \left(\frac{U_{i,j,k}^n u_{i+1/2,j,k}^n - U_{i-1,j,k}^n u_{i-1/2,j,k}^n}{\Delta x_j} \right)$$

$$- \left(\frac{V_{i,j,k}^n u_{i,j+1/2,k}^n - V_{i,j-1,k}^n u_{i,j-1/2,k}^n}{\Delta y_j} \right) \quad AI.9$$

$$- \left(\frac{W_{i,j,k+1}^n u_{i,j,k+1/2}^n - W_{i,j,k}^n u_{i,j,k-1/2}^n}{\Delta z_k} \right)$$

$$- \left(\frac{\partial \tilde{p}}{\partial x} \right)_{i,j,k}^n + \text{coriolis} + \text{disipación}$$

Se obtiene la ecuación para la conversión de los promedios en el centro de volúmenes de control a los promedios en las caras (AI.10).

$$\bar{q}_{i+\frac{1}{2},j,k} = \frac{7}{12}(Q_{i,j,k} + Q_{i+\frac{1}{2},j}) - \frac{1}{12}(Q_{i-1,j,k} + Q_{i+2,j}) \quad AI.10$$

ANEJO II:

Desarrollo numérico del esquema

Leapfrog

Como ya se ha descrito en el Capítulo 2 de este documento, el *Leapfrog* es un esquema numérico explícito donde la integración del tiempo es alterna y en tres niveles, un nivel de tiempo antiguo ($n-1$), un nivel nuevo de tiempo ($n+1$) y un nivel de tiempo intermedio (n).

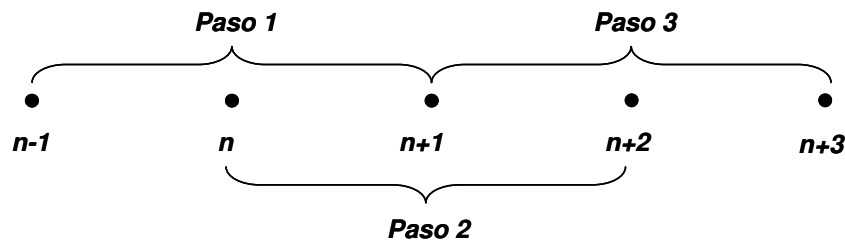


Figura II.1. Esquema de paso de tiempo en el Método Leapfrog.

Una de las principales ventajas que presentan los esquemas tipo Leapfrog es su fácil adaptación a esquemas explícitos de segundo orden, y este es uno de los principales argumentos por el cual este esquema es tan utilizado entre los modelos oceánicos.

Si consideramos la siguiente ecuación diferencial: $\frac{du}{dt} = F(u,t)$, la cual puede ser escrita utilizando una diferencia de tiempo de segundo orden, la ecuación queda:

$$U_3 - U_1 = 2 \cdot dt \cdot F(U_2, t_2) \quad AII.1$$

$$U_3 = U_1 + 2 \cdot dt \cdot F(U_2, t_2) \quad AII.2$$

Para lograr una precisión de segundo orden, se debe obtener U_2 en el nivel de tiempo intermedio. Esto se hace cíclicamente con las variables, haciendo que $U_1=U_2$ y $U_2=U_3$ para el nuevo paso de tiempo. Obsérvese que la actualización desde tiempo antiguo U_1 , salta por encima del nivel de tiempo intermedio U_2 , hasta el nuevo nivel de tiempo U_3 .

Generalmente el tiempo intermedio de la solución, se corrige mediante la adición del filtro de Asselin, $FLTW$ (Asselin, 1972), que se introduce antes del final del ciclo y mezcla parte de la información de los tres niveles.

$$U_2 = 1 - FLTW \cdot U_2 + FLTW \cdot (U_1 + U_2) \quad AII.3$$

Dicho filtro, reduce formalmente el tiempo intermedio (Roache y Dietrich, 1988), ya que $FLTW$, es lo suficientemente pequeño como para eliminar el salto entre tiempos.

ANEJO III:

Relación entre los patrones atmosféricos y oceánicos en el Mar Mediterráneo

Se muestra a continuación el campo de tensiones tangenciales medio (dinas/cm²), la media (20 años), del módulo de la velocidad superficial (m/s), así como los patrones oceánicos (m/s), o situaciones que se pueden presentar a partir de la situación atmosférica media de cada uno de los meses del año. En el mes de Enero, figura III.1, tanto el primer patrón como el segundo tienen una probabilidad de ocurrencia del 40%, mientras que el tercer patrón presenta una probabilidad de presentación del 50%.

