

## El programa de monitorización RADMED “Series temporales de datos oceanográficos en el Mediterráneo” (2007-2015) en el mar de Alborán

### *The RADMED monitoring program (2007-2015) in the Alboran Sea*

M.C. García-Martínez (1), F. Moya (1), M. Vargas-Yáñez (1), M. Serra (2), J.L. López-Jurado (2), R. Balbín(2).

(1) Instituto Español de Oceanografía. Centro Oceanográfico de Fuengirola.

(2) Instituto Español de Oceanografía. Centro Oceanográfico de Baleares.

#### Abstract:

Earth is in permanent change, either by nature or by human-induced disturbances. Therefore long-term ocean observations are necessary (Vargas *et al.* 2010).

The IEO Mediterranean environmental monitoring program RADMED (Radiales del Mediterráneo) was funded by Instituto Español de Oceanografía and aimed at the multidisciplinary study of the Spanish Mediterranean water. RADMED program was initiated in 2007. A macro scale multidisciplinary description from the Alboran to the Catalan Sea, including the Balearic Channels is carried out. Physical, chemical and biological variables are sampled along a complete seasonal cycle. This paper focuses on data and results obtained from the beginning of Radmed program, in a particular area such as the North Alboran Sea.

**Keywords:** multidisciplinary description, macro scale, seasonal cycle North Alboran Sea.

## 1. INTRODUCTION

El clima del planeta es algo en continuo cambio, ya sea por su propia naturaleza o por las alteraciones inducidas por el hombre. Es por ello que su estudio tiene que ser continuado en el tiempo y en constante revisión (Vargas *et al.* 2010).

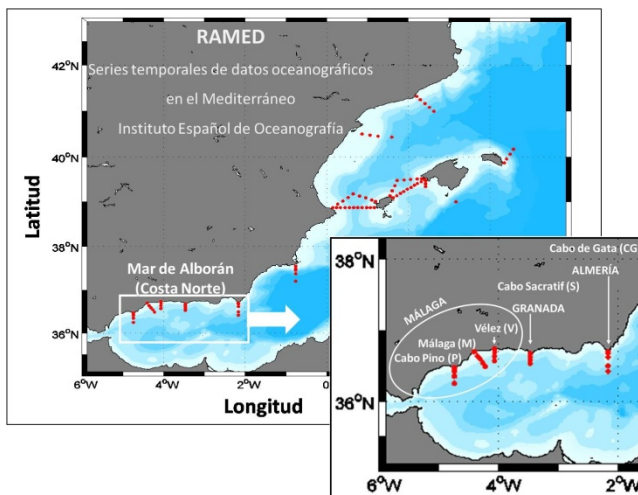


Figura 1. Área de estudio. Los puntos en rojo se corresponden a cada una de las estaciones de muestreo.

El Instituto Español de Oceanografía (IEO) fundó en 2007 el programa RADMED (Radiales del Mediterráneo) para la observación multidisciplinar y a macroescala del litoral mediterráneo de la península y

de las islas Baleares (fig. 1), realizándose a través de éste, una recogida sistemática y de duración indefinida de datos oceanográficos. RADMED amplía la cobertura espacial de los programas que existían anteriormente para cubrir zonas de interés ecológico y amplía también el muestreo hacia mar abierto.

Esta observación multidisciplinar tiene como objetivo hacer una descripción de las variables físicas, químicas y biológicas a lo largo de los ciclos estacionales. De este modo, se estudian las propiedades físicas de las aguas del área de estudio y se identifican las diferentes masas de agua existentes, así como la concentración de nutrientes, de oxígeno disuelto, de clorofilas, la concentración, abundancia y composición taxonómica de las comunidades fitoplanctónicas y zooplanctónicas. Dado que el océano actúa modificando la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera, que éste es el gas invernadero más importante después del vapor de agua y que bajo condiciones naturales las concentraciones de CO<sub>2</sub> disuelto y la alcalinidad total (TA) constituyen las variables de mayor control sobre las concentraciones de CO<sub>2</sub> atmosférico (Zeebe y Wolf-Gladrow, 2001), a este programa base, se le han ido añadiendo medidas de nuevas variables como pH, alcalinidad total y presión parcial del CO<sub>2</sub> tanto en la atmósfera como en el mar. Entender los cambios en estas variables y los flujos de éstas en diferentes escalas temporales es crucial para entender el cambio climático (Sabine *et al.* 2004).

