



ESTRATEGIA MARINA
DEMARCACIÓN MARINA DEL ESTRECHO Y ALBORÁN
PARTE I. MARCO GENERAL
EVALUACIÓN INICIAL Y BUEN ESTADO AMBIENTAL



Madrid, 2012



ESTRATEGIAS MARINAS: EVALUACIÓN INICIAL, BUEN ESTADO AMBIENTAL Y OBJETIVOS AMBIENTALES

AUTORES DEL DOCUMENTO

Instituto Español de Oceanografía

- Jorge Baro
- Víctor Díaz del Río
- Juan Tomás Vazquez
- Luís Miguel Fernández
- D. Palomino
- P. Bárcenas
- N. Lopez
- Dolores Cortés
- Jesús M. Mercado
- José Benedicto
- Juan A. Campillo
- Carlos Guitart
- Concepción Martínez-Gómez
- Víctor M. León
- Santiago Lens
- Juan Bellas
- Demetrio de Armas

COORDINACIÓN INSTITUTO ESPAÑOL DE OCEANOGRAFÍA (IEO)

Demetrio de Armas

Juan Bellas

Asistencia Técnica TRAGSATEC S.A.:

- Aitor Freire
- Carmen Díaz

COORDINACIÓN GENERAL MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE (DIVISIÓN PARA LA PROTECCIÓN DEL MAR)

José Luis Buceta Miller

Felipe Martínez Martínez

Ainhoa Pérez Puyol

Sagrario Arrieta Algarra

Jorge Alonso Rodríguez

Ana Ruiz Sierra

Javier Pantoja Trigueros

Mónica Moraleda Altares

Víctor Escobar Paredes



MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE

Edita:

© Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente
Secretaría General Técnica
Centro de Publicaciones

Catálogo de Publicaciones de la Administración General del Estado:

<http://publicacionesoficiales.boe.es/>

NIPO: 280-12-175-8



ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN	1
2.	CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS	3
2.1.	Topografía y Batimetría.....	3
2.1.1.	Principales Rasgos: ríos y cañones	9
2.2.	Meteorología	10
2.2.1.	Régimen atmosférico, campos de viento, temperaturas y pluviosidad	10
2.2.2.	Oleaje	12
2.3.	Hidrografía y Circulación	12
2.3.1.	Aguas superficiales: Propiedades termohalinas y estacionalidad	12
2.3.2.	Masas de Agua	13
2.3.3.	Circulación	15
2.3.3.1.	Dinámica General	15
2.3.3.2.	Procesos costeros y de mesoescala	18
2.3.3.3.	Afloramientos.....	18
2.3.3.3.	Mareas.....	20
2.4.	Distribución de nutrientes y oxígeno	21
2.5.	Dióxido de carbono y Acidificación	22
2.6.	Sustancias químicas peligrosas	23
3.	CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICAS.....	29
3.1.	Hábitats	29
3.1.1.	Ecosistema pelágico	30
3.1.2.	Ecosistema bentónico y demersal.....	33
3.1.2.1.	Sustratos blandos	33
3.1.2.2.	Sustratos rocosos	35
3.1.3.	Hábitats protegidos.....	38
3.2.	Especies	39
3.2.1.	Fitoplancton y zooplancton.....	39
3.2.2.	Peces.....	40
3.2.2.1.	Peces pelágicos.....	40
3.2.2.2.	Peces bentónicos y demersales	41
3.2.3.	Mamíferos marinos	41
3.2.4.	Reptiles marinos.....	43
3.2.5.	Aves marinas	43
3.2.6.	Especies protegidas.....	44
3.2.7.	Especies alóctonas.....	45
3.3.	Principales stocks pesqueros.....	46
4.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58



I. MARCO GENERAL: CARACTERÍSTICAS DE LA DEMARCACIÓN MARINA DEL ESTRECHO Y ALBORÁN

1. INTRODUCCIÓN

La presente Demarcación, que se extiende desde el cabo Espartel (norte de África) pasando por el estrecho de Gibraltar hasta el mar de Alborán, incluyendo las islas Chafarinas, el islote de Perejil, Peñones de Vélez de la Gomera y Alhucemas, la isla de Alborán y las aguas que bañan las ciudades autónomas de Ceuta y Melilla, se sitúa en la parte más occidental del mar Mediterráneo.

El mar de Alborán es un espacio marítimo con características muy particulares (Figura 1.1). Es la entrada y salida del mar Mediterráneo y punto de contacto entre el continente africano y el europeo, hecho que le confiere unas condiciones singulares que derivan en una riqueza natural excepcional. Además, es paso obligado de numerosos animales migratorios (terrestres y marinos) y ruta de paso del transporte marítimo entre el océano Atlántico y el mar Mediterráneo, por lo que se puede considerar sin duda como una zona de gran importancia a nivel geopolítico, estratégico y científico.



Figura 1.1. El mar de Alborán desde el estrecho de Gibraltar. Foto: NASA.



Existen unos límites generalmente aceptados del mar de Alborán, que serían los comprendidos entre el estrecho de Gibraltar (Tarifa) y una línea que uniría el cabo de Gata en Almería (España) con el cabo Fégalo en Orán (Argelia). En conjunto, la franja de litoral que constituye su parte norte (de Gibraltar al cabo de Gata) alcanza unos 570 km de longitud. En su parte sur, la franja litoral en Marruecos (de Tánger a la frontera con Argelia) alcanza los 540 km, a los que habría que añadir alrededor de 120 km correspondientes al litoral argelino hasta cabo Fégalo, más las islas e islotes en su interior (isla de Alborán, islas Chafarinas, etc.). Su superficie global es del orden de los 57.000 km². Es la antesala de transición entre el mar Mediterráneo y el océano Atlántico, donde se produce la coincidencia de masas oceánicas de distinta salinidad y temperatura y se puede considerar como el motor hidrológico del Mediterráneo occidental. La poca profundidad del estrecho de Gibraltar, menor de 300 m en el denominado Umbral de Camarinal, es un rasgo topográfico determinante en el funcionamiento del ecosistema marino de Alborán. Dada la importancia de sus ecosistemas y de su biodiversidad, también es considerado el motor dinámico de la biodiversidad del Mediterráneo occidental.



2. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS

2.1. Topografía y Batimetría

El mar de Alborán es una cuenca generada en el interior del Sistema Orogénico del Arco de Gibraltar. Se desarrolló como consecuencia de la migración hacia el oeste de una microplaca (Dominio de Alborán) hace aproximadamente entre 30 y 9 M.a. (Platt *et al.*, 2007). El movimiento de este bloque lo llevó a colisionar con los márgenes tanto de la placa de Iberia como de la de África. El resultado de esta colisión fue la formación del Arco Orogénico Alpino, que incluye, en su parte externa, a las cordilleras de las Béticas y del Rift y su extensión hacia el oeste en el Golfo de Cádiz, mientras que en su parte interna se generó una cuenca marina como consecuencia del progresivo adelgazamiento, hacia el este, de la corteza continental del Dominio de Alborán a medida que éste se movía hacia el oeste.

Por lo tanto, desde el punto de vista geológico la cuenca del mar de Alborán se caracteriza por la influencia de tres factores principales, en primer lugar, está situada en el interior del cinturón orogénico, la Cordillera Bético-Rifeña o Arco de Gibraltar, cuyas unidades internas metamórficas constituyen su basamento; en segundo lugar, se encuentra en la región donde interaccionan actualmente las placas de Iberia y África, lo cual confiere a la región una importante actividad tectónica y sísmica; y en tercer lugar, esta región constituye la zona de intercambio entre las masas de agua del océano Atlántico y el mar Mediterráneo por medio del estrecho de Gibraltar, que funciona como tal desde el Plioceno inferior. Este último factor tiene como consecuencia el desarrollo de una importante dinámica oceanográfica en la Demarcación (Vázquez, 2005). La convergencia de estos tres factores ha generado una gran actividad geológica que ha controlado la fisiografía de este mar, tanto desde el punto de vista tectónico con importantes deformaciones (Vázquez *et al.*, 2008), como del sedimentario con el desarrollo de sistemas sedimentarios muy activos.

En el mar de Alborán se han diferenciado tres dominios fisiográficos (Figuras 2.1 y 2.2): márgenes circundantes, cuencas profundas y altos estructurales, que no siguen los esquemas clásicos de márgenes continentales (plataforma, talud, ascenso continental y llanura abisal adyacente), si bien, pueden ser considerados como sus equivalentes morfológicos (Alonso y Maldonado, 1992; Vázquez, 2005), constituyéndose el estrecho de Gibraltar como un cuarto dominio en sí mismo.

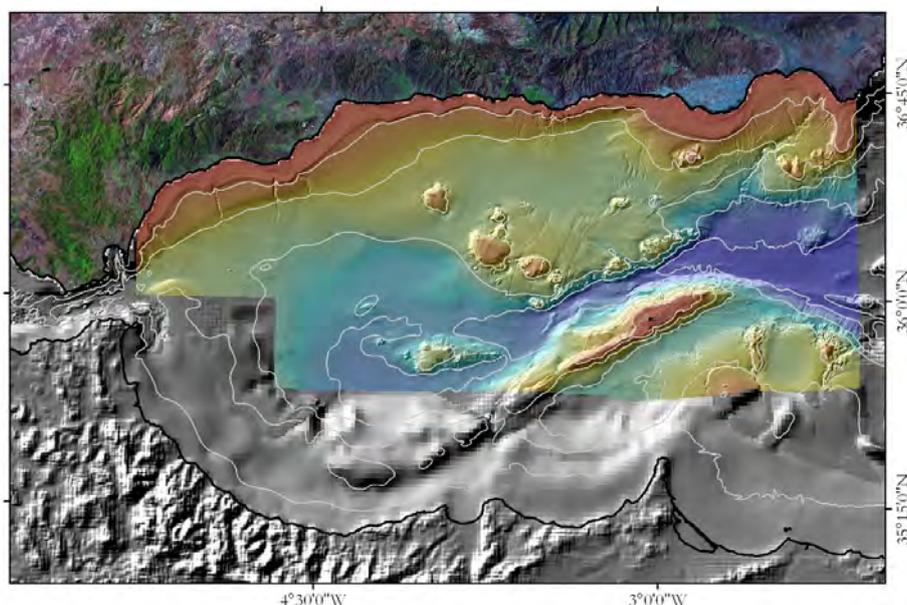


Figura 2.1. Base batimétrica del estrecho de Gibraltar y el mar de Alborán. Datos procedentes de la base de datos de SECEG y de la Secretaría General del Mar, completada con las bases de datos MediMed, GEBCO y ETOPO.

Los márgenes circundantes se subdividen en tres sectores morfológicos bien diferenciados que, según aumenta la profundidad, son: litoral submarino, plataforma continental y talud continental, incluyendo este tanto la base del talud como las diversas plataformas marginales que se desarrollan en este último sector.

El litoral submarino y la plataforma continental presentan características similares en toda la cuenca y se caracterizan por la variedad de tipos morfológicos que contienen. En el dominio infralitoral destacan los cuerpos prodeltaicos, desarrollados en relación con las principales desembocaduras fluviales (Fernández Salas *et al.*, 2007, 2009). La plataforma es estrecha y su anchura está comprendida entre 4 y 14 km, alcanzándose localmente anchuras próximas a 20 km en relación con la presencia de importantes acumulaciones sedimentarias procedentes de las áreas emergidas, como sucede en la plataforma de Málaga debido a los aportes procedentes de los ríos Guadalmedina y Guadalhorce. Aunque en ocasiones estos máximos están relacionados con la presencia de altos estructurales y/o volcánicos, como ocurre en el promontorio situado frente al cabo de Gata.

El talud continental es el sector morfológico más significativo de la cuenca y donde mejor ha quedado reflejada la actividad tectónica. Se han diferenciado tres tipos de taludes, basándose en la inclinación y en las irregularidades que presentan, y que han sido utilizados para diferenciar respectivamente los tipos de márgenes: abrupto, escalonado o intermedio y progresivo (Vázquez, 2001).

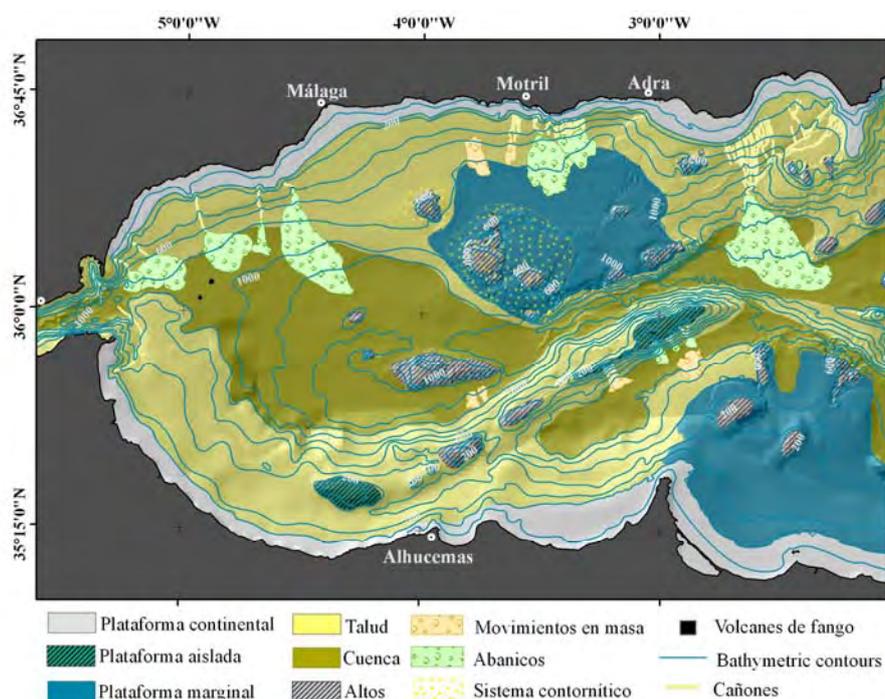


Figura 2.2. Principales elementos de la fisiografía de la cuenca del mar de Alborán, modificados de Vázquez (2001), Vázquez *et al.* (2004) y Palomino *et al.* (2010).