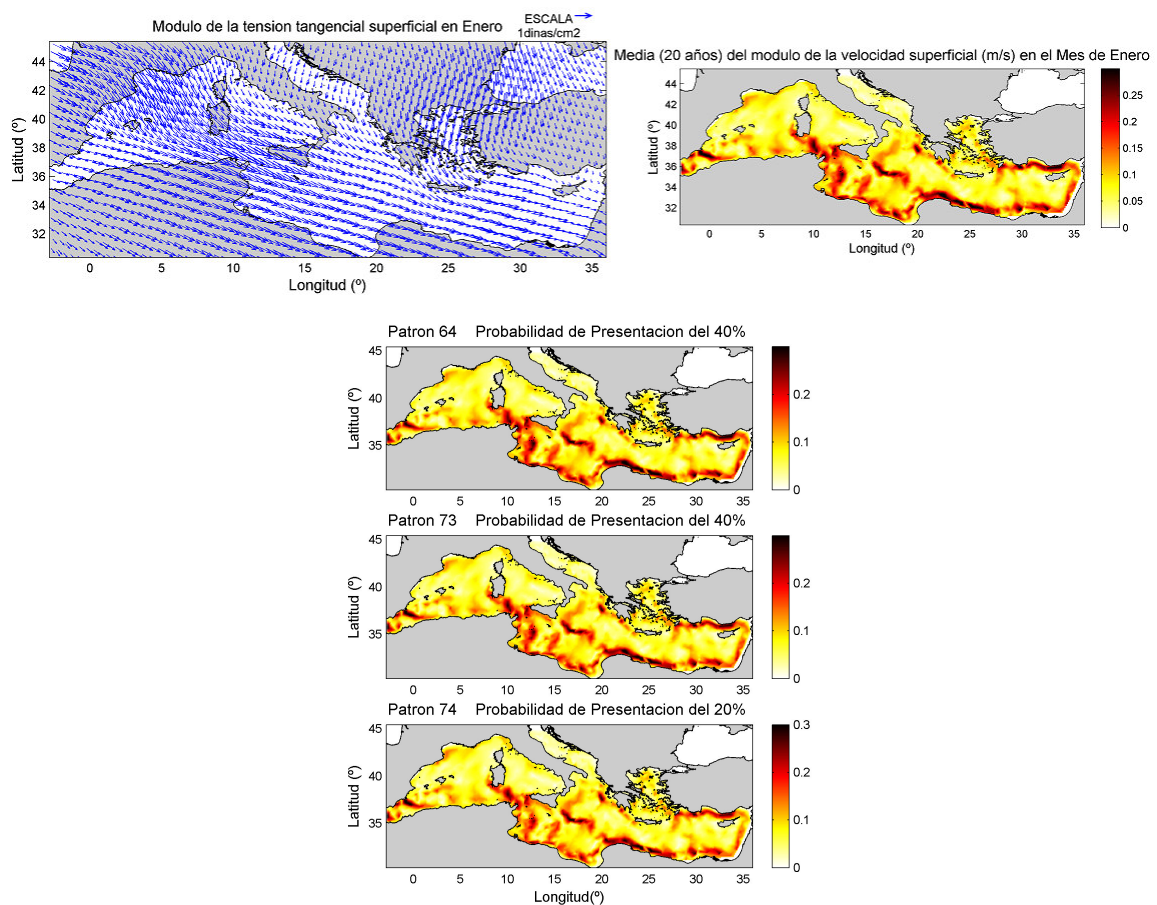


Figura III.1. Tensión tangencial del viento en superficie (dinas/cm²), media (20 años), del modulo de la velocidad superficial (m/s), y patrones oceánicos asociados (m/s), para el mes de enero.

Los cuatro patrones oceánicos que se pueden presentar a partir de la situación atmosférica media de febrero se muestran en la figura 6.9. Tanto el primer patrón como el último tienen una probabilidad de ocurrencia del 17%, mientras que el segundo y tercer patrón presentan una probabilidad de presentación del 33% (Figura III.2)

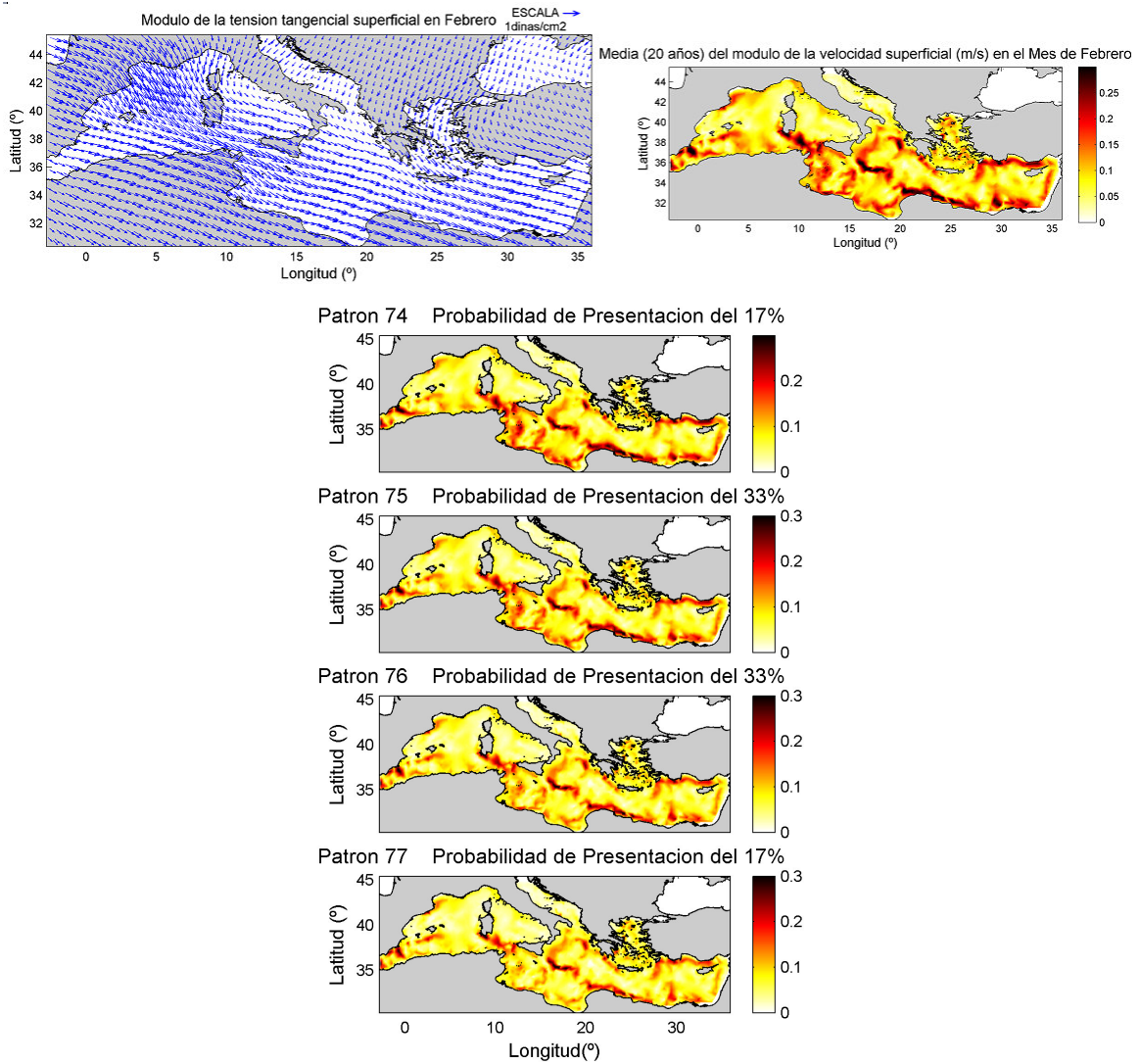


Figura III.2. Tensión tangencial del viento en superficie (dinas/cm²), media (20 años), del modulo de la velocidad superficial (m/s), y patrones oceánicos asociados (m/s), para el mes de febrero.

En la figura III.3, se puede observar que existen cuatros patrones posibles a partir de la situación atmosférica media de marzo. Tanto el primer patrón como el último tienen una probabilidad de ocurrencia del 17%, mientras que el segundo y tercer patrón presentan una probabilidad de presentación del 33%.