En este estudio nos centraremos en el trabajo realizado y los resultados obtenidos a través del programa Radmed en el área del mar de Alborán desde sus inicios en 2007 hasta la actualidad.

### 1.1 Área de estudio. El mar de Alborán

El Mediterráneo está conectado con el Atlántico a través del Estrecho de Gibraltar. El mar de Alborán es la cuenca más occidental del Mediterráneo, y en muchas ocasiones es denominado como Canal de Alborán, ya que se considera un mar alargado que conecta el Estrecho de Gibraltar con el resto del Mediterráneo Occidental

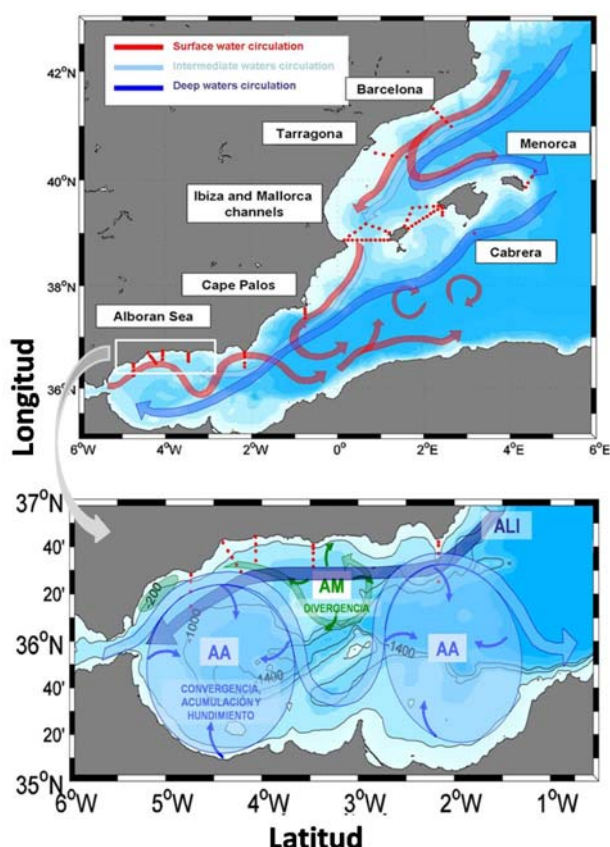


Figura 2. Circulación en el Mediterráneo español (parte superior) y circulación en el mar de Alborán (parte inferior), AA= agua atlántica, AM= agua mediterránea, ALI= masa de agua levantina intermedia.

A través del estrecho, en superficie penetran las aguas atlánticas en dirección Este y hacia el interior del Mediterráneo mientras que, en profundidad se produce la salida de las aguas mediterráneas (fig. 2, parte superior). El flujo de agua atlántica entrante, después de su entrada a través del estrecho de Gibraltar, constituye el denominado “chorro atlántico” y sigue una ruta hacia el este dando lugar a la formación de los dos giros anticiclónicos. El giro anticiclónico occidental abarca casi todo el sector occidental de Alborán y circula de forma casi paralela a la costa española, siguiendo la geometría del talud continental. El segundo giro anticiclónico, situado en la parte oriental del mar de Alborán depende del giro

anticiclónico occidental, de modo que cuando este último está bien desarrollado, llega a afectar a la zona de cabo de Gata (fig. 2, parte inferior). Todo ello hace que el mar de Alborán muestre en un espacio muy reducido grandes contrastes y zonas muy diferenciadas física, y biológicamente. La circulación crea una zona frontal de aguas frías afloradas separadas de otras más cálidas en el interior del giro anticiclónico. Esto hace que la disponibilidad de nutrientes sea muy distinta en una y otra área. La zona del frente y las zonas a resguardo de éste, son zonas de alta producción primaria, mientras que la zona interior del giro es oligotrófica. Las especies dominantes tanto de fito como de ictio y zooplancton son diferentes según consideremos unas u otras zonas, e igualmente el espectro de tamaños varía sensiblemente. Es además una zona donde se ponen de manifiesto las complejas relaciones entre la hidrodinámica y los distintos ecosistemas marinos. El primer y principal factor responsable de esta conexión es el aporte de nutrientes a la capa fótica debido a la formación de frentes (y otros como el viento o fenómenos de mesoescala), pero también hay que considerar otros aspectos, como la capacidad de este sistema de exportar materia orgánica a los fondos marinos.