El talud está disectado por cañones y, en relación con su desembocadura, se han localizado sistemas turbidíticos de distinta entidad (Alonso y Ercilla, 2003). En el sector occidental suelen presentar pequeñas longitudes (<10 km) y orientación NO-SE, destacándose los cañones de La Línea, de Guadiaro, del Placer de las Bóvedas, de Torrenueva y de Fuengirola. En el sector central se desarrolla un importante sistema de cañones submarinos en el talud superior y medio (cañones de Motril y Sacratif) de orientación N-S y longitudes comprendidas entre 8 y 12 km, de forma que el sistema de depósito asociado se apoya sobre la Plataforma Marginal de Djibouti-Motril. Finalmente, en la zona más oriental del mar de Alborán cabe destacar el Cañón de Almería, con una longitud próxima a 75 km y una dirección NE-SO, claramente controlada por la tectónica (Cronin, 1995; García *et al.*, 2006). Este cañón evoluciona en la cuenca a una compleja serie de abanicos distales. En el margen meridional se debe mencionar la presencia del Cañón de Ceuta (Tesson *et al.*, 1987), así como la de varios cañones que surcan las laderas meridional y septentrional de la Dorsal de Alborán (Figura 2.3): cañones Alboraní y Piedra Escuela (Bárceñas, 2002).

Las *cuencas profundas* son depresiones batimétricas limitadas por los márgenes y los altos estructurales, y aparecen ligeramente basculadas hacia el este. Al norte de la Dorsal de Alborán se identifican tres cuencas cuyo fondo se encuentra a distinta profundidad: Occidental, Central o Canal de Alborán y Oriental; mientras que al sur destaca la presencia de la Cuenca Meridional, situada en una posición intermedia en el talud. Se trata de áreas



sedimentarias activas que presentan una configuración agradante, así como el desarrollo de diversos sistemas turbidíticos.

La Cuenca Occidental tiene geometría sigmoidal en planta y presenta un perfil cóncavo asimétrico, con las mayores pendientes localizadas en la parte meridional y su fondo suavemente inclinado hacia el este y hacia el sur. Sus mayores profundidades (en torno a 1.500 m) se alcanzan en su parte meridional frente al talud africano, donde se localiza una pequeña llanura con un gradiente regional inferior a $0,13^\circ$ (Vázquez, 2005). En la parte más occidental de esta cuenca se encuentra el Valle Submarino de Gibraltar, así como los cañones de Ceuta y Algeciras.

La Cuenca Central enlaza las Cuencas Occidental y Oriental, presentando una morfología alargada, con 90 km de longitud según una dirección NE-SO y una anchura media de 14 km, limitada tanto al norte como al sur por fuertes escarpes. La Cuenca Oriental muestra una geometría triangular en planta, abierta hacia el este, que se extiende en continuidad desde la Cuenca Central hasta la zona de transición con la Cuenca Surbalear. Su base se sitúa a profundidades comprendidas entre los 1.800 y 2.000 m, presentando pequeñas pendientes en torno a $0,15^\circ$. Su parte oriental está atravesada por la cresta de Al Mansour, de 25 km de longitud según una dirección NE-SO. La zona de transición con la Cuenca Surbalear aparece como una flexura de dirección NNO-SSE entre los 2.000 y 2.400 m de profundidad, dando lugar a un aumento de la pendiente hacia el este con valores comprendidos entre 2° y $1,5^\circ$ (Vázquez y Vegas, 1996). Por último, la Cuenca Meridional de Alborán se sitúa entre la Dorsal de Alborán y el margen norafricano y se extiende según una dirección NE-SO (Figura 2.3), quedando disectada hacia el noreste por la Falla de Yusuf.

Los *altos morfológicos* tienen un origen fundamentalmente estructural, limitados por fallas de directriz dominante ENE-OSO y NE-SO, y relacionados con edificios volcánicos, elevaciones del zócalo, pliegues o estructuras diapíricas. En el sector occidental del mar de Alborán se eleva una cresta de dirección ONO-ESE, interpretada como un conjunto de edificios volcánicos-Monte submarino de Ibn Batouta (Chalouan *et al.*, 1997).

El sector central se caracteriza por la presencia de numerosos relieves submarinos que, o se desarrollan sobre la Plataforma Marginal de Djibouti-Motril y están relacionados con altos estructurales y/o volcánicos, entre los que destacan los bancos de Avempace, de La Herradura y Djibouti Ville, todos ellos de morfología tabular con la superficie de la cima suavemente inclinada; o bien constituyen la amplia Dorsal de Alborán, que es una compleja estructura constituida por un antiguo eje volcánico que localmente aflora en la propia isla de Alborán junto con bloques del basamento levantados y ejes de plegamiento (Vázquez, 2005).

La Dorsal de Alborán presenta una longitud de unos 200 km según una dirección NE-SO y se extiende entre la Falla de Yusuf al noreste y el Banco de Xauén al suroeste, ya en el margen



norafricano. Presenta flancos escarpados, con pendientes medias comprendidas entre 7° y 17° y desniveles que llegan a 1.500 m para el flanco noroeste y a 1.000 m para el flanco sureste, asociados a fallas transcurrentes y/o inversas (Vázquez, 2001). El Banco de la isla de Alborán presenta en superficie una cumbre tabular más o menos irregular, que pasa a una auténtica cresta hacia el suroeste, y corresponde a una plataforma aislada de superficie irregular, cuyo borde se encuentra aproximadamente entre 100 y 130 m de profundidad, sobre la que se sitúan una serie de crestas y terrazas submarinas (Bárceñas *et al.*, 2004a; Bárceñas *et al.*, 2004b). Este banco interfiere de forma notable en la circulación del patrón hidrodinámico general. Al sur y sureste de la isla se ha observado la presencia de dos cañones submarinos, denominados Al Borani y Piedra Escuela, así como un tercero al noreste de la isla conocido como Cañón Castor. Los situados al sur, en la Cuenca Meridional, presentan claramente en su desembocadura el desarrollo de sistemas sedimentarios turbidíticos.

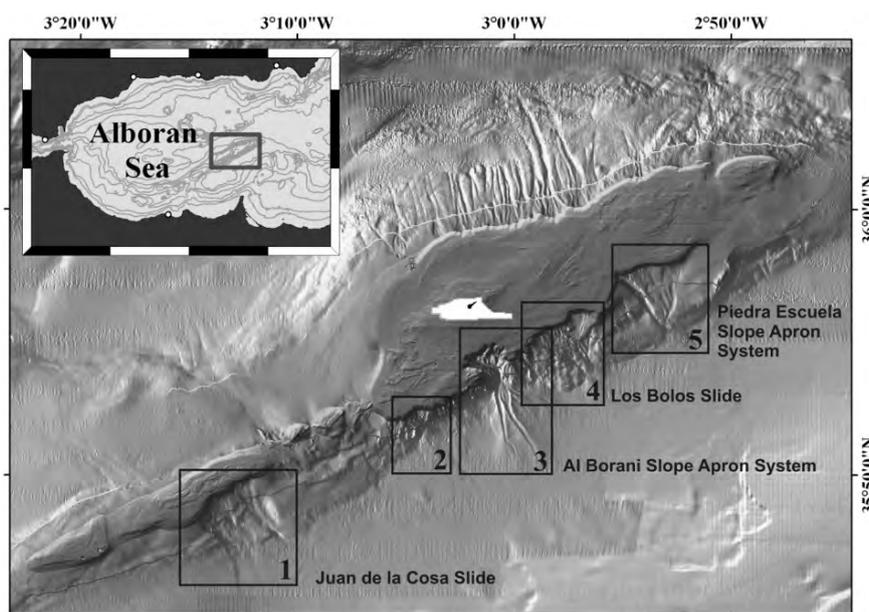


Figura 2.3. Distribución de los sistemas sedimentarios originados por movimientos en masa diferenciados en el flanco meridional de la Dorsal de Alborán (tomado de Vázquez *et al.*, 2010).

Finalmente, el sector oriental muestra en su margen norte diversas elevaciones submarinas relacionadas con edificaciones volcánicas: el Banco de Chella (Seco de los Olivos), de morfología casi circular, los bancos de Pollux y de Sabinar, el Promontorio del cabo de Gata, sobre el que se ha desarrollado una plataforma carbonatada, y la Cresta de Los Genoveses, constituida por una alineación de montes submarinos de pequeña entidad situados sobre el talud continental con orientación NE-SO.



Los dominios fisiográficos del estrecho de Gibraltar

A grandes rasgos, el estrecho de Gibraltar se puede describir como un surco de dirección E-O de unos 50 km de longitud en cuya parte occidental se localiza un alto de basamento (unidades del Flysch del Campo de Gibraltar) de orientación N-S que lo compartimenta (Figura 2.4). Tanto la ribera española como la marroquí presentan un litoral muy abrupto, que se suaviza hacia el oeste, una plataforma estrecha y un talud muy accidentado e irregular (Figura 2.5). Existe una estrecha correlación entre las zonas de morfología abrupta y las estructuras aflorantes de sustrato, el cual está constituido de las unidades del Complejo del Campo de Gibraltar, que en las zonas más profundas están recubiertas por costras biogénicas calcáreas compactas y arrecifes de edad Plioceno-Cuaternario (Esteras *et al.*, 2000; Álvarez-Pérez *et al.*, 2005).

Mientras en la parte africana el Estrecho presenta una configuración bastante homogénea de dirección ENE-OSO, en la parte europea se definen tres tramos con distintas características: un tramo occidental, entre cabo Trafalgar y Punta de Tarifa, donde la costa está controlada por un sistema de fallas de direcciones ENE-OSO y NO-SE que generan un conjunto de ensenadas (Barbate, Bolonia y Valdevaqueros); un tramo central, entre Punta Tarifa y Punta del Carnero, caracterizado por una costa rectilínea y acantilada de dirección ENE-OSO; y un tramo oriental, entre Punta del Carnero y Punta Europa, que corresponde al desarrollo de la Bahía de Algeciras. La anchura del Estrecho varía de un máximo de 40 km, en la zona más occidental, hasta aproximadamente 14 km, en la zona central y oriental.

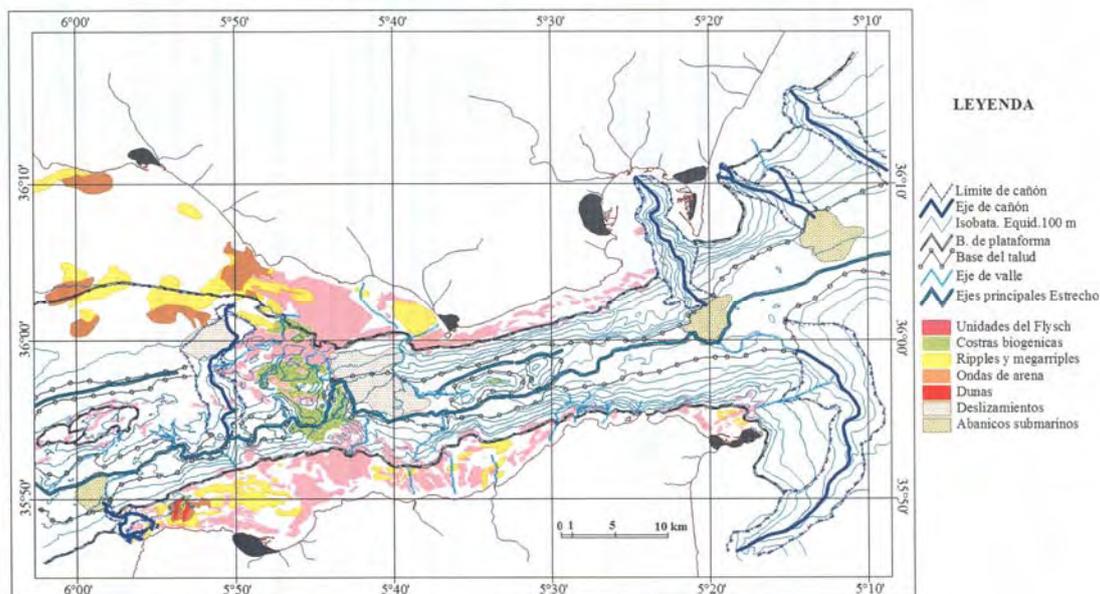


Figura 2.4. Cartografía de los rasgos geomorfológicos de los fondos del estrecho de Gibraltar (tomada de Sanz-Alonso y Maestro, 2005).



La plataforma continental en la ribera española se sitúa entre los 50 y 70 m de profundidad en los sectores central y oriental, variando su anchura de 2 a 4 km, con una pendiente media de 2,3°, mientras que la plataforma marroquí presenta su límite en los 100 m de profundidad, su anchura varía desde los 6 km frente a Punta Alcázar hasta los 3,5 km frente a Ceuta, y prácticamente no existe en el tramo situado entre Punta Cires y Punta Benzu, con pendientes que oscilan entre 0,9° y 1,2°.