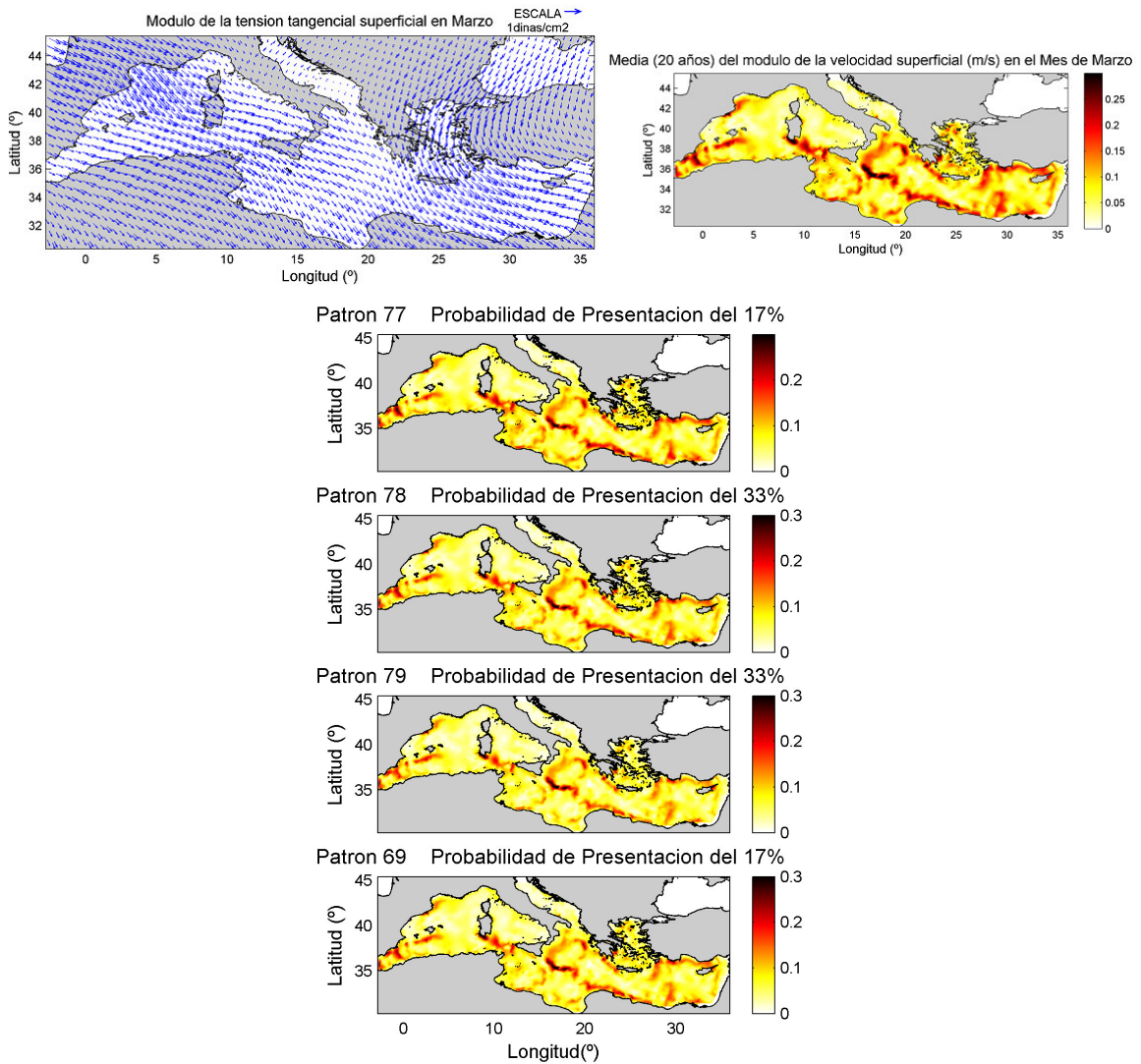


Figura III.3. Tensión tangencial del viento en superficie (dinas/cm²), media (20 años), del modulo de la velocidad superficial (m/s), y patrones oceánicos asociados (m/s), para el mes de marzo.

En la figura III.4, se pueden observar los tres patrones oceánicos (m/s), o situaciones que se pueden presentar a partir de la situación atmosférica media de abril. Los tres patrones tienen una probabilidad de ocurrencia del 33%.

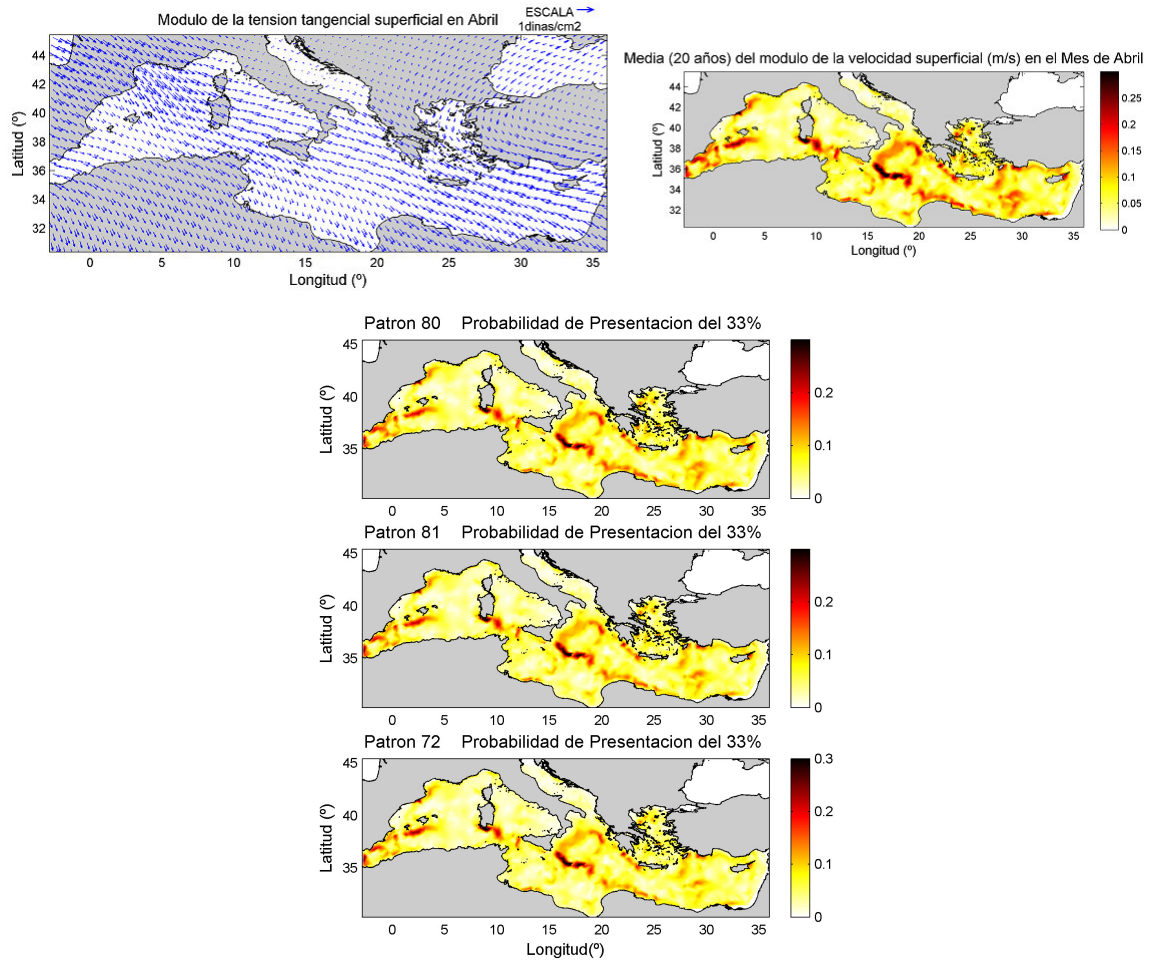


Figura III.4. Tensión tangencial del viento en superficie (dinas/cm²), media (20 años), del modulo de la velocidad superficial (m/s), y patrones oceánicos asociados (m/s), para el mes de abril.