## 2. MATERIAL Y MÉTODOS

El programa RADMED puede dividirse en 6 fases de trabajo:

1. Campañas oceanográficas, que se llevan a cabo en los buques oceanográficos Odón de Buen y Francisco de Paula Navarro. Se realiza una campaña por cada estación meteorológica cubriendo las radiales y puntos de muestreo que se aprecian en la figura 1. Las medidas o muestreos que se hacen en las estaciones que componen los radiales, se pueden clasificar en varios grupos: hidrográficas: solo con la batisonda CTD con sus sensores acoplados, con ellos se miden las variables de temperatura, salinidad, densidad, fluorescencia, concentración de oxígeno o turbidez; muestreos multidisciplinares: que incluyen la toma de muestras de agua con botellas Niskin. Estas muestras se preparan para el posterior análisis en laboratorio de tierra (abundancia y composición del microfitoplancton, nano y pico plancton, bacterioplancton, salinidad, concentración de oxígeno, nutrientes, alcalinidad, óxido nitroso, metano) o se analizan a bordo por medio de sensores (pH) o de valoradores (alcalinidad, concentración de oxígeno). Otros tipos de muestreo lo constituyen las pescas de zooplancton, y las medidas tomadas con instrumentación autónoma como el SUNDANS -Surface UNderway carbon Dioxide partial pressure ANalySer- para medir la presión parcial de CO<sub>2</sub> en agua y atmósfera.

Como puede verse en la figura 1, en el mar de Alborán se realizan 5 transectos que de oeste a este son: la radial de Cabo Pino (P), la radial de Málaga (M), la de Vélez (V), la de Cabo Sacratif (S) y la de Cabo de Gata (CG), con las estaciones y profundidades que puede verse en la siguiente tabla (tabla I).

| Radial                  | Estación | Profundidad (m) |
|-------------------------|----------|-----------------|
| Radial de Cabo Pino     | P1       | 30              |
|                         | P2       | 130             |
|                         | P3       | 530             |
|                         | P4       | 870             |
| Radial de Málaga        | M1       | 20              |
|                         | M2       | 75              |
|                         | M3       | 200             |
|                         | M4       | 350             |
|                         | M5       | 500             |
| Radial de Vélez         | V1       | 20              |
|                         | V2       | 75              |
|                         | V3       | 300             |
|                         | V4       | 490             |
| Radial de Cabo Sacratif | S1       | 200             |
|                         | S2       | 300             |
|                         | S3       | 500             |
|                         | S4       | 650             |
|                         | S5       | 750             |
| Radial de Cabo Gata     | CG1      | 50              |
|                         | CG2      | 75              |
|                         | CG3      | 100             |
|                         | CG4      | 700             |
|                         | CG5      | 1130            |

Tabla I. Radiales y estaciones que se muestrean en el mar de Alborán durante las campañas del programa RADMED.

## II. Trabajo de laboratorio

III. Recogida y procesado los datos y de otra información ("externa") como imágenes de satélite, datos meteorológicos, boyas oceanográficas, bases de datos de otros proyectos.

IV. Almacenamiento de datos en Bases de Datos como SIRENO (Seguimiento Integrado de los Recursos Naturales Oceánicos)

## V. Elaboración de los resultados

## VI. Publicaciones y difusión

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Desde que se inició el programa RADMED se han realizado 26 campañas (tabla II).

| Campaña<br>Año | invierno | primavera | verano | otoño |
|----------------|----------|-----------|--------|-------|
|                | 2007     |           |        | X     |
| 2008           | X        | X         | X      | X     |
| 2009           | X        | X         | X      | X     |
| 2010           | X        | X         | X      | X     |
| 2011           | X        | X         | X      | X     |
| 2012           | X        |           |        |       |
| 2013           | X        |           |        | X     |
| 2014           | X        |           |        | X     |
| 2015           | X        | X         | X      |       |

Tabla II. Campañas Radmed realizadas hasta la actualidad.