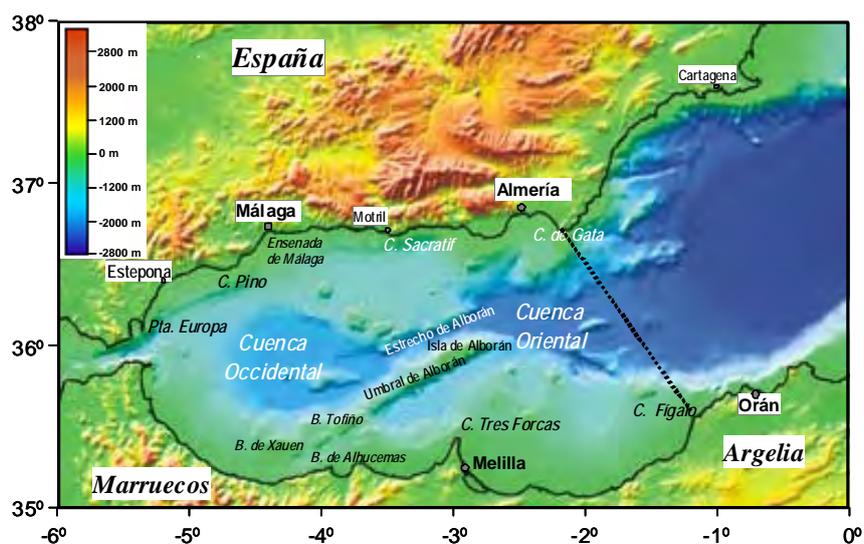


Figura 2.5. Mapa fisiográfico del mar de Alborán.

El sector occidental tiene forma triangular, abierta hacia el océano Atlántico, y se puede considerar que en este tramo se inicia el margen del Golfo de Cádiz. Se caracteriza por plataformas relativamente estrechas, con cuerpos de arena activos, por la presencia de dos altos en el área central del Estrecho (Banco de Majuán y del Umbral de Caraminal) y de un valle de dirección E-O. La plataforma española presenta una anchura máxima de 15 km, en la zona más occidental, que se estrecha paulatinamente hacia el este. Es suave y aplacerada, sin relieves, hasta la zona de ruptura, que se sitúa a los 100 m de profundidad. Por otro lado, la Plataforma marroquí es más estrecha que la española, siendo su parte más angosta la situada frente al cabo Espartel.

2.1.1. Principales Rasgos: ríos y cañones

Se destacan a continuación los procesos y formaciones más características de esta Demarcación. En el litoral submarino y la plataforma continental destacan:

- Sistemas deltaicos y prodeltas: desembocadura de los ríos Guadalhorce, Vélez,



Torrox, Verde, Guadalfeo, Adra y Andarax.

- Plataformas carbonatadas: cabo de Gata, isla de Alborán.

En el talud continental y fondos de cuenca aparecen:

- Montes submarinos: Avempace, La Herradura, Djibouti (El Eidrissi), Seco de los olivos, Mansour, Averroes, Dorsal de Alborán, Ibn Batouta.
- Bioconstrucciones y montículos carbonatados: talud continental de Melilla y de Málaga, cima de los montes submarino Djibouti (El Eidrissi) y La Herradura.
- Cañones y Sistemas turbidíticos: tanto en el margen septentrional (sistemas de La Línea, de Guadiaro, del Placer de las Bóvedas, de Torrenueva, de Fuengirola, complejo de Motril y de Almería) como en los flancos de la Dorsal de Alborán, de los cuales el más desarrollado corresponde al Sistema Alboraní, y en los márgenes del estrecho de Gibraltar (cañones de Algeciras y de Ceuta).
- Sistemas contorníticos: asociados al talud continental (Sistema de Ceuta) o a los montes submarinos (sistemas de Avempace y de la Plataforma Marginal de Djibouti).
- Deslizamientos tanto en el talud continental (D. Baraza) como en la Dorsal de Alborán (D. Antares, D. Juan de la Cosa) o a los montes submarinos (D. Navarro).
- Formaciones de escape de fluidos (Pockmarks y Volcanes de fango).

Por último, en los distintos dominios es interesante considerar la importante generación de inestabilidades sedimentarias que pueden ocurrir en los fondos marinos de esta región en relación con la importante actividad sísmica y tectónica existente.

2.2. Meteorología

2.2.1. Régimen atmosférico, campos de viento, temperaturas y pluviosidad

El clima de la región está determinado principalmente por el anticiclón de las Azores. Los inviernos (noviembre a febrero) se caracterizan principalmente por las bajas presiones que pasan sobre la Península Ibérica, dando como resultado la prevalencia de los vientos del oeste. En esta época, el tiempo es inestable, húmedo y ventoso. En los meses de verano (junio a septiembre), el bien establecido anticiclón de las Azores produce un tiempo seco y templado con vientos del este que se combinan con brisas solares creadas por las características desérticas de las montañas costeras. En primavera (marzo a mayo) se dan períodos alternos de tiempo invernal y veraniego. El otoño es muy corto (octubre), produciéndose normalmente una transición abrupta entre el verano y el invierno.

La orografía de las tierras que circundan al mar de Alborán afecta en gran manera a los vientos, canalizándolos fundamentalmente en las zonas costeras. En el estrecho de Gibraltar, por ejemplo, los vientos canalizados a través de él pueden alcanzar una gran intensidad.



En la zona predominan los vientos de poniente y de levante. Se dan también vientos, en general de menor intensidad, de tipo terral o del sur-sudoeste llamado "leveche". Sin embargo, en cualquiera de estos casos, el flujo general es desvirtuado en el Mediterráneo occidental, gracias al monzón, durante el invierno y el verano. Durante el verano, el fuerte calentamiento de la Península promueve vientos monzónicos del este, desde el Mediterráneo, especialmente fuertes durante el día. En invierno, sin embargo, el mar está notablemente más caliente que la tierra por lo que el monzón es desde ésta hacia el mar, en forma de poniente o noroeste. Ambos monzones se componen con el flujo general isobárico.

Los vientos de poniente son vientos del oeste, húmedos y generalmente asociados a bajas presiones y al norte y NO de la Península, y se dan más en las épocas de otoño, invierno y primavera. Estos vientos suelen durar varios días, hasta una semana o más, y producen un enfriamiento de la superficie del mar a lo largo de la costa española. En el mar de Alborán se produce el fenómeno llamado "pulsación", que consiste en el enfriamiento de las aguas debido a la entrada desde el Atlántico de aguas frías superficiales impulsadas por el viento.

Los vientos de levante son vientos de E o SE, normalmente asociados a altas presiones al norte de la Península o incluso sobre Baleares. Son muy habituales en verano, cuando suelen ser originados por el establecimiento del anticiclón de las Azores, pero pueden aparecer en otras épocas, asociados con la actividad ciclónica en el Mediterráneo occidental, el norte de África o la parte atlántica del norte de Marruecos.

Además de estos vientos dominantes, en el mar de Alborán también son muy frecuentes otros vientos debidos a la distinta capacidad de calentamiento y enfriamiento de la tierra y el agua. Durante el día y bajo la acción solar, el suelo se calienta más rápido que el agua, y como el aire más caliente pesa menos, la presión atmosférica se hace algo más baja sobre el suelo que sobre el mar, y se establece una circulación de aire a ras de suelo desde el mar a tierra (virazón). Durante la noche, la tierra se enfría más deprisa que el agua, por lo que se establece una circulación en las capas bajas desde tierra hacia el mar (terral).

Asociados con la presión atmosférica, los vientos juegan un papel importante en la oceanografía del mar de Alborán, intensificando o reduciendo la entrada de aguas atlánticas. Cuando sobre el Mediterráneo occidental se dan altas presiones, la superficie del mar se deprime tendiendo a forzar la salida de agua hacia el Atlántico a través del Estrecho, reduciendo la entrada de agua atlántica; por el contrario, cuando sobre el Mediterráneo occidental ocurren bajas presiones, la superficie del mar se eleva y el influjo aumenta. Igualmente, los vientos de poniente, asociados a bajas presiones, provocan un aumento de la entrada de agua atlántica, que podría llegar incluso a duplicarse al combinarse los dos efectos, mientras que los vientos de levante, asociados a altas presiones refrenan en cierta medida la entrada de agua del Atlántico.



2.2.2. Oleaje

Este fenómeno es provocado por la fricción continuada del viento sobre la superficie del mar. El oleaje generado por el viento queda definido por su altura, longitud y periodo. Estas características están determinadas por la velocidad del viento, la distancia en la que actúa, el tiempo durante el cual actúa sobre la superficie del mar, y la profundidad.

En el mar de Alborán, en ciertas ocasiones y con vientos dominantes de levante, se generan grandes olas que pueden hacer que el mar avance más de 10 m sobre su límite natural de mareas vivas, llegando a ocasionar graves desperfectos en paseos marítimos, viales y edificios colindantes, sobre todo en aquellos mal ubicados o muy próximos a la orilla del mar (Camiñas, 2008).

2.3. Hidrografía y Circulación

2.3.1. Aguas superficiales: Propiedades termohalinas y estacionalidad

El mar de Alborán presenta un gran hidrodinamismo. Constituye la última cuenca para las relativamente densas aguas mediterráneas que abandonan el Mediterráneo (en profundidad) y la primera cuenca que invaden las más ligeras aguas atlánticas (en superficie) en su largo proceso de transformación en aguas mediterráneas en el interior de este mar. El contraste de densidad entre ambos tipos de agua es determinante en los procesos hidrodinámicos que tienen lugar en el mar de Alborán, cuenca singular y única a nivel planetario, que alberga algunos de los frentes oceanográficos más intensos que se conocen.

El mecanismo por el cual el agua atlántica entrante se transforma en agua mediterránea es diferente en función de la época del año y existen dos procesos bien definidos, en verano y en invierno. En verano, la termoclina se forma a profundidades de entre 20 y 40 m, en las capas superficiales, que tienen una gran influencia atlántica, lo que limita el intercambio entre esas capas superficiales y las que se encuentran inmediatamente por debajo. Como consecuencia, las capas superficiales se van calentando y, debido a la gran evaporación que se produce durante el verano, aumenta su salinidad de forma paulatina. Sin embargo, debido a la alta temperatura del agua (25 °C), no se produce un incremento de su densidad, manteniéndose en equilibrio. El agua situada por debajo, que es de origen atlántico, mantiene su salinidad. En invierno, el enfriamiento atmosférico da lugar a un importante proceso de transferencia de calor del agua a la atmósfera que, unido a los vientos secos y fríos, favorece la evaporación superficial. La pérdida de calor y la evaporación incrementan la densidad de la capas superficiales y salinas, que tienden a hundirse por convección vertical, lo que homogeniza las capas más profundas (Camiñas, 2008).



2.3.2. Masas de Agua

El intercambio de masas de agua entre el océano Atlántico y el mar Mediterráneo es la característica más importante para entender el patrón de circulación presente en la región del mar de Alborán y el Golfo de Cádiz. Dicho intercambio se produce en el estrecho de Gibraltar y está propiciado por los insuficientes aportes hídricos de origen fluvial junto con las escasas precipitaciones que recibe el Mediterráneo. Ambos factores dan lugar a que los aportes no sean suficientes para compensar la pérdida de agua por evaporación, de forma que la cuenca marina presenta un balance negativo. Debido a las diferencias de densidad entre las masas de agua, la masa de agua atlántica atraviesa el estrecho de Gibraltar hacia el Mediterráneo en superficie, mientras que la masa de agua mediterránea fluye en profundidad hacia el Atlántico. La salinidad del agua atlántica entrante varía entre 36,2‰ y 36,5‰ durante su circulación hacia el este por el mar de Alborán, siendo modificada principalmente por las aguas levantinas intermedias afloradas y el agua atlántica que se ha hecho más salina previamente. Esta agua atlántica modificada ocupa la superficie del mar hasta una profundidad de 150-200 m en el centro de la cuenca y hasta unos 50 m cerca de la costa española, mientras que las aguas levantinas intermedias ocupan generalmente entre los 200-600 m de profundidad.

Parte del agua atlántica modificada circula cerca de la costa española hasta el cabo de Gata, donde converge con el agua mediterránea residente, de diferentes características y que circula al E de este cabo en dirección SO a lo largo de la costa, resultando así que el agua atlántica modificada es desviada hacia el SO en dirección a Orán, en la costa argelina. Parte de esta agua es retenida por el giro oriental de Alborán, para seguir circulando de forma anticiclónica, mientras que el resto continúa hacia el este formando la corriente argelina. Como resultado, se forma un frente muy bien definido al este del giro oriental que es denominado Frente Almería-Orán, formado por la convergencia de dos masas de agua muy distintas, a lo largo del cual se han detectado las características propias de un afloramiento y se ha observado una gran actividad biológica.

En las Figuras 2.6 y 2.7 se muestran las masas de agua que se encuentran a ambos lados del estrecho de Gibraltar y sus patrones de desplazamiento a través del mismo.