Al igual que en el mes de abril, a partir la situación atmosférica media de mayo se pueden observar los tres patrones oceánicos, pero sus probabilidades de presentación son muy diferentes ya que el primer patrón presenta un probabilidad del 17%, el segundo del 33% y el tercero del 50% (figura III.5).

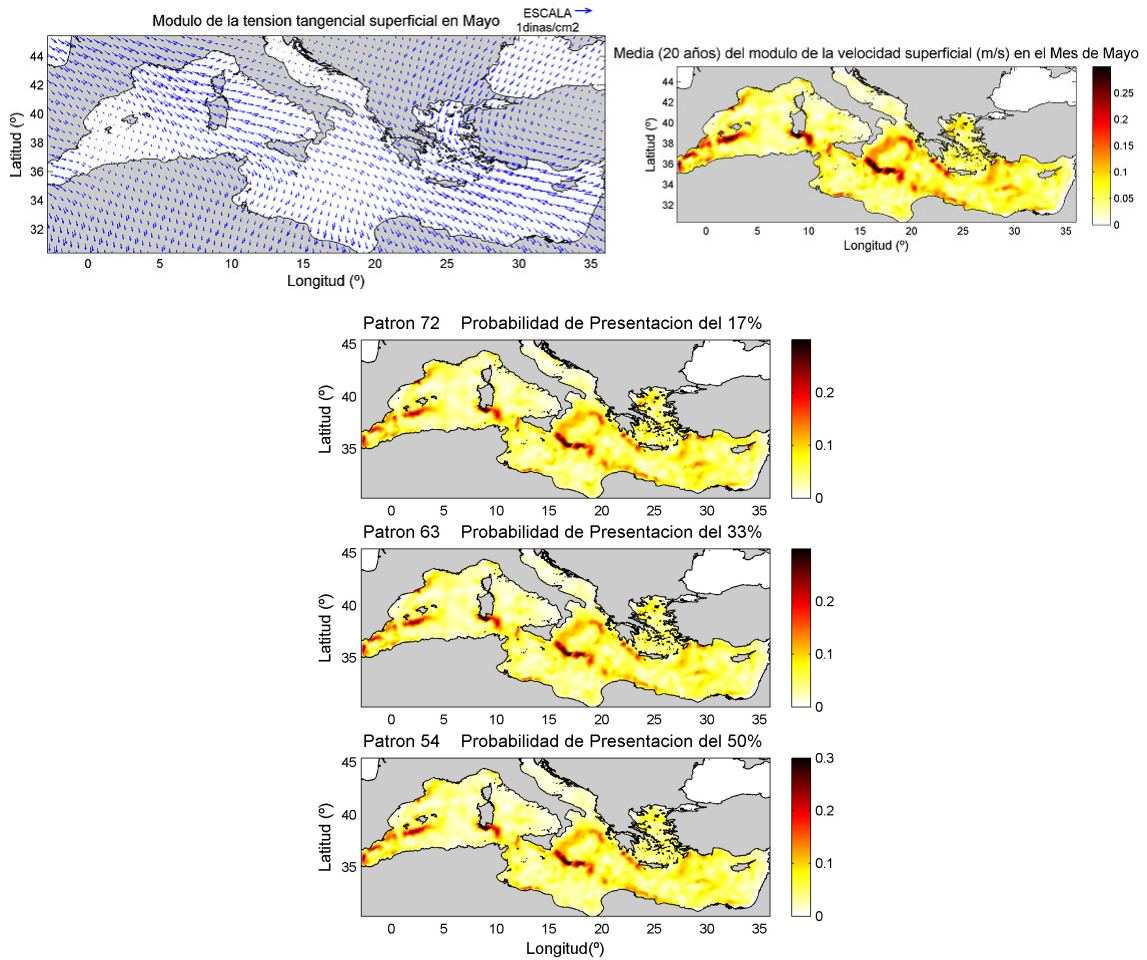


Figura III.5. Tensión tangencial del viento en superficie (dinas/cm²), media (20 años), del modulo de la velocidad superficial (m/s), y patrones oceánicos asociados (m/s), para el mes de mayo.

En la figura III.6, se puede observar que existen cuatros patrones posibles a partir de la situación atmosférica media de junio. Tanto el primer patrón como el último tienen una probabilidad de ocurrencia del 17%, mientras que el segundo y tercer patrón presentan una probabilidad de presentación del 33%.