A lo largo de estas campañas se han muestreado un total de 598 estaciones en las radiales del mar de Alborán que suponen un total de 598 perfiles hidrológicos, se han recogido 3388 muestras para análisis de las concentraciones de nutrientes, 2669

muestras para el análisis de clorofilas, 1861 muestras para conocer la abundancia y taxonomía del fitoplancton de diferente tamaño, y se han realizado 229 arrastres para obtener muestras que nos permitan conocer la abundancia y taxonomía del zooplancton en esta zona.

A partir del año 2010, se comenzó a medir pH y alcalinidad, se han analizado un total de 437 muestras de cada una de estas dos variables para conocer el sistema de los carbonatos y desde el año 2012 se está poniendo a punto el SUNDANS.

Estas muestras están casi todas analizadas (exceptuando algunas variables, por contratiempos) y muchos de los datos han sido analizados hasta casi la actualidad de modo que, parte de los resultados de estos análisis han sido o van a ser próximamente publicados.

Los resultados que se obtienen de este programa junto con los datos procedentes de otros proyectos permiten el desarrollo de estudios relacionados con ciclos anuales de diferentes variables, estudiar su variabilidad estacional e interanual, describir gradientes espaciales plataforma-talud, estudiar el transporte e intercambio del mar de Alborán con otras cuencas, tendencias en las variables analizadas, posibles cambios en ellas, así como estudios medio-ambientales y ecológicos de diversas especies.

Los resultados de este programa sirven para completar bases de datos como SIRENO o MEDAR (Mediterranean Data Archaeology and Rescue), participar en proyectos como EDMONET (Red europea de observación y datos marinos) o en otros más locales como DESMMON (Estudio y desarrollo de un sistema de monitorización multidisciplinar en el Mediterráneo occidental), RECALA (Estudio previo para la determinación de una reserva de pesca en el área marítima de los términos municipales de Calahonda-Castell de Ferro), TESELA (Transporte de sedimentos en la plataforma continental de Andalucía oriental: observación multiescalar, modelado y simulación numérica), SUBVENT2 (Emisiones submarinas de fluidos en los márgenes continentales de las Islas Canarias y del Golfo de Cádiz: morfología y naturaleza de las emisiones), ó STOCA (Series Temporales de datos Oceanográficos en el Golfo de Cádiz), también la publicación de trabajos directamente relacionados con las variables estudiadas (Vargas-Yáñez *et al.*, 2008, Vargas-Yáñez *et al.*, 2009b y c, Vargas-Yáñez *et al.*, 2010a y b, y Zunino *et al.*, 2009), con otros ecosistemas marinos como el bentos (Marina *et al.*, 2015) o con especies de interés pequeño afectadas por las variables que se analizan en RADMED (García-Ruiz *et al.*, 2015; González *et al.*, 2015; Vargas-Yáñez *et al.*, 2009a).

El programa Radmed en el mar de Alborán también pone a disposición de otros organismos y empresas la

información que genera y realiza su difusión al público en general a través de la página WEB <http://www.ma.ieo.es/gcc/>, colabora en las jornadas de puertas abiertas que se llevan a cabo en el Centro Oceanográfico de Málaga, recibe todos los años a alumnos de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Málaga así como también se desplaza a colegios e institutos para realizar actividades de difusión de las Ciencias Marinas.

#### 4. CONCLUSIONES

La extensión espacial y temporal de los muestreos del programa RADMED en el mar de Alborán permite cubrir eventos oceanográficos en todas las estaciones del año y en años sucesivos, permitiendo discriminar entre distintas fuentes de variabilidad temporal. Proporcionan información que es utilizada para el estudio de los recursos biológicos y su dependencia de las variables físicas y químicas, y es esencial para proporcionar la información necesaria en descripciones y evaluaciones ambientales de la zona, sirviendo además, para alimentar modelos matemáticos.