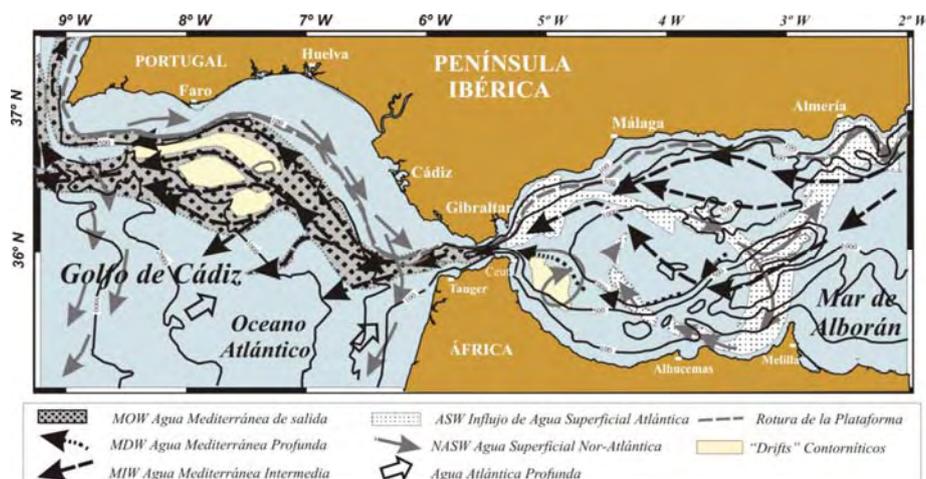


Figura 2.6. Esquema básico de circulación entre las masas de agua atlántica y mediterránea. Tomado de Hernández-Molina *et al.*, 2002.

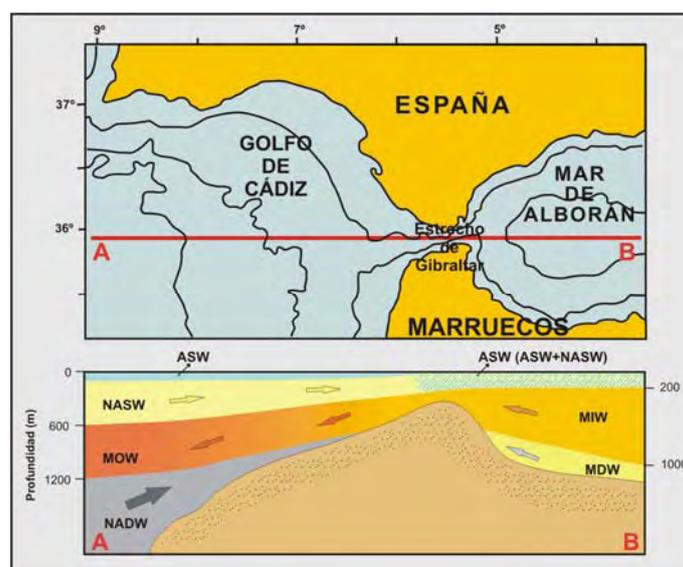


Figura 2.7. Distribución de las masas de agua que se presentan a uno y otro lado del estrecho de Gibraltar. ASW: Agua Superficial Atlántica; NASW: Agua Superficial Noratlántica; MOW: Vena de Agua Mediterránea; NADW: Agua Profunda Noratlántica; MIW: Agua Mediterránea Intermedia; MDW: Agua Mediterránea Profunda. Tomado de Hernández-Molina, 1993.

Las masas de agua que se pueden diferenciar en el mar de Alborán son:

- i) Agua superficial atlántica (ASW). Circula hacia el este en un rango de profundidad de 0 a 150-200 m, con valores de temperatura entre 9 °C y 16 °C y salinidades de 36,2‰ a 36,6‰ (Gil, 1990).
- ii) Agua mediterránea intermedia (MIW). Fluye hacia el oeste entre los 200 y 700 m de profundidad, presenta salinidades decrecientes de este a oeste y superiores a los 38‰ en el



mar de Alborán y temperaturas en torno a los 13,2 °C. Presenta una oxigenación de 4,2 ml l⁻¹ (Gil, 1990).

iii) Agua mediterránea profunda occidental (MDW). Circula por debajo de los 1.000 m de profundidad, presentando valores de salinidad de 38,4‰ temperatura de 12,7 °C y una oxigenación de 4,2 ml l⁻¹ (Millot, 1987).

2.3.3. Circulación

2.3.3.1 Dinámica General

La circulación en el mar de Alborán es bastante compleja y está sometida a importantes variaciones estacionales. La dinámica entre las masas de agua atlántica y mediterránea se interpreta como un sistema bicapa en el que el agua intermedia mediterránea (MIW) fluye hacia el oeste en dirección al estrecho de Gibraltar y, tras su ramificación en la zona de la isla de Alborán, circula por la base del talud continental español en el mar de Alborán (Font, 1987; Millot, 1987). Por otro lado, el agua mediterránea profunda (MDW) forma una corriente que se adhiere al talud africano antes de elevarse hacia el Estrecho. En el umbral del Estrecho, ambas masas de agua se unen y constituyen el flujo que sale al Atlántico (MOW) (Figuras 2.6 y 2.7). Este flujo mediterráneo pasa a través del estrecho de Gibraltar hacia el océano Atlántico a una profundidad de 200 m, se hunde por debajo de la masa de agua atlántica y se dirige hacia la zona profunda sin introducirse en la plataforma continental del Golfo de Cádiz, por donde únicamente circula el agua superficial noratlántica (NASW). Al entrar en el Golfo de Cádiz, gran parte del flujo mediterráneo sufre una inflexión en dirección N y continúa el contorno del talud hasta que al llegar a la zona más profunda del mismo se ramifica encauzándose en los cañones submarinos existentes (Fernández y Ortega, 1984; Hernández-Molina *et al.*, 2002).

El intercambio de agua atlántico-mediterránea se produce en el estrecho de Gibraltar, en la zona de El Umbral, en la longitud 5° 45' O. El flujo principal está controlado por las componentes diurna y semidiurna de las mareas, con una influencia importante de la batimetría y los agentes meteorológicos. El flujo mediterráneo de salida hacia el atlántico, en ocasiones y para determinados momentos de la marea, se presenta separado en agua mediterránea intermedia (MIW) y agua mediterránea profunda (MDW) (Pratt, 1990).

Por encima de la masa de agua mediterránea fluye, hacia el estrecho de Gibraltar, la masa de agua atlántica superficial (NASW y ASW), con espesores variables en función de la zona y con velocidades superiores a 1 m s⁻¹. La circulación de este flujo superficial atlántico de entrada es el causante de un frente termohalino que alimenta dos grandes giros anticiclónicos: uno en la cuenca occidental y otro, tras pasar el meridiano 3° O, en la cuenca



oriental (Figura 2.8). Esta circulación del flujo atlántico posee una gran variabilidad espacio-temporal debido a que las corrientes y las condiciones hidrográficas pueden presentar variaciones importantes en un ciclo mareal (Bryden y Stommel, 1984). Dicho flujo posee variaciones estacionales, teniendo su máxima intensidad en los meses de primavera y verano (Cano y Fernández, 1968; Bormans *et al.*, 1985).

Los giros anticiclónicos y su interacción con la dorsal de Alborán

El flujo de agua atlántica entrante (NASW-ASW), 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 fuerte gradiente termohalino asociado a la corriente atlántica hace a ambos giros claramente visibles en las imágenes de satélite (Figura 2.8, Izq.). No obstante este esquema presenta una alta variabilidad temporal (Vargas-Yáñez, *et al.*, 2002).

El giro anticiclónico occidental (WAG) (Figura 2.9) abarca casi todo el sector occidental de Alborán y circula de forma casi paralela a la costa española, siguiendo la geometría del talud continental e interaccionando con la topografía del fondo de la plataforma del margen español (Cano y García, 1991). Este giro se considera una estructura cuasi-permanente en el tiempo (Viudez *et al.*, 1996), aunque su extensión, forma y localización es bastante dinámica (Herburn y La Violette, 1990) debido a que se encuentra controlado por las características del intercambio de las masas de agua atlántico-mediterránea en el estrecho de Gibraltar (García-Lafuente *et al.*, 1995; García-Lafuente *et al.*, 1998).

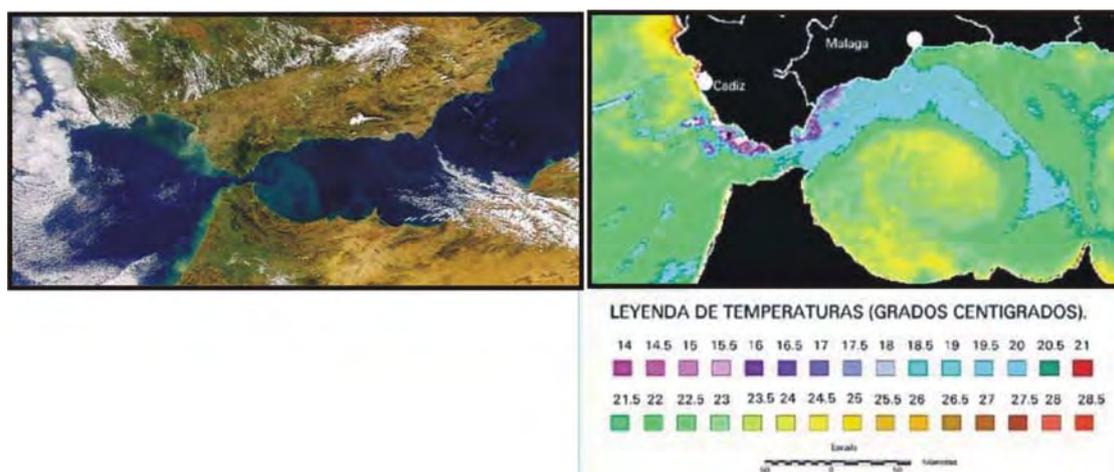


Figura 2.8. Imágenes obtenidas por satélite en las que se pueden observar el giro anticiclónico occidental. Izq. Imagen satélite del Golfo de Cádiz, Estrecho de Gibraltar y Mar de Alborán. Dcha. Mapa de temperaturas de la superficie del mar obtenidas a partir de datos del satélite NOAA-AVHRR el 07/08/96. Imagen procesada por INFOCARTO, S.A. con ERDAS-IMAGINE 8.2. y adquirida con estación de recepción HRPT-SMARTech propia. Tomado de www.infocarto.es.



El segundo giro anticiclónico, el giro anticiclónico oriental (EAG) (Figura 2.9), que ocupa la parte oriental de Alborán es más fluctuante y depende del giro anticiclónico occidental, de modo que cuando este está bien desarrollado, llega a afectar a la zona de cabo de Gata (Herburn y la Violette, 1990).

El desplazamiento de la capa superficial de la masa de agua en Alborán presenta un ciclo anual y semianual (Vargas-Yáñez *et al.*, 2002). Esta variabilidad está caracterizada por un mínimo de salinidad y de la componente zonal de la velocidad en primavera y otoño, y un máximo en invierno y en verano. En primavera, la corriente atlántica fluye al norte de la isla de Alborán y se acumulan aguas cálidas al sur de la isla, lo que sugiere la existencia de un área anticiclónica. Los bajos valores de salinidad (36,6‰), que indican el carácter atlántico de las aguas que están circulando anticiclónicamente, y el dato del promedio diario de la componente zonal de la velocidad de -7 cm s^{-1} , apuntan hacia la existencia de un área de vorticidad negativa alrededor de la isla. Por otro lado, imágenes obtenidas por satélite muestran que en este periodo el mar de Alborán podría estar ocupado por 3 giros anticiclónicos (Figura 2.9), de acuerdo con el modelo de circulación descrito por Viúdez *et al.* (1998).

En los meses de verano y en noviembre, la situación predominante es la existencia de los giros WAG y EAG bien desarrollados. Los flujos de corriente atlántica al S de la isla tienen dirección NE.

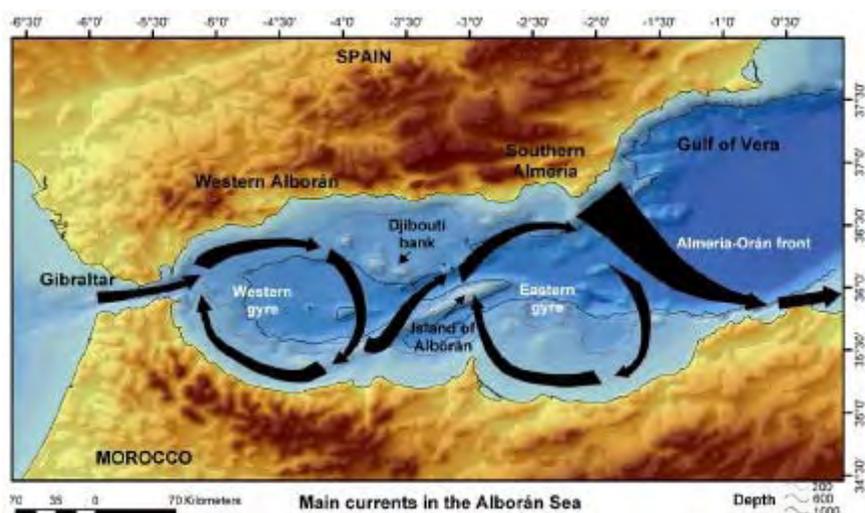


Figura 2.9. Localización y descripción de los giros occidental y oriental presentes en el mar de Alborán.

En otoño podemos encontrar una situación similar a la de primavera, con un desplazamiento hacia el sur de la corriente atlántica que penetra en el mar de Alborán, empujando el WAG hacia el este, al mismo tiempo que un nuevo giro comienza a ser formado en Ceuta. Se



observa la existencia de un área anticiclónica centrada en la isla de Alborán.