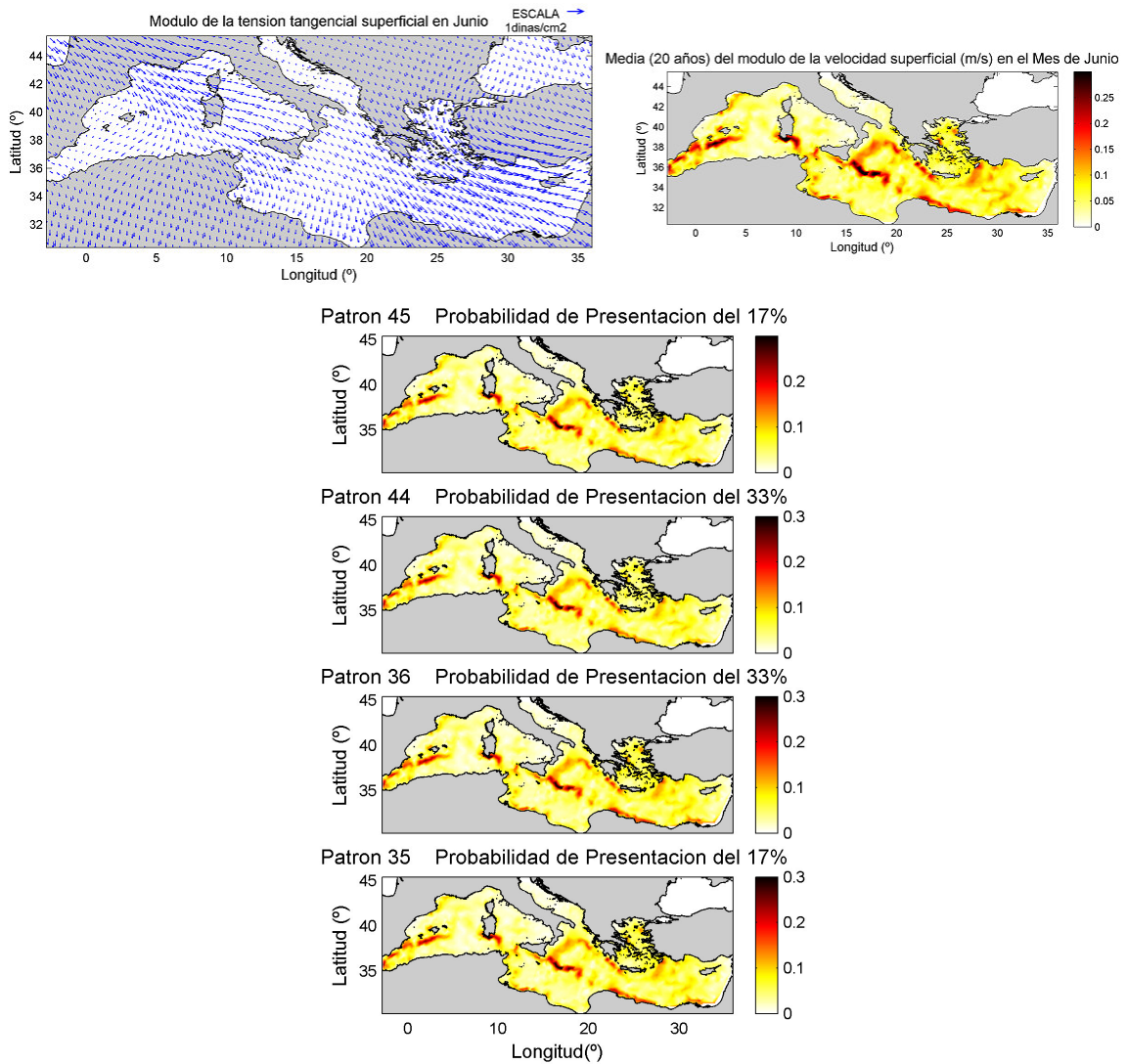


Figura III.6. Tensión tangencial del viento en superficie (dinas/cm²), media (20 años), del modulo de la velocidad superficial (m/s), y patrones oceánicos asociados (m/s), para el mes de junio.

A partir la situación atmosférica media de julio (figura III.7), se pueden observar tres patrones oceánicos, con probabilidades de presentación del 50% el primer patrón, el segundo patrón del 33% y el tercer patrón del 17%.

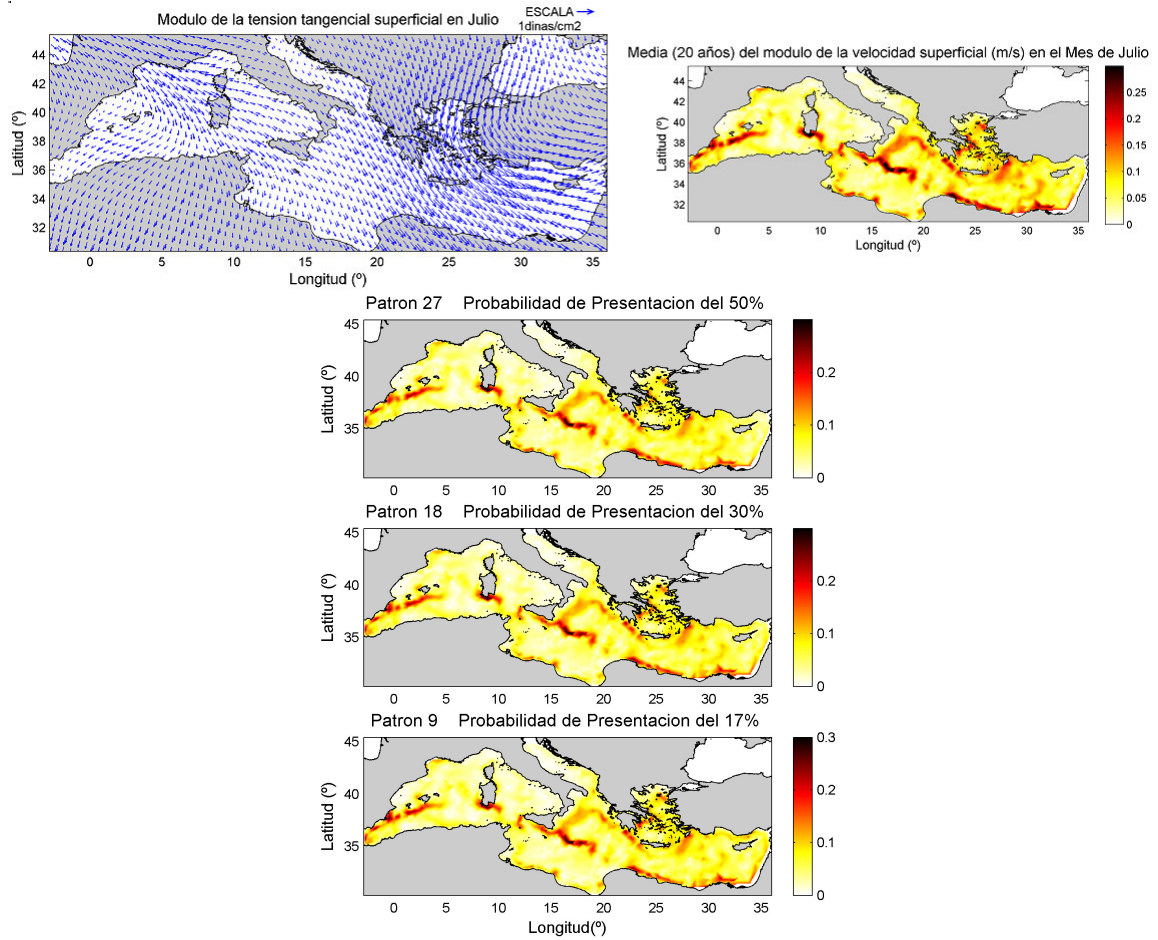


Figura III.7. Tensión tangencial del viento en superficie (dinas/cm²), media (20 años), del modulo de la velocidad superficial (m/s), y patrones oceánicos asociados (m/s), para el mes de julio.

Al igual que en el mes de julio, a partir la situación atmosférica media de agosto se pueden observar tres patrones oceánicos, cuyas probabilidades de presentación son de un 17 % para el primer patrón, un 50% para el segundo y un 33% para el tercero (figura III.8).