#### Acknowledgements

Este trabajo es producto del programa RADMED (financiado por el Instituto Español de Oceanografía).

Se agradece al proyecto TESELA (Proyecto de Excelencia de la Junta de Andalucía - Referencia P11-RNM7069), la participación de parte de los autores de esta contribución en el VIII Simposio sobre el Margen Ibérico Atlántico MIA15.

Se agradece la colaboración prestada en las campañas por la tripulación de los B/O Odón de Buen y Francisco de Paula Navarro.

#### REFERENCES

- García-Ruiz, C., Lloris, D., Rueda, J.L., García-Martínez, M.C. y Gil de Sola, L. (2015). Spatial distribution of ichthyofauna in the northern Alboran Sea (western Mediterranean). *Journal of Natural History*, 49: 19-20.
- González, M., Barcala, E., Pérez-Gil, J.L., Carrasco, N., García-Martínez, M.C. (2011). Fisheries and reproductive biology of *Octopus vulgaris* (Mollusca: Cephalopoda) in the Gulf of Alicante (Northwestern Mediterranean). *Mediterranean Marine Science*, 12 (2): 369-389.
- Marina, P., Rueda, J.L., Urra, J., Salas, C., Gofas, S., García Raso, J.E., Moya, F., García, T., López-González, N., Laiz-Carrión, R. y Baro, J. (2015). Sublittoral soft bottom assemblages within a Marine Protected Area of the northern Alboran Sea. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 1-14.

- Sabine, C.L., Feely, R.A., Gruber, N. et al. (2004). The Oceanic Sink for Anthropogenic CO<sub>2</sub>. *Science* 305, 367. DOI: 10.1126/science.1097403
- Vargas-Yáñez, M., García, M.J., Salat, J., García-Martínez, M.C., Pascual, J., Moya, F. (2008). Warming trends and decadal variability in the western Mediterranean shelf. *Global and Planetary Change*, 63 (177-184).
- Vargas-Yáñez, M., García, M.J., Moya, F. et al. (2010a). *Cambio Climático en el Mediterráneo español*. Segunda edición actualizada. Instituto Español de Oceanografía (Ed.), ISBN: 978-84-95877-48-2, 176 pp., Madrid
- Vargas-Yáñez, M., Moya, F; García-Martínez, M.C.; Rey, J., González, M., Zunino, P. (2009a). Relationships between *Octopus vulgaris* landings and environmental factors in the northern Alboran Sea: an attempt to develop a predictive model. *Fisheries Research*, 99: 159-167.
- Vargas-Yáñez, M., Moya, F., García-Martínez, M.C., Tel, E., Zunino, P., Plaza, F., Salat, J., Pascual, J.L., Serra, M. (2009b). Climate Change in the Western Mediterranean Sea: 1900-2008. *Journal of Marine Systems*. doi: 10.1016/j.jmarsys.2010.04.013
- Vargas-Yáñez, M., Moya, F, Tel, E., García-Martínez, M.C., Guerber, E., Bourgeon, M. (2009c) Warming and salting of the Western Mediterranean during the second half of the XX century: Inconsistencies, unknowns and the effect of data processing. *Scientia Marina*, 73(1): 7-28
- Vargas-Yáñez, M., Zunino, P., Benali, A., Delpy, M., Pastre, F., Moya, F., García-Martínez, M.C. y Tel, E. (2010b). How much is the Western Mediterranean really warming and salting? *Journal of Geophysical Research*, 115. doi: 10.1029/2009JC005816
- Zeebe, R. and Wolf-Gladrow, D. (2001). CO<sub>2</sub> in seawater: equilibrium, kinetics, isotopes, Elsevier Oceanography Series, 65.
- Zunino P., Vargas-Yáñez, M., Moya, F., García-Martínez, M.C. y Plaza, F. (2009). Deep and intermediate warming in the western Mediterranean: Water mass changing and heaving. *Geophysical Research Letters*, 36. doi: 10.1029/2009GL039578.