En invierno, la corriente atlántica fluye cerca de la costa africana, identificando así un modelo costero. Al comienzo de la primavera, la corriente atlántica comienza a separarse de la costa africana, y un giro anticiclónico podría desarrollarse al sureste de Ceuta.

Los resultados obtenidos por Vargas-Yáñez *et al.* (2002) indican que el agua atlántica con baja salinidad y temperaturas más altas se acumulan en el centro del WAG. Si este es desplazado hacia el E, ocupando el área de la isla de Alborán, la salinidad y la velocidad zonal descenderán, al mismo tiempo la temperatura se incrementará. Este es el caso para la primavera y el otoño del año 1997. Si la corriente atlántica fluye al S de la isla de Alborán, el fuerte gradiente termohalino asociado a esta corriente se desplazará al S de la isla. Esto producirá un incremento de la velocidad zonal y de la salinidad y un decrecimiento de la temperatura.

En conclusión, durante los meses de verano, la circulación del mar de Alborán tiene un periodo de estabilidad con el WAG y el EAG bien desarrollado. En invierno, la situación que prevalece es el modelo costero. La primavera y el otoño son periodos de transición con frecuentes episodios de tres giros.

2.3.3.2. Procesos costeros y de mesoescala

La entrada de agua atlántica (AW) por el estrecho de Gibraltar conduce a la formación de estructuras de mesoescala y submesoescala, que muestran una alta variabilidad espacial y temporal (Cheney y Doblar, 1982; Parrilla y Kinder, 1987; Tintoré *et al.*, 1991; Sarhan *et al.*, 2000). Numerosos autores han mostrado que existe un fuerte acoplamiento entre la hidrología y las estructuras biológicas y geoquímicas en el mar de Alborán (Minas *et al.*, 1991; Lafuente *et al.*, 1998; Rodríguez *et al.*, 1998).

2.3.3.3. Afloramientos

En el hemisferio norte, cuando el viento sopla paralelo a la costa, y ésta queda a su izquierda, el desplazamiento de la capa superficial de agua es hacia mar abierto (transporte de Ekman), que genera un vacío en la costa que induce el ascenso de aguas subsuperficiales más frías y con mayor contenido en sales nutrientes. Este proceso se conoce como afloramiento costero y, en el mar de Alborán, tiene lugar con los vientos de poniente, que dejan la costa a su izquierda e inducen una corriente superficial que aleja el agua superficial de la costa. Esta agua superficial se hunde varios kilómetros mar adentro y retorna a la costa cerrando el circuito. Se forma así un gran remolino de eje horizontal y cuyo espesor vertical es de unos 200 a 300 m. Cuando el viento sopla del este en el mar de Alborán, se produce un transporte de agua superficial desde el mar hacia la costa (a la derecha de viento), por lo que



el efecto es el contrario que en el caso anterior y surge un afloramiento de aguas profundas varios kilómetros mar adentro (desde 200 a 300 m de profundidad) y se crea un sumidero de aguas superficiales cerca de la costa.

Estos eventos de afloramiento son muy importantes ya que inducen una alta productividad en la zona más occidental del mar de Alborán, a lo largo de casi todo el año, como queda reflejado en las altas concentraciones de clorofila encontradas en esta zona (Minas *et al.*, 1991; Rodríguez *et al.*, 1997; García-Górriz y Carr, 2001).

Los afloramientos pueden ser más o menos permanentes o de carácter temporal. Uno de los afloramientos más importantes que ocurren en el mar de Alborán, es el que se forma como consecuencia de la confrontación de las masas de agua que genera el Frente Almería-Orán. Otros afloramientos permanentes ocurren en el sector noroccidental, entre las costas españolas y la corriente atlántica entrante, produciendo zonas muy fértiles, especialmente en las zonas de Marbella, Málaga y Motril. En otros puntos de la costa también se pueden producir afloramientos temporales, lo que ocurre al producirse viento con la suficiente fuerza para desplazar hacia alta mar las aguas superficiales costeras y provocar el ascenso de las frías y saladas aguas profundas (Figura 2.10).

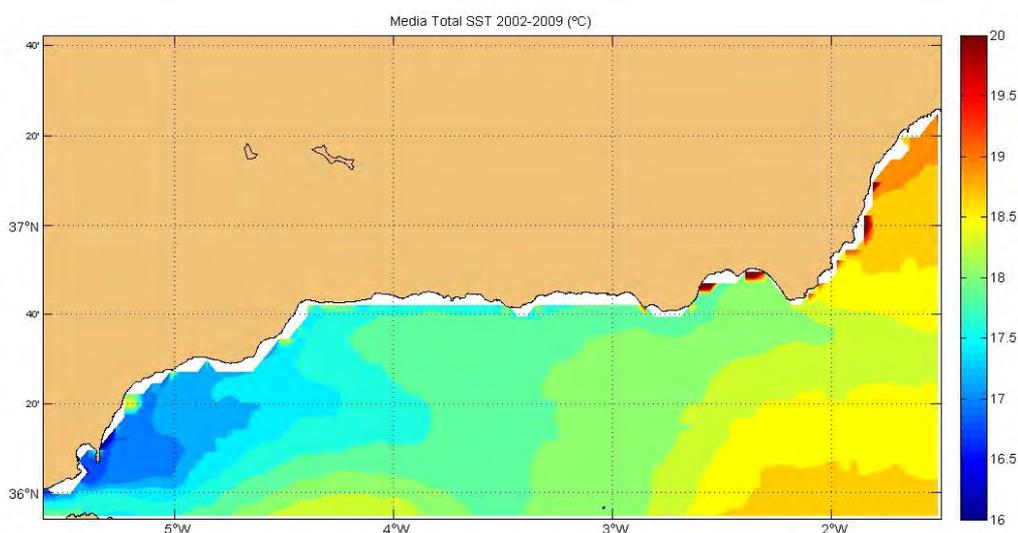


Figura 2.10. Temperatura superficial promediada para el período 2002-2009 en la mitad norte del mar de Alborán. Destaca el gradiente creciente de temperatura de oeste a este, que ilustra cómo el sector norte de la cuenca occidental de Alborán es a menudo afectado por afloramientos inducidos por la corriente atlántica y por vientos costeros. En el centro de la cuenca se aprecian además dos núcleos de agua más cálida que corresponden con el extremo superior de los dos giros anticiclónicos normalmente presentes en Alborán.

[Datos de temperatura tomados del satélite MODIS-Aqua]

En el noroeste del mar de Alborán, alejado de la costa española, la corriente atlántica genera



un intenso frente geostrofico cuya posición coincide con el borde del giro anticiclónico occidental (Minas *et al.*, 1991; Sarhan *et al.*, 2000). Este frente deja un área de divergencia entre su borde norte y la plataforma continental, provocando un afloramiento de aguas salinas y ricas en nutrientes (Sarhan *et al.* 2000; García-Górriz y Carr, 2001). Este afloramiento de aguas subsuperficiales en el sector noroccidental del mar de Alborán, puede ser atenuado e incluso suprimido por diferentes factores (Reul, 2000; Sarhan *et al.*, 2000; Sarhan, 2001), como el “chorro atlántico”, que inhibe este afloramiento en las proximidades de la costa. Así mismo, los vientos de levante acumulan aguas atlánticas junto a la costa e impiden la surgencia de aguas subsuperficiales. Durante el periodo estival, cuando la columna de agua presenta una termoclina muy pronunciada, la picnoclina puede llegar a impedir el afloramiento de aguas subsuperficiales, incluso a pesar de la presencia de vientos favorables (García-Górriz y Carr, 2001).

2.3.3.3. Mareas

Dentro de los límites de la Demarcación Marina hay que separar dos zonas bien diferenciadas en cuanto a las mareas. Por un lado el mar de Alborán, englobado en el mar Mediterráneo y sin apenas efectos de mareas, y por otro el Estrecho, sobre el que se deja sentir las mareas del Atlántico y las fuertes corrientes de entrada y salida que se generan al atravesarlo.

En el mar Mediterráneo es llamativa la práctica ausencia de mareas, aunque realmente son muy débiles ya que el reducido tamaño de la cuenca mediterránea no favorece la creación de mareas mayores y por que las mareas del golfo de Cádiz y del Atlántico Norte apenas se adentran en el mar Mediterráneo y van perdiendo energía a medida que avanzan. Y en muchas ocasiones, las condiciones meteorológicas (presión atmosférica y viento) ejercen una influencia mayor sobre las variaciones del nivel del mar que la propia carrera de marea. Dependiendo de los vientos, en algunas zonas se han experimentado avances del mar de más de 10 m sobre su nivel natural de mareas vivas. De todos modos y a pesar de todo lo mencionado, cabe destacar que en el mar de Alborán se producen las mayores mareas del Mediterráneo occidental (Camiñas, 2008).

Por su parte, en el Estrecho confluye la variación de marea del Atlántico, donde la carrera de marea alcanza los 3 m en mareas vivas, con la del Mediterráneo, donde prácticamente es nula. La oscilación es semidiurna y presenta una ampliación de 0,4 m en su límite mediterráneo. Entre bajamar y pleamar, la corriente se dirige al Atlántico aportando el agua necesaria para equilibrar el nivel a la pleamar oceánica, mientras que de pleamar a bajamar lo hace hacia el Mediterráneo, vaciando agua para ajustarse a la bajamar. Localmente se conoce a estas corrientes como creciente y vaciante, respectivamente (García-Lafuente, 2008).



2.4. Distribución de nutrientes y oxígeno

Como resultado de la alta productividad primaria, el flujo vertical de materia orgánica hacia el fondo estimula el crecimiento bacteriano por debajo de la capa fótica (Packard *et al.*, 1988) (Figura 2.11). La degradación bacteriana de la materia orgánica proporciona una intensa regeneración de nutrientes. El consumo bacteriano de O₂ durante la remineralización de la materia orgánica conduce a una intensa regeneración de nutrientes en la columna de agua, causando un “extramínimo” de O₂ (Packard *et al.*, 1988; Minas *et al.*, 1991).

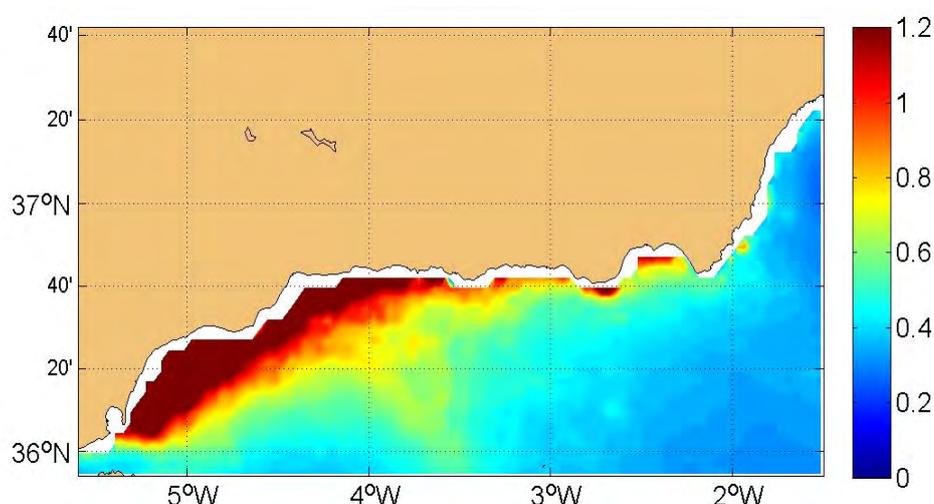


Figura 2.11. Clorofila *a* superficial promediada para el período 2002-2009 en la mitad norte del mar de Alborán. Las mayores concentraciones de clorofila se encuentran asociadas a las áreas costeras donde son más frecuentes los afloramientos (ver figura de temperatura superficial). [Datos de temperatura tomados del satélite MODIS-Aqua]

A pesar de la importancia de la dinámica de nutrientes en la producción primaria, existen pocos estudios de campo en el mar de Alborán que aborden su variabilidad estacional. La mayoría de los estudios de campo existentes en la zona occidental del mar de Alborán y estrecho de Gibraltar han sido realizados durante una época concreta del año, fundamentalmente en verano u otoño, épocas caracterizadas por una fuerte estratificación térmica de la columna de agua (Minas *et al.*, 1991; Minas y Minas, 1993; Rodríguez *et al.*, 1997; Gómez *et al.*, 2000; Dafner *et al.*, 2003).

Publicaciones recientes han estudiado la dinámica estacional de nutrientes inorgánicos en el área noroccidental del mar de Alborán (Ramírez *et al.*, 2005; Mercado *et al.* 2005; Mercado *et al.* 2007; Ramírez, 2007, Mercado *et al.* 2008a, Mercado *et al.* 2008b). Las concentraciones más altas de nutrientes se observaron en primavera (valores medios: 2,54



$\mu\text{M NO}_3^-$, $0,21 \mu\text{M PO}_4^{3-}$, $1,55 \mu\text{M Si (OH)}_4$) y las más bajas en verano (valores medios: $0,54 \mu\text{M NO}_3^-$, $0,13 \mu\text{M PO}_4^{3-}$, $0,75 \mu\text{M Si (OH)}_4$). En los estudios realizados desde 1994 hasta 2002, se pueden describir tres fases en cuanto a la concentración de nutrientes, una marcada disminución desde 1995 hasta 1997, un incremento continuo desde 1998 hasta 1999 y periodo con concentraciones estables desde 2000 hasta 2001. Mención especial merece la anormalmente alta temperatura superficial registrada en octubre de 1997, que podría indicar una suavización del afloramiento, lo cual está en concordancia con las bajas concentraciones de nutrientes encontradas en este periodo anual.