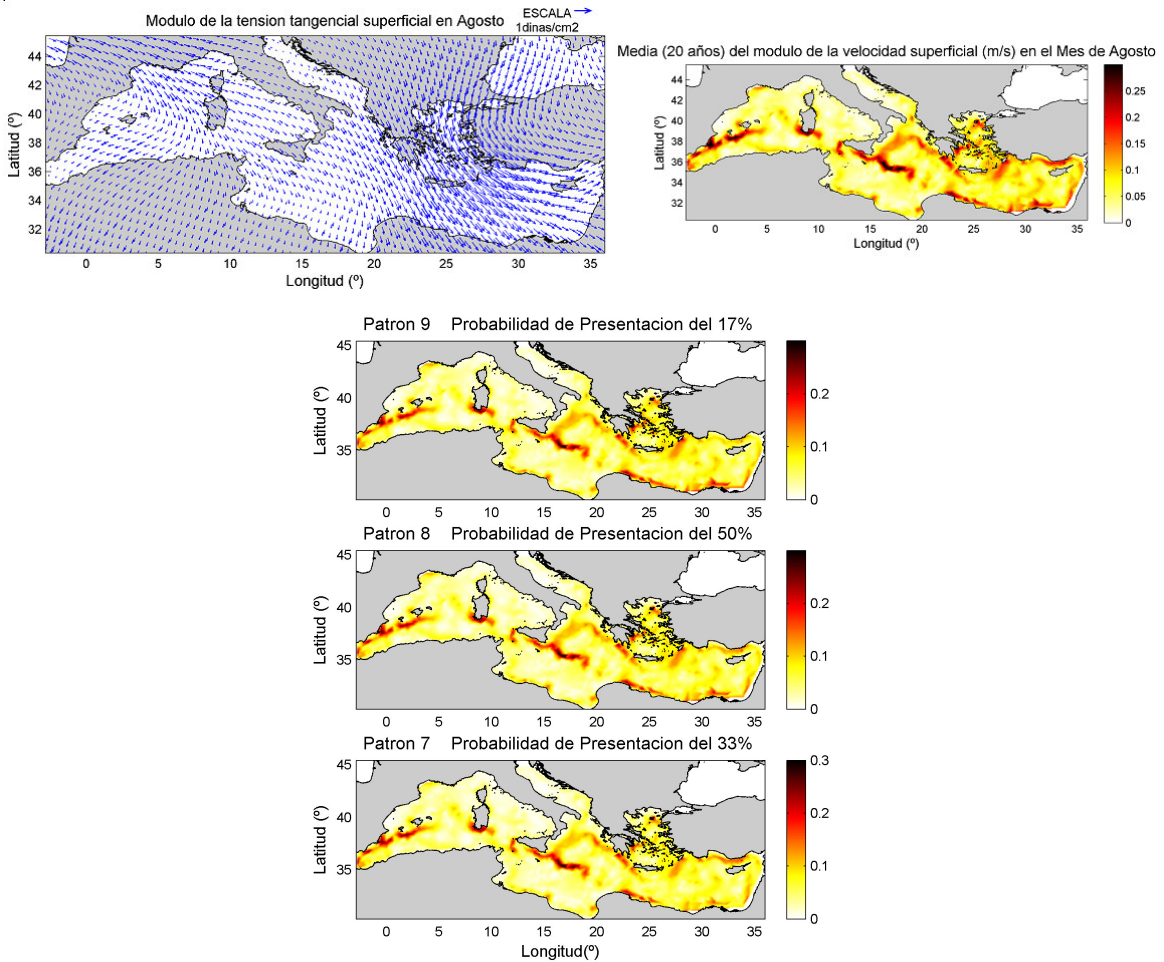


Figura III.8. Tensión tangencial del viento en superficie (dinas/cm²), media (20 años), del modulo de la velocidad superficial (m/s), y patrones oceánicos asociados (m/s), para el mes de agosto.

A partir de la situación atmosférica media de septiembre, se pueden dar cinco patrones de los cuales el primero, tercero, cuarto y quinto presentan una probabilidad de ocurrencia del 17%, mientras que el segundo patrón tiene una probabilidad de presentación del 33% (figura III.9).

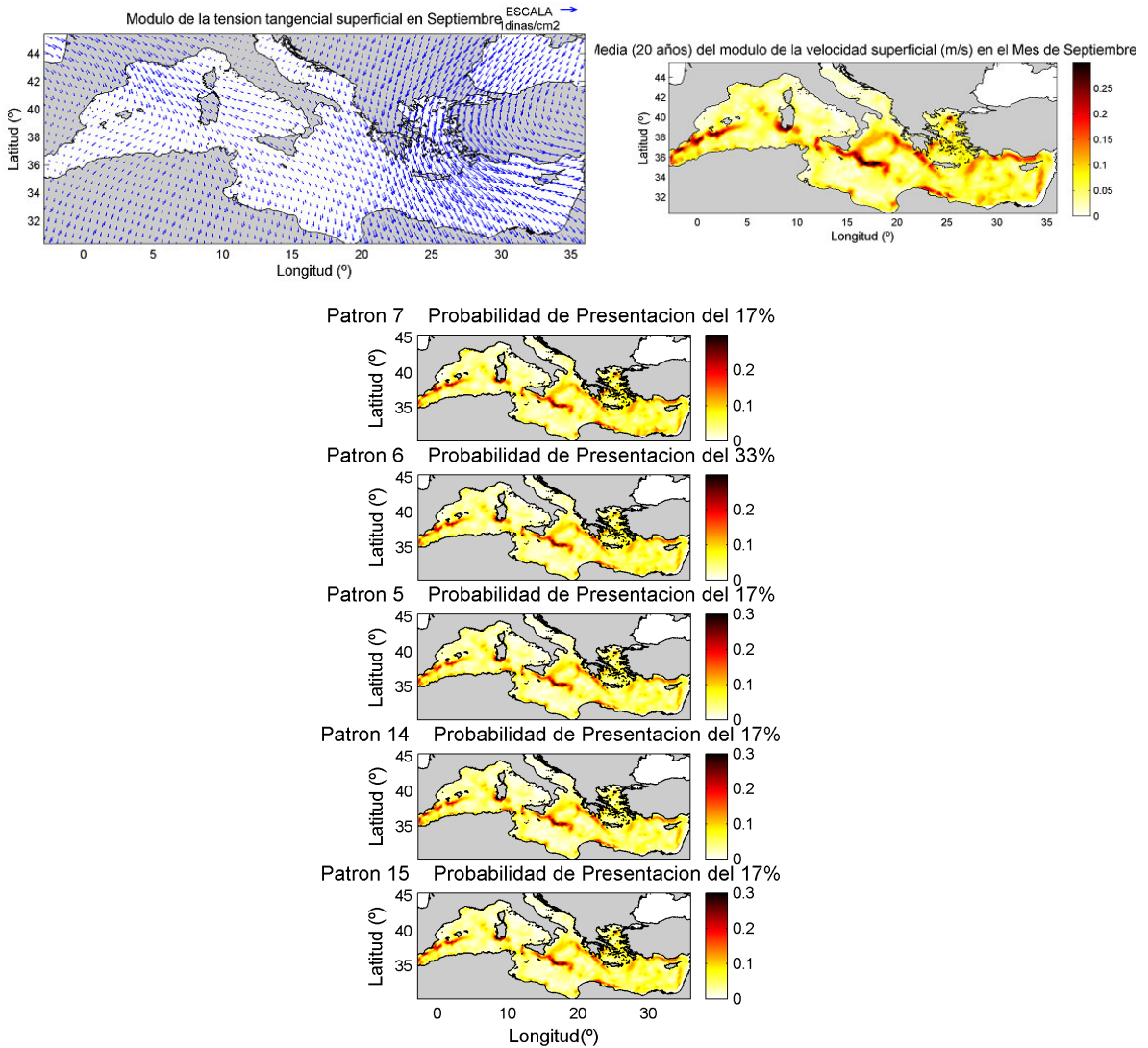


Figura III.9. Tensión tangencial del viento en superficie (dinas/cm²), media (20 años), del modulo de la velocidad superficial (m/s), y patrones oceánicos asociados (m/s), para el mes de septiembre.