2.5. Dióxido de carbono y Acidificación

El dióxido de carbono (CO_2) es uno de los productos del uso de combustibles fósiles y el principal gas de *efecto invernadero*. Además de su importante contribución al incremento del forzamiento radiactivo en la Tierra (IPCC, 2007), el incremento de CO_2 en la atmósfera altera los ciclos biogeoquímicos, principalmente del carbono, en los océanos.

Se estima que los océanos han absorbido un 30 % del CO_2 de origen antropogénico vertido a la atmósfera en los últimos 250 años (Sabine *et al.*, 2004). Este hecho contribuye a mitigar el *efecto invernadero* pero tiene otras repercusiones en el océano. La absorción del exceso de CO_2 presente en la atmósfera por parte del océano lleva inevitable y directamente a una disminución de los niveles de pH o acidificación en los océanos. Como consecuencia de la compleja físico-química del CO_2 en agua de mar, el exceso de CO_2 disuelto se compensa con una reducción de las concentraciones de carbonatos, una disminución del pH y una disminución de la saturación de las formas de carbonato. Estos son consecuencias directas de la química del CO_2 en el océano de sobra conocidas, entendibles y predecibles, pero las consecuencias de estos hechos en cuanto al impacto sobre la biota, los ecosistemas y los ciclos biogeoquímicos marinos es todavía un tema emergente de investigación (Doney *et al.*, 2009).

Desde la época preindustrial hasta la actualidad, la concentración de CO_2 en la atmósfera ha pasado de 280 ppm a 385 ppm, siendo las emisiones actuales superiores a las hipótesis más pesimistas previstas hace una década; y en el mismo período la acidez de los océanos se ha incrementado en un 30 % (0,1 unidades), un cambio que es 100 veces más rápido que cualquier otro ocurrido en al menos los últimos 20 millones de años (Orr *et al.*, 2009). Se estima que a este ritmo, en varias décadas, se limitará el crecimiento de los arrecifes coralinos en aguas tropicales y los océanos polares se volverán corrosivos para los organismos marinos calcáreos, calculándose un descenso del pH de $0,4 \pm 0,1$ unidades de aquí al 2100, con respecto a las condiciones preindustriales (Meehl *et al.*, 2007).



Se desconoce el efecto de la acidificación sobre los organismos marinos y su capacidad de adaptación al cambio, pero hay estudios que alertan de que la acidificación del medio reduce la calcificación en organismos con estructuras calcáreas (Fabry *et al.*, 2008; Gazeau *et al.*, 2007) y que podría afectar a su reproducción (Havenhand *et al.*, 2008).

La acidificación de los océanos puede también afectar negativa y globalmente a las actividades socioeconómicas como la pesca y el marisqueo por los efectos que puede causar sobre las redes tróficas marinas, y sobre los arrecifes coralinos que sirven de zona de reproducción y refugio para muchas especies con interés comercial y que además son un activo importante en el sector turístico de muchos países. A esto habría que sumar que la acidificación de los océanos reduce su capacidad para fijar el CO₂ antropogénico, lo que dificultará la estabilización del CO₂ atmosférico en el futuro (Orr *et al.*, 2009).

La zona del Estrecho y Mar de Alborán es el punto de conexión entre el Mar Mediterráneo y el Océano Atlántico y juega un importante papel como punto de control de los intercambios biogeoquímicos entre ambos (Huertas *et al.*, 2009). Apenas existe información sobre las variaciones temporales de las concentraciones de carbono orgánico e inorgánico en la región del estrecho de Gibraltar (Copin-Montégut, 1993), pero está establecido que el mar Mediterráneo se caracteriza una alta alcalinidad (Santana-Casiano *et al.*, 2002).

Según Dafner *et al.* (2001) el mar Mediterráneo exporta carbono inorgánico al océano Noratlántico a través del mar de Alborán y del estrecho de Gibraltar Este aporte fue cuantificado por Huertas *et al.* (2009) en unas 25 t C año⁻¹ y en el mismo estudio concluyen que hay un aporte neto de carbono antropogénico desde el Atlántico al mar de Alborán y al mar Mediterráneo. En base a los datos de D'Ortenzio *et al.* (2008) en el mar de Alborán el CO₂ se encontraría próximo al equilibrio con la atmósfera, pero con un leve efecto de sumidero para el CO₂.

2.6. Sustancias químicas peligrosas

La industrialización, la alta tasa de ocupación humana, el elevado tráfico marítimo, la agricultura intensiva y la acumulación de residuos mineros en antiguas zonas de extracción son las fuentes más importantes de sustancias químicas peligrosas (SQP) en esta Demarcación. Por su cuantía e incidencia, los principales vertidos al mar son de origen urbano e industrial, siendo las industrias farmacéutica, metalúrgica, de refino de petróleo y del papel las que contribuyen con una mayor carga contaminante. Otros sectores de producción que aportan una menor carga contaminante son los de química orgánica básica, generación de energía eléctrica, acuicultura, cementeras y naval (Junta de Andalucía, 2008). Un estudio previo (UNEP/MAP, NAP Spain, 2005) sobre las actividades industriales que producían un mayor volumen de vertidos al mar, identificó como zonas de riesgo potencial



las de San Roque (Algeciras), por su industria química, y Motril, por su industria del papel. Los contaminantes evaluados incluían metales pesados, compuestos orgánicos persistentes y compuestos organohalogenados, y los datos utilizados procedían del Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes (EPER-España).

Las SQP también llegan al mar a través de ríos de corto recorrido y con cuencas hidrográficas de pequeña superficie, pero con un patrón de lluvias torrenciales, destacando como más relevantes los aportes de los ríos Palmones, Guadalhorce, Guadalfeo y Guadiaro. Una vez en el mar, el transporte y destino final de las SQP está muy condicionado por el elevado hidrodinamismo existente, resultado de la conexión de este mar con el océano Atlántico a través del estrecho de Gibraltar. La entrada de masas de agua superficiales de origen atlántico y los giros anticiclónicos y frentes asociados generan procesos de convergencia y divergencia, así como afloramientos, que ayudan a la renovación continua de las aguas y a la dispersión de los contaminantes en el ámbito de esta Demarcación, siendo por tanto factores fundamentales para su caracterización ambiental.

En la franja litoral, la elevada densidad de población genera un volumen de aguas residuales que a veces sobrepasa la capacidad de tratamiento existente por lo que son vertidas al mar con sus cargas de metales pesados, tensoactivos, hidrocarburos aromáticos policíclicos, pesticidas y otros compuestos menos estudiados, como productos químicos de uso doméstico (higiene personal, fármacos, limpieza, etc.). El tratamiento de estas aguas no elimina una parte significativa de estos compuestos, tal y como se ha evaluado en Almería, y por tanto también acceden al medio marino (Gómez *et al.*, 2007). El elevado tráfico marítimo y las actividades portuarias contribuyen notablemente a la entrada de hidrocarburos, aceites, compuestos organoestánicos y cobre, especialmente en el dominio del estrecho de Gibraltar. Las operaciones rutinarias de navegación, tales como limpieza de tanques y deslastrado de aguas de sentina, producen contaminación en las zonas de tránsito. En el puerto de Algeciras son frecuentes los vertidos de petróleo por fugas o accidentes durante las maniobras de carga y descarga. En el año 2000 se detectó (Diez. *et al.*, 2002 y 2003; Petrovic *et al.*, 2002) la presencia de compuestos órgano-estánicos (tributil y trifenil), sus productos de degradación y de surfactantes no iónicos en los sedimentos superficiales del puerto de Almería, en marinas de Aguadulce, Almerimar, Marbella, Estepona, Banús, Duquesa y Sotogrande, y en zonas próximas a los vertidos de la planta de tratamiento de aguas residuales urbanas de Almería.

En determinadas zonas litorales de Málaga, Granada y Almería se realizan actividades agrícolas intensivas con un alto consumo de productos fitosanitarios, siendo por tanto relevante el aporte al mar de plaguicidas organofosforados, organonitrogenados, etc. Por otro lado, aunque la acuicultura no está todavía muy desarrollada en el mar de Alborán, es una posible vía de entrada de SQP, especialmente pesticidas y fármacos para control de



enfermedades y parásitos, además de pinturas antiincrustantes o colorantes artificiales, por lo que debería aplicarse algún sistema de seguimiento para estas sustancias que no están incluidas en la Directiva de la Unión Europea relativa a la calidad exigida a las aguas para cría de moluscos (2006/113/CE). Las elevadas concentraciones naturales de plomo (Pb) y Zinc (Zn) en los suelos litorales de la provincia de Almería (Sierra, 2005) y la presencia de residuos mineros en antiguas explotaciones, tienen impacto sobre el medio ambiente marino circundante debido a la entrada de metales traza por lavado y drenaje de aguas ácidas, y por transporte eólico de los residuos. Este es el caso de zonas costeras de Almería, Adra y cabo de Gata, en donde se han encontrado concentraciones de cadmio (Cd) y Pb más altas que en el resto del litoral mediterráneo peninsular en mejillones fondeados durante tres meses (Benedicto *et al*, 2011).

La vigilancia y control de la calidad de las aguas litorales se realiza aplicando diferentes estrategias para dar cumplimiento a las Directivas Europeas (Marco de Agua, calidad de las aguas para cría de moluscos o contaminación causada por determinadas sustancias peligrosas) y del Convenio de Barcelona para la Protección del Medio Marino y de la Región Costera del Mediterráneo. En zonas costeras someras (profundidad <20 m), la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía estudia anualmente la presencia y evolución de los niveles de metales traza en agua y sedimentos, y de bifenilos policlorados (PCBs) en sedimentos, en una serie de estaciones fijas y estuarios según el Plan de Policía de Aguas del litoral Andaluz que se inició en 1988 (Junta de Andalucía, 2000, 2004 y 2005). Resultados obtenidos en este seguimiento indican que para las aguas, el grado de contaminación es bajo, ya que el 91 % tiene una calidad buena y el 9 % restante suficiente, mientras que para los sedimentos el grado de contaminación es ligero, ya que presentan un 5 % de los valores con una calidad insuficiente y un 1 % con calidad mala (Junta de Andalucía, 2008).

En biota de zonas costeras, los niveles de metales traza, compuestos orgánicos persistentes (COPs) e hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs) se determinan anualmente, desde 1991, en 11 poblaciones naturales de mejillón (*Mytilus galloprovincialis*), dentro del plan de seguimiento de la contaminación que estableció el Instituto Español de Oceanografía (IEO) para dar cumplimiento al Programa MED POL (Benedicto *et al*, 2003). Según los resultados obtenidos por el IEO en el año 2006, en la mayoría de las estaciones predominaron niveles moderados y bajos de todos los grupos de contaminantes estudiados. Concentraciones altas de metales se encontraron en Punta Carnero (As, Cd y Zn), en Málaga (Hg y Zn), en La Herradura (Cd), en Aguadulce (Cd), y en Manilva (Zn). Asimismo, las concentraciones de HAPs fueron, en general, bajas a lo largo de toda la costa, excepto en la estación de Guadarranque como consecuencia de la proximidad del puerto de Algeciras y de las actividades de la terminal de bombeo de la industria petroquímica (León *et al.*, 2011). En lo que respecta a los niveles de PCBs y DDTs obtenidos en la red de mejillón del IEO, los



resultados indican que en esta demarcación no existen fuentes terrestres importantes de estas sustancias, debido quizá al menor y más tardío desarrollo industrial de esta costa en comparación con otras demarcaciones, reafirmando que los aportes atmosféricos constituyen una importante vía de entrada de este tipo de compuestos, especialmente en mar abierto.

Los resultados de la red de mejillón del IEO fueron complementados con los obtenidos, durante el periodo 2004-2006, utilizando mejillones transplantados y fondeados durante 3 meses en 9 zonas costeras de interés, en donde ya se había producido una dilución de la carga contaminante. Para metales traza (Hg, Cd, Pb y Ni), los niveles de Pb, Hg y Ni obtenidos se categorizaron de moderados a bajos y solo en el caso del Cd se identificaron niveles muy altos en Adra y altos en Torrox, Almería y cabo de Gata (Benedicto *et al.*, 2011). Para los HAPs las concentraciones fueron moderadas y bajas en todas las estaciones del estudio (Galgani *et al.*, 2010), confirmando las bajas concentraciones detectadas con mejillón natural, que únicamente fueron ligeramente superiores en Málaga, debido fundamentalmente a la presencia de naftaleno. Los niveles de compuestos organoclorados obtenidos en este estudio (Scarpato *et al.*, 2010) mostraron en todas las estaciones concentraciones indetectables lindano y su isómero, muy bajas de PCBs y concentraciones bajas de la suma de los DDT y sus metabolitos (DDD y DDE). En la mayoría de las estaciones, con la excepción de Fuengirola, Marbella, Algeciras, Ceuta y Melilla, los niveles de *pp'* DDT estuvieron por debajo del límite de cuantificación. A nivel comparativo con otras zonas incluidas en el estudio, se observó que en las estaciones de Málaga, Fuengirola o Marbella, donde está el mayor grado de urbanización de la costa, las concentraciones de PCBs fueron entre 4 y 6 veces inferiores a las detectadas en mejillones de Barcelona, zona donde se midieron las concentraciones más altas de PCBs de toda la costa mediterránea peninsular.

En aguas costeras más profundas, la información reciente sobre la presencia de SQP es escasa y está limitada a los datos obtenidos por el IEO en su evaluación integrada de las bahías de Almería y Málaga utilizando salmonete de fango (*Mullus barbatus*) a más de 50 m y sedimentos superficiales, obtenidos a profundidades comprendidas entre 60-220 m. Los resultados obtenidos en sedimentos muestran concentraciones muy bajas de PCBs, DDT y de sus productos de degradación, mientras que los niveles de otros compuestos organoclorados, como hexaclorobenceno, lindano y su isómero α , aldrín, isodrin endrín y dieldrín, no fueron detectables en la mayoría de las muestras. Estos resultados confirman las conclusiones de una recopilación reciente (Gómez-Gutiérrez *et al.*, 2007) sobre las concentraciones de COPs (PCBs, hexaclorobenceno y DDT y sus metabolitos) en sedimentos superficiales del mar Mediterráneo, tanto costeros como de mar abierto, que establecía para el mar de Alborán niveles muy inferiores a los de otras zonas del Mediterráneo noroccidental, o del mar Adriático, impactadas por un mayor grado de industrialización y



presión urbana. Para el salmonete de fango, las concentraciones de hexaclorobenceno, lindano, PCBs, DDT, DDE y DDD, fueron en general bajas, excepto para algunos ejemplares de la bahía de Málaga en los que se detectaron altas concentraciones de PCBs. En cuanto a los HAPs en sedimentos, sus niveles en estas dos zonas fueron bajos, pero ligeramente superiores en la bahía de Málaga, la cual presenta una distribución más heterogénea, y significativamente inferiores a los detectados en sedimentos costeros de la bahía de Algeciras, que llegan a superar los $0,3 \text{ mg kg}^{-1}$ de peso seco (González-Fernández *et al.*, 2007).

En mar abierto, en donde existe una mayor contribución de fuentes difusas de SQP, tales como deposición atmosférica, aerosoles, polvo sahariano, etc., hay que tener en cuenta la carga contaminante de las aguas atlánticas superficiales (0-100 m) que penetran en el mar de Alborán ya que contribuye de una manera muy importante a los flujos y concentraciones de metales traza, PCBs y DDTs en el mar Mediterráneo. Estudios sobre el flujo de metales a través del estrecho de Gibraltar, han proporcionado evidencias de que la masa de agua procedente del Golfo de Cádiz, está enriquecida en metales traza disueltos, alcanzando factores de enriquecimiento de 2,3 para el Cu, 2,4 para el Cd y 3 para el Zn (Elbaz-Poulichet *et al.*, 2001). El origen de los metales traza presentes en el flujo atlántico es atribuido al cinturón pirítico Ibérico, uno de los mayores depósitos a nivel mundial de sulfuros ricos en metales. Así mismo, la entrada de PCBs y DDTs también es muy significativa y puede contribuir con un incremento anual del 4,4 % y del 4,7 %, respectivamente, de estos compuestos en el mar Mediterráneo (Gómez, 2003).

La calidad de las aguas del mar abierto también ha sido estudiada utilizando delfines comunes (*Delphinus delphis*) como bioindicadores. Al ser depredadores situados en la cima de la cadena trófica y tener una alta movilidad, los delfines integran los procesos de transferencia y dispersión, y son capaces de resumir los procesos de biotransformación y bioacumulación que los compuestos organohalogenados han sufrido durante su paso a través de los sistemas biológicos. Los resultados obtenidos con ejemplares procedentes del Atlántico y del mar de Alborán (Borrel *et al.*, 2001) pusieron de manifiesto que las concentraciones de todas las formas de DDTs eran significativamente más altas en el mar de Alborán que en el Atlántico, que el valor medio de la relación PCBs totales/DDT totales en los delfines del Mediterráneo denotaban una mayor relevancia de las fuentes de origen agrícola frente a las industriales, y que las concentraciones estaban en el rango más bajo de las detectadas en otras especies de delfines de la misma región y periodo considerado.

Dada la particular importancia del transporte atmosférico de contaminantes, de los procesos en la interfase aire-agua y de la circulación marina, las aguas abiertas deberían ser áreas prioritarias de estudio en los programas de seguimiento de la contaminación marina, con particular referencia a los procesos de transferencia trófica y bioacumulación en organismos



que habitan en esos ambientes. Se han encontrado concentraciones bajas de PCBs, DDE, lindano y HAPs en partículas sedimentarias de muestras profundas de agua (250, 500 y 1000 m) en comparación con otras áreas del Mediterráneo occidental y otros océanos (Dachs *et al.*, 1996). Asimismo, se ha detectado la presencia de dimetil-mercurio gaseoso disuelto en zonas profundas, con una concentración máxima por debajo de la termoclina, en donde los niveles de oxígeno eran bajos (Cossa *et al.*, 1994). Esta presencia constituye una reserva importante de mercurio metilado que podría acumularse en peces pelágicos de ambientes profundos de este mar.

Como resumen, se puede concluir que el grado de conocimiento del estado de la contaminación por SQP en las zonas costeras de la Demarcación del Estrecho y Alborán es amplio para una serie de contaminantes, que por su toxicidad, persistencia y poder de bioacumulación se consideran prioritarios y son cuantificados con cierta regularidad en biota y sedimentos. Menor atención han recibido los ambientes profundos, por lo que el grado de conocimiento sobre la contaminación global en esta demarcación y los procesos oceánicos que gobiernan el transporte y destino final de los contaminantes es escaso y poco actualizado, sobre todo en cuanto a los niveles de SQP en las interfases termohalinas, en la columna de agua, en la materia particulada, en aerosoles marinos, en agua intersticial, en la lámina superficial agua-atmósfera y sobre su posible incorporación en la cadena trófica (peces pelágicos, plancton y bentos). Son, por tanto, necesarios estudios regulares para determinar el estado de la contaminación por sustancias químicas peligrosas en aguas del mar abierto, con el fin de evaluar correctamente su papel como destino final de los contaminantes.



3. CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICAS

3.1. Hábitats

Según Robles (2010), el Mediterráneo constituye una de las mayores zonas de reserva de la biodiversidad marina y costera, con un 28 % de especies endémicas y un 7,5 % de la fauna y un 18 % de la flora marina mundial. La literatura científica ha descrito comunidades biológicas excepcionales, caracterizadas por una elevada tasa de endemismos, una gran variedad de taxa en aguas profundas asociadas a montes submarinos, arrecifes de coral de aguas frías y cubetas hipersalinas. En particular, la costa norte de Alborán es una región con una elevada biodiversidad tanto terrestre como marina y se estima que hay varios miles de especies marinas en la zona, sin embargo, no existe ningún inventario completo a nivel de organismo.

El mar de Alborán es una zona de confluencia de tres regiones: la Lusitana (templada-fría), la Mauritana (cálida) y la Mediterránea propiamente dicha, por lo que en su fauna y flora marina aparecen especies pertenecientes a la fauna templada del Atlántico europeo, otras propias del Mediterráneo y otras de carácter subtropical del noroeste africano, a las que se unen diversas especies endémicas propias. Todo ello hace que sus costas alberguen la mayor diversidad de especies de los mares europeos.

De igual modo, el mar de Alborán, se puede considerar una de las zonas más atractivas para ciertas especies marinas, sobre todo las tortugas marinas, los cetáceos y los grandes peces pelágicos. Asimismo, la presencia del coral rojo (*Corallium rubrum*), particularmente en las inmediaciones de la isla de Alborán y en la isla submarina de Tofiño, considerada hoy como especie rara, y la presencia de ciertos bivalvos como el dátil de mar (*Litophaga lithophaga*), clasificada en estado de extinción, prueba el valor ecológico de estas aguas. Los cañones submarinos, bien representados en Alborán, constituyen hábitats esenciales para el ciclo vital de algunas especies que presentan elevadas densidades, así como altos índices de reclutamiento para la macro y megafauna, como por ejemplo ocurre con la gamba roja (*Aristeus antennatus*). Además, son también áreas con una importante incidencia de endemismos, por ejemplo de hidromedusas. Por lo tanto, se puede concluir que en la presente Demarcación existen hábitats que constituyen auténticos puntos calientes para la biodiversidad albergando ecosistemas frágiles.



3.1.1. Ecosistema pelágico

Dinámica de fitoplancton y variabilidad regional

Buena parte de la información utilizada en la redacción del siguiente apartado procede del informe sobre características bióticas del mar de Alborán elaborado por ALNITAK disponible en la página web: <http://www.alnitak.info>.

En el mar de Alborán conviven especies de origen mediterráneo y de origen atlántico, por lo que se puede afirmar que presenta una gran diversidad de especies planctónicas. Los cambios estacionales e interanuales, en las comunidades planctónicas del área noroccidental del mar de Alborán, han sido investigados en estudios recientes (Ramírez *et al.*, 2005; Mercado *et al.* 2005; Mercado *et al.* 2007; Mercado *et al.*, 2008a, Mercado *et al.* 2008b). El valor más alto de clorofila *a*, a la profundidad del máximo de clorofila, fue obtenido en abril (2,57 mg m⁻³, valor medio), mientras la menor biomasa del fitoplancton corresponde a la campaña de invierno (0,74 mg m⁻³, valor medio), encontrándose, en general, un fuerte acoplamiento entre las variaciones espaciales y estacionales de la biomasa fitoplanctónica con las características hidrológicas y químicas de la zona noroccidental del mar de Alborán. Además, algunos estudios realizados en la bahía de Málaga, demuestran que existen tres pulsos de producción primaria: en febrero, abril-mayo y septiembre, aunque también se ha descrito un pulso invernal de fitoplancton.

Según Mercado *et al.* (2005), la variabilidad interanual de las comunidades fitoplanctónicas en el área de afloramiento del mar de Alborán es más significativa que la variabilidad estacional. La abundancia de fitoplancton (200 células ml⁻¹) es alta en comparación con los valores descritos en la bibliografía para áreas adyacentes. Aunque está en concordancia con los valores de clorofila *a* publicados para el mar de Alborán, que definen en su zona noroccidental un bien delimitado y enriquecido *patch* de fitoplancton (Arias, 1975; Cortés *et al.*, 1985; Rodríguez *et al.*, 1997; Gómez *et al.*, 2000). Las modificaciones en el régimen de nutrientes pueden ser responsables de los cambios interanuales en la estructura de la comunidad del fitoplancton. Así, en épocas de elevadas concentraciones de nutrientes, se han observado comunidades de fitoplancton dominadas por diatomeas y pequeños flagelados, mientras que las diatomeas son desplazadas por cocolitofóridos en épocas de mayor estabilidad en las concentraciones. Mercado *et al.* (2007) concluyeron que estos cambios interanuales podrían estar conectados con patrones generales de cambio en eventos climáticos (frecuencia e intensidad de los vientos locales), y en la circulación a través del estrecho de Gibraltar.

En base a los resultados obtenidos en la campaña del IEO "Ictio-Alborán 0792" y en función de la abundancia de fitoplancton se pueden diferenciar cinco zonas en el mar de Alborán en relación con los procesos hidrológicos. Las zonas con una mayor concentración de



fitoplancton se localizan en la cuenca oriental y al SE y NE del Estrecho. La primera zona está asociada a la corriente de agua oceánica y al área cercana a la costa afectada por la misma, hasta los 35° 30' N y 5° O. La segunda y la tercera coinciden con las áreas de circulación ciclónica, donde se produce el afloramiento de aguas subsuperficiales, pero también se observa una gran abundancia de fitoplancton en la bahía de Almería, sin una causa hidrodinámica aparente. Por su parte, las zonas especialmente pobres en fitoplancton se localizan en las áreas de convergencia de aguas superficiales, identificadas en los sectores sudoccidental y sudoriental de la cuenca. Esto pone de manifiesto una diferencia en cuanto a la abundancia de fitoplancton entre la parte Norte y la Sur del mar de Alborán.

Según datos del IEO, la distribución del bacterioplancton está relacionada con los máximos de concentración de clorofila, localizados en dos zonas en concreto. Una es una zona de divergencia de aguas profundas y la otra se localiza en el punto de contacto entre el giro anticiclónico sudoccidental y el giro ciclónico oriental.

Dinámica de zooplancton y variabilidad regional

En el mar de Alborán conviven especies de zooplancton atlánticas y mediterráneas, que hace que las poblaciones de zooplancton, pelágicas y neríticas, presenten una gran diversidad; lo que sumado a la elevada producción primaria de la zona conlleva que la biomasa de zooplancton sea muy elevada.

El régimen hidrológico del mar de Alborán determina claramente las distribuciones ictioplanctónicas y controla los patrones horizontales y verticales de la productividad del plancton en esta cuenca. Se ha confirmado que los giros anticiclónicos son sustentadores de una menor productividad biológica que los ciclónicos. En estos últimos, el ascenso de aguas más frías y nutritivas favorece el crecimiento del fitoplancton, la penetración de la luz es menor y el máximo subsuperficial de clorofila se sitúa a un nivel más superficial.