Al igual que en el mes de septiembre, la situación atmosférica media de octubre puede generar cinco patrones de los cuales el segundo, tercero, cuarto y quinto presentan una probabilidad de ocurrencia del 17%, mientras que el primer patrón tiene una probabilidad de presentación del 33% (figura III.10).

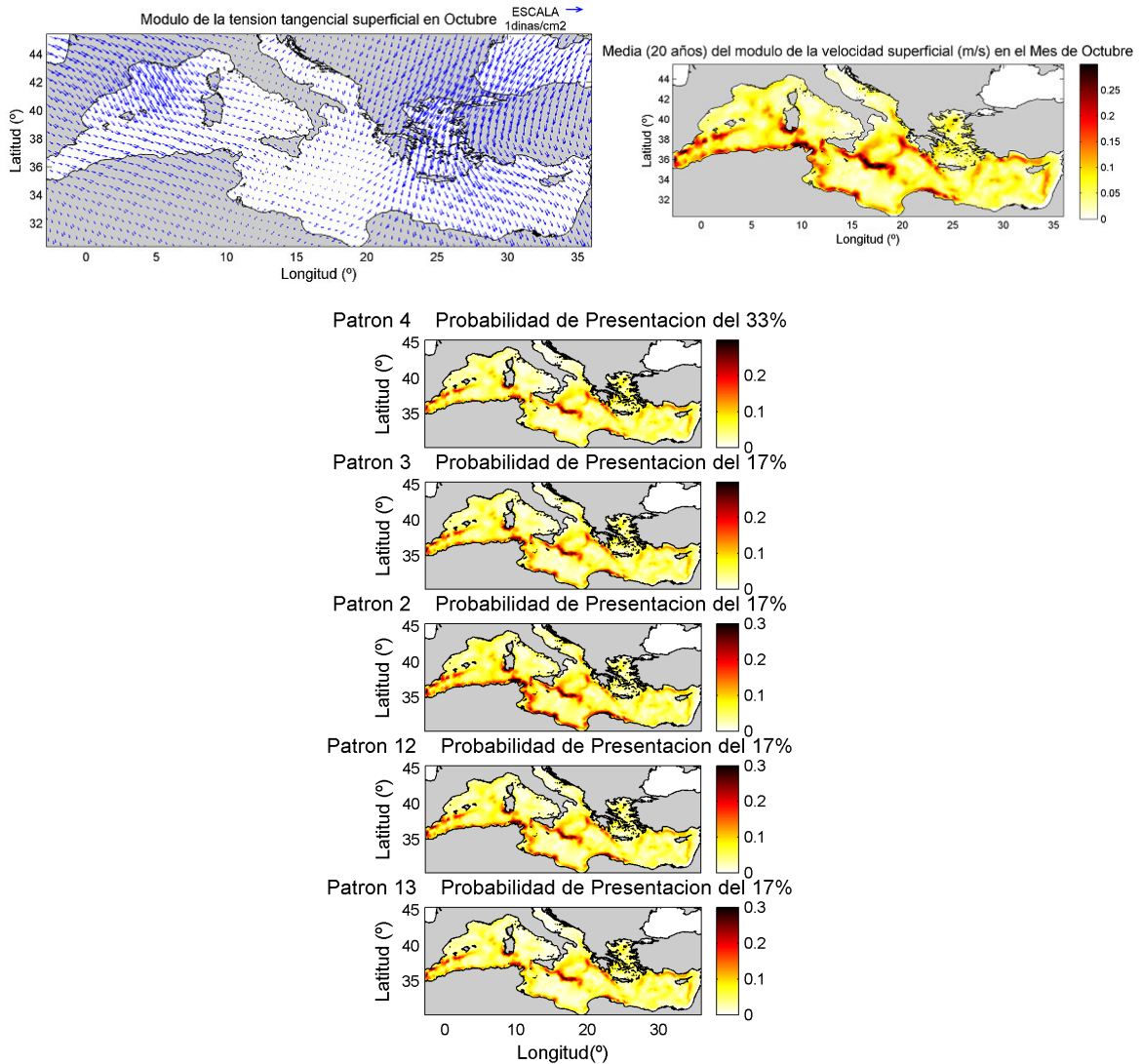


Figura III.10. Tensión tangencial del viento en superficie (dinas/cm²), media (20 años), del modulo de la velocidad superficial (m/s), y patrones oceánicos asociados (m/s), para el mes de octubre.

En el mes de noviembre, se pueden dar cuatro patrones oceánicos a partir de la situación atmosférica media (figura III.11). Tanto el primer patrón como el tercero tienen una probabilidad de ocurrencia del 33%, mientras que el segundo y cuarto patrón presentan una probabilidad de presentación del 17%.

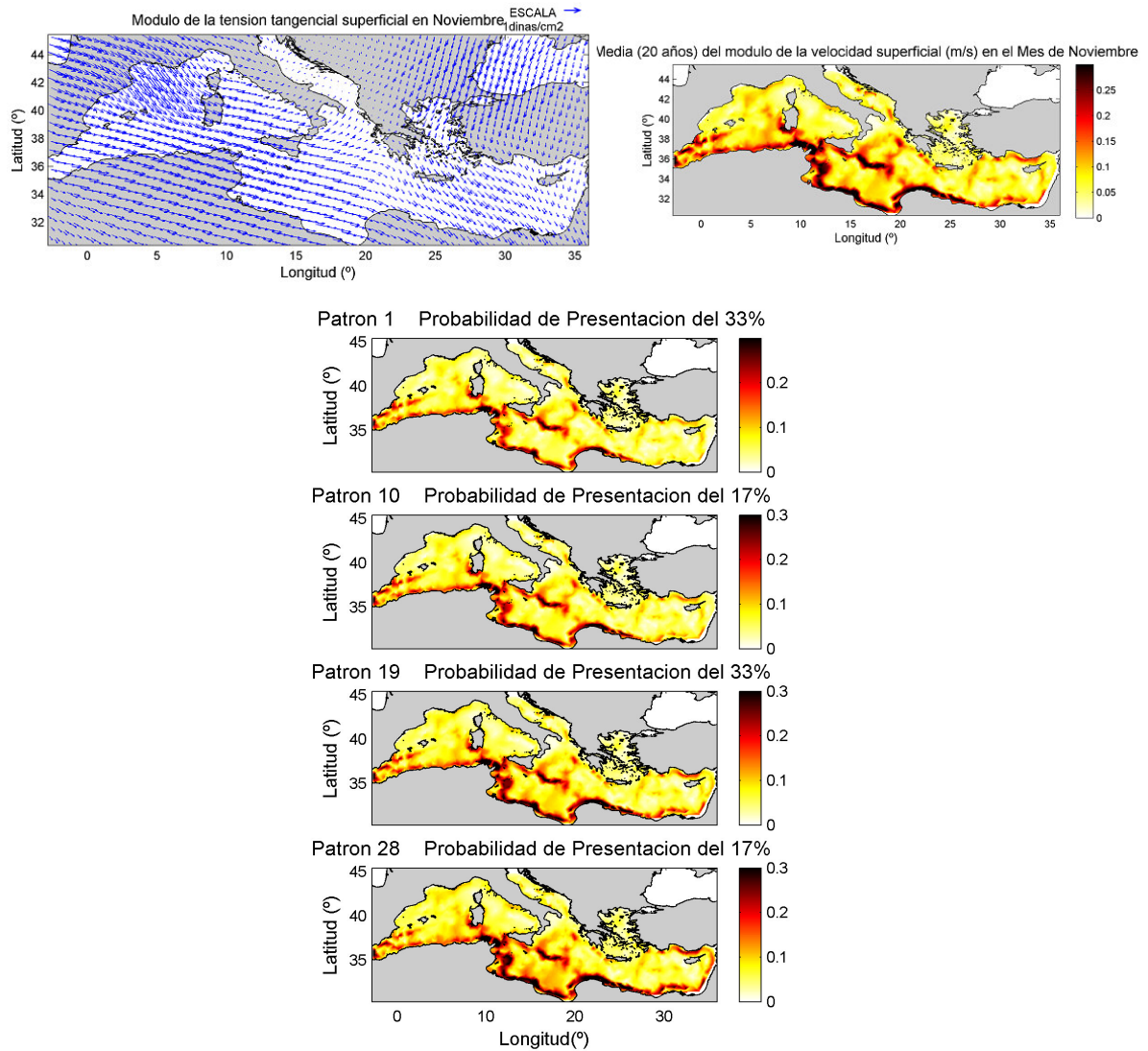


Figura III.11. Tensión tangencial del viento en superficie (dinas/cm²), media (20 años), del modulo de la velocidad superficial (m/s), y patrones oceánicos asociados (m/s), para el mes de noviembre.

El mes de diciembre, presenta los mayores valores medios del modulo de la velocidad superficial de la corriente, 0.73 m/s, y de la tensión tangencial del viento, 0.11 dinas/cm². Presenta 4 patrones oceánicos de los cuales el primero y el cuarto, tienen una probabilidad de ocurrencia del 17%, mientras que el segundo y el tercer patrón presentan una probabilidad de ocurrencia del 33% (Figura III.12). El cuarto patrón (17% de probabilidad de ocurrencia), presenta unos valores mucho más bajos que el resto de los patrones oceánicos aun siendo el valor del forzamiento atmosférico máximo dentro de todos los meses. Esto muestra que los datos analizados presentan una importante variabilidad.

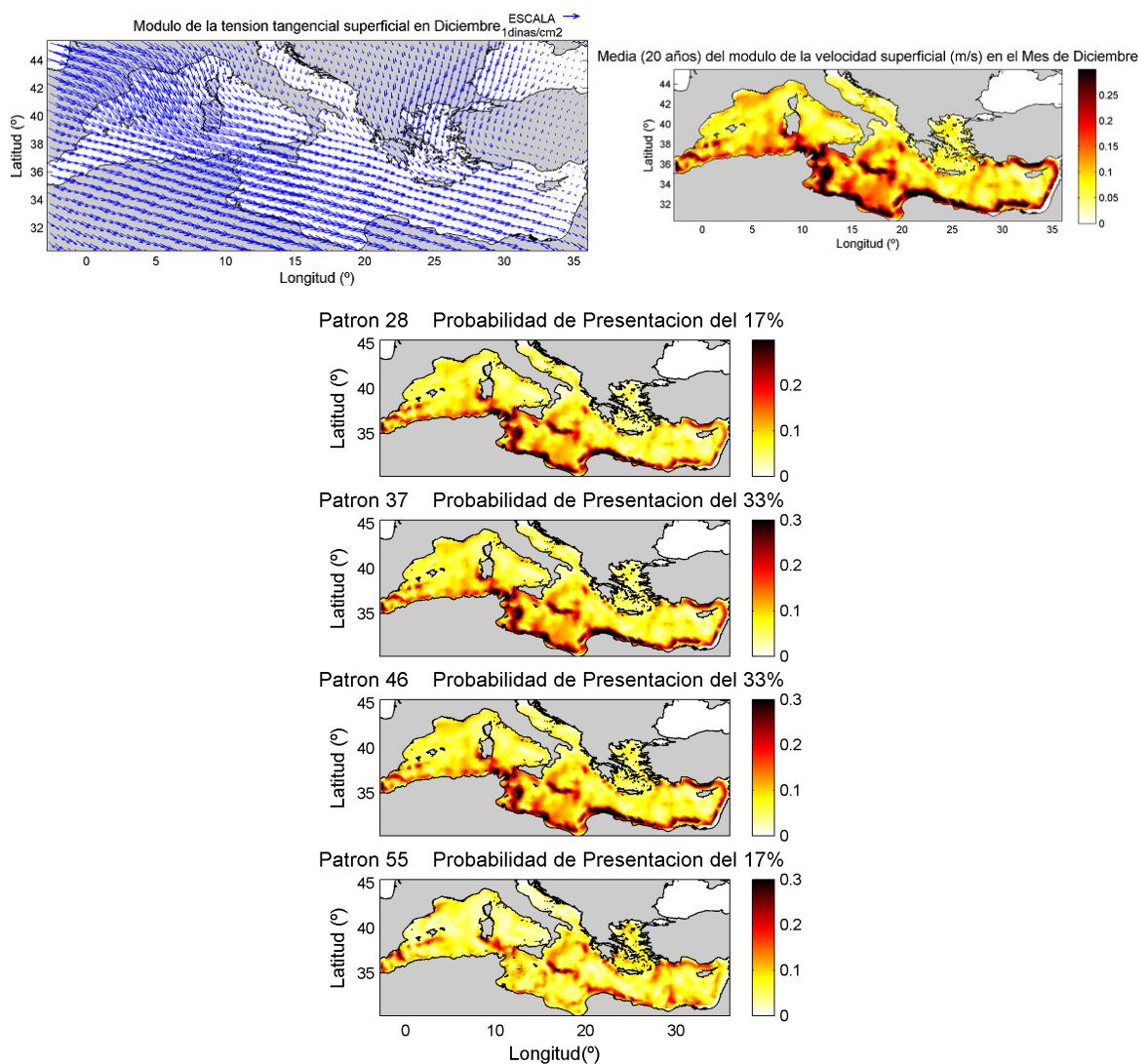


Figura III.12. Tensión tangencial del viento en superficie (dinas/cm²), media (20 años), del modulo de la velocidad superficial (m/s), y patrones oceánicos asociados (m/s), para el mes de diciembre.