Las diferencias térmicas encontradas en las capas superficiales y en las intermedias permiten dividir, *grosso modo*, el área de estudio en cuatro sectores delimitados latitudinalmente por el paralelo 36° N (para las aguas intermedias) y longitudinalmente por el meridiano 4° O (para las más superficiales). Para el boquerón y la alacha (pelágicos costeros) dicha longitud separa las abundancias máximas de los huevos y larvas de estas especies dominando los componentes del boquerón en el sector occidental (más frío en las capas superficiales y con aguas de carácter más atlántico) y de la alacha en el oriental (más cálido en dichos niveles y de aguas más mediterráneas). Para las larvas de diferentes especies de mesopelágicos (cuyos adultos viven fuera de la plataforma, en aguas profundas) al norte de dicho paralelo dominan las pertenecientes a especies de carácter ártico-boreal, como *Benthosema glaciale*, y al sur las de naturaleza templada-subtropical, como *Ceratoscopelus maderensis*.

En mar abierto, la hidrodinámica del área determina un claro desplazamiento general del



ictioplancton en sentido Oeste-Este, por efecto del chorro atlántico entrante que sigue esa dirección y provoca también el movimiento de las aguas adyacentes en igual sentido.

Entre la costa y el mar abierto deben producirse intercambios importantes entre el agua de la plataforma y del talud (en ambas direcciones), lo que explicaría tanto la presencia de larvas de especies típicamente neríticas en aguas oceánicas, como las pertenecientes a los mictófididos en estaciones costeras. Este fenómeno debe verse favorecido por la estrechez de la plataforma continental en el mar de Alborán.

En la zona costera septentrional han estado presentes, a lo largo de todo el ciclo estacional considerado (primavera, verano y otoño), las larvas de peces de diferentes grupos taxonómicos (mictófididos, espáridos, góbidos, callyonimidos, blénidos y bótidos) y de la especie *Capros aper* (ochavo). Aunque los valores encontrados en el análisis de la variación estacional de la diversidad larvaria muestran un valor ligeramente superior en verano sugieren una persistencia temporal de la estructura de la comunidad ictioplanctónica, en la que las sustituciones de especies dominantes no altera sustancialmente la distribución de las abundancias relativas.

La bahía de Málaga, aunque no ha presentado en ningún año concentraciones importantes ni de huevos ni de larvas de peces (en cuanto a la totalidad de especies), es de gran importancia para la fase de alevinaje de numerosas especies. La diversidad estival encontrada para las larvas de peces fue la mayor de todo el mar de Alborán. Para el caso concreto del boquerón esta bahía sí ha resultado ser una localización decisiva, donde esta especie desarrolla todo su ciclo vital (presencia de huevos, larvas, juveniles y adultos) a lo largo del año. Por ello, interpretamos que debe tratarse de una población de escasos movimientos migratorios.

Los cambios interanuales e interestacionales en las condiciones climáticas e hidrológicas tienen también consecuencias en las poblaciones de pequeños pelágicos (Cortés, 2007; García, 2007; Mercado *et al.*, 2007), que tienen en las costas mediterráneas españolas algunos de sus hábitats más importantes. Por ejemplo, los cambios estacionales afectan significativamente al crecimiento larvario y a la condición nutricional de las larvas de sardina (*Sardina pilchardus*), incrementándose las tasas de crecimiento en términos de longitud del cuerpo, acoplada al incremento en masa somática (expresada mediante el contenido en ADN) durante la primavera, época que se corresponde con las concentraciones más altas de clorofila *a* en la zona noroccidental del mar de Alborán. Los cambios en la composición del fitoplancton podrían indicar una modificación sustancial de la calidad del alimento disponible para las larvas de sardina (Mercado *et al.*, 2007).



3.1.2. Ecosistema bentónico y demersal

3.1.2.1. Sustratos blandos

Praderas de fanerógamas marinas

A pesar de constituir uno de los ecosistemas más diversos del lecho arenoso del mar de Alborán no están lo suficientemente estudiados. Presentan un importante papel como productores primarios y diversificadores del espacio, lo que hace en ellas muchas especies encuentren alimento, refugio y un lugar para reproducirse.

En general, se distribuyen desde el límite inferior de bajamar hasta los 50-60 m de profundidad, y la profundidad máxima a la que se pueden encontrar va a depender de la transparencia del agua y de la intensidad de la luz.

En el mar de Alborán aparecen cuatro especies autóctonas: *Zostera marina*, *Zostera noltii*, *Posidonia oceanica* y *Cymodocea nodosa*, considerándose que todas ellas están en clara regresión, salvo en zonas puntuales como la Reserva marina del Parque Natural de Cabo de Gata-Níjar. Para otras especies, el mar de Alborán representa su límite de distribución, como en el caso de *Zostera marina*, que solo aparece en algunas zonas muy concretas del Mediterráneo (Robles, 2010).

Las principales amenazas para las praderas de fanerógamas marinas son la pesca ilegal de arrastre, la extracción de arenas para la regeneración de playas, la construcción de infraestructuras costeras, los dragados de puertos, la cantidad de sólidos en suspensión y los vertidos de las plantas desalinizadoras.

Posidonia oceanica

Se considera que el ecosistema marino más importante, complejo y extendido del mar de Alborán son las praderas de *Posidonia oceanica*, endémica del mar Mediterráneo, y están consideradas como una especie prioritaria de conservación en las directivas de la UE. En el mar de Alborán norte se han catalogado 8.955 hectáreas de *Posidonia oceanica*, siendo Almería, con 8.239 hectáreas, la provincia con mayor extensión. Existen 65 localizaciones, 45 en Almería, 9 en Granada y 11 en Málaga.

Las principales amenazas observadas en la conservación de las praderas de *Posidonia oceanica* son: la pesca de arrastre practicada ilegalmente, los vertidos y el enterramiento por arenas. Las praderas de *Posidonia oceanica* se encuentran en buen estado de conservación, especialmente en la provincia de Almería, sin embargo, la situación local de algunas de ellas hace que se deban extremar las medidas de vigilancia y que se deban plantear y diseñar actuaciones para mitigar las principales amenazas o riesgos que se detectan como posibles causantes de su degradación. Estas amenazas son, en algunos casos,



la práctica de la pesca de arrastre en zonas no permitidas y los vertidos realizados sin control en localizaciones puntuales de la costa andaluza. En otros casos las causas no están aún claras y se deberá profundizar en estos temas mediante estudios que actualmente ya está llevando a cabo la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía (Robles, 2010).

Entre las praderas que puedan estar sufriendo algunas de estas agresiones destacamos: las del Monumento Natural Arrecife-Barrera de Posidonia, las de Villaricos y las de Cocedores (las tres en Almería), las del Tramo Castillo de Baños-Castell de Ferro (en Granada) y las de Molino de Papel (en Málaga), donde se produjo una importante avenida a causa de las lluvias torrenciales acaecida en el año 2007.

La *Asterina pancerii* vive generalmente asociada a *Posidonia oceanica* y debido a su reducida movilidad y a su tipo de reproducción, que carece de fase larvaria pelágica, es muy sensible a las regresiones de esta fanerógama. Por las mismas razones, su tipo de distribución suele ser de tipo contagioso, centrándose en áreas muy concretas. Las mejores poblaciones del litoral andaluz se encuentran en Almería, siendo la de El Calón la más importante de las detectadas en Andalucía, y probablemente de todo el litoral español. Esta población se encuentra en buen estado de conservación. Sin embargo, el carácter gregario de la especie la hace especialmente vulnerable a las agresiones que pueda sufrir localmente.

Otra especie asociada a praderas de *P. oceanica* es *Pinna nobilis*, que solo ha sido detectada en la vertiente oriental andaluza (Málaga, Granada y Almería). Es un bivalvo cuyas poblaciones se encuentran en regresión en todo el Mediterráneo, debido, entre otras causas, a la destrucción de su hábitat y a su captura accidental o intencionada. Las mejores poblaciones en Andalucía se encuentran en Almería pero, aunque éstas están en general bien conservadas (las estimas de densidad se mantienen estables según la bibliografía), se han detectado numerosos impactos sobre esta especie que podrían ponerlas en peligro en el futuro. Los principales impactos observados sobre sus poblaciones son fundamentalmente la pesca ilegal y el buceo masivo.

Cymodocea nodosa

Existen 1.530 hectáreas de pradera de *Cymodocea nodosa*, el 99,7 % de ellas en Almería y el resto en Granada., aunque ha sido observada en 59 localidades (10 en Málaga, 13 en Cádiz, 7 en Granada y 28 en Almería). En Málaga y Granada se encuentra en franca regresión, siendo la principal amenaza para la especie la pesca de arrastre ilegal.

Zostera marina

En 2009 se confirma la situación alarmante de dicha especie en Andalucía. En Málaga no se observa la especie desde 2006; en Granada se ha confirmado la presencia de una mata suelta en Velilla; en Almería se encuentra de forma testimonial en la Cala de En medio.



La situación de *Zostera marina* en Andalucía es crítica. Esta fanerógama, propia de aguas frías atlánticas, poseía interesantes praderas en el mar de Alborán, principalmente en Málaga, Granada y Almería. En los últimos 3-4 años la especie ha entrado en una profunda regresión que la ha llevado a desaparecer casi por completo, debido probablemente a la pesca de arrastre ilegal. Aunque al tratarse de una especie atlántica, el progresivo calentamiento de las aguas no favorece su mantenimiento en Andalucía.

Zostera noltii

Zostera noltii es una especie relativamente frecuente en las costas atlánticas andaluzas, generalmente asociada a los estuarios de los grandes ríos y siendo menos abundante en la vertiente mediterránea. En el Mediterráneo presenta una distribución infralitoral y generalmente aparece formando praderas mixtas con *Cymodocea nodosa*. Aparece en diversos puntos del litoral almeriense y en 2008 se citó por primera vez en Motril, en la provincia de Granada, aunque no se ha vuelto a observar la presencia de esta especie en las inmediaciones del puerto de Motril.

Los fondos de Maërl

Los fondos de Maërl están formados por algas calcáreas, vivas y muertas, principalmente por rodófitas libres y articuladas de las familias Corallinaceae y Peyssonneliaceae, siendo las especies más características la *Phymatolithon calcareum* y la *Lithotammion coralloides*. Estos ecosistemas son tan importantes como los bosques de laminariales y las praderas de fanerógamas por contener una gran diversidad de flora y fauna. Teniendo además una gran importancia como zona de desove y cría para muchas especies (Robles, 2010).

Debido a sus características biológicas (baja tasa de crecimiento, naturaleza calcárea, requerimientos de aguas de calidad...) se trata de comunidades muy sensibles a las presiones antropogénicas.

3.1.2.2. Sustratos rocosos

Los bosques de laminariales

En los bosques de laminariales, debido a la gran diversidad de formas presentes, son ecosistemas de una riqueza específica muy alta. En ellos se forman un gran número de hábitats y micro hábitats en los que se encuentran una gran diversidad de fauna y flora. En el mar de Alborán se pueden encontrar cuatro especies de laminariales: *Laminaria ochroleuca*, *Phyllariopsis purpurancens*, *Phyllariopsis brevipes* y *Saccorhiza polyschides*; de las que *L. ochroleuca* está incluida en el Anexo I del Convenio de Berna como especie de flora estrictamente protegida. Los bosques de laminariales formados por *L. ochroleuca* y *S. polyschides* en el mar de Alborán son los de mayor porte de todo el litoral español, llegando



a alcanzar los 4 m de altura. Mientras que especies del genero *Phyllariopsis* formarían el sotobosque (Robles, 2010).

Centrostephanus longispinus es un equinoideo muy raro en fondos someros y más abundante en el circalitoral, aunque no vive en todo tipo de sustratos y condiciones. Aparece en el litoral andaluz en fondos rocosos con elevada sedimentación, entre 20 y 30 m de profundidad (en Granada aparece a menor profundidad ligado a zonas de cuevas o como migrador de entornos cercanos profundos). Se encuentra en todas las provincias. En la provincia de Málaga es donde mejor representada está la especie, seguida de las provincias de Almería, Cádiz y Granada. Las poblaciones de la especie se encuentran muy fragmentadas. Sin embargo, en ciertas localidades de la costa occidental de la provincia de Málaga, éstas se encuentran en bajos rocosos con grietas y cuevas, entre 20 y 30 m de profundidad, donde el puercoespín marino es más abundante que en otros fondos de iguales características del litoral andaluz. La especie es cada vez más escasa en las aguas de esta Demarcación debido a la pesca accidental por parte de los artes de arrastre, a la captura por parte de buceadores, a la reducción de sus hábitats naturales y a la degradación general de los océanos y mares.

El gasterópodo *Dendropoma petraeum* es una especie endémica del mar Mediterráneo. En Almería, se estima una ocupación de 50 km lineales de costa, siendo además la provincia donde mejor aparece representado (Rodalquilar con 1.100 m² de plataforma). Las mayores densidades también se observan en Almería, con valores de 160.000 ind m⁻². La densidad de individuos adultos m⁻² máxima y mínima varía mucho según sean las formaciones (ejemplares aislados, costras o arrecifes).

Las poblaciones no sufren grandes amenazas y los valores de densidad de individuos se mantienen estables. Los principales impactos que afectan a esta especie son la contaminación de las aguas superficiales y la destrucción de su hábitat, y en menor medida el pisoteo por parte de bañistas. Además, debido al tipo de formación que desarrollan, es una especie que podría verse afectada por las fluctuaciones del nivel del mar derivadas del cambio climático.

Astroides calycularis es un cnidario cuyas poblaciones se encuentran en regresión en todo el Mediterráneo. Esto es debido, entre otras causas, a la destrucción de su hábitat, a la contaminación y a su captura accidental o intencionada. Aparece en todas las provincias andaluzas del mar de Alborán. En las provincias de Granada y Cádiz es donde mejor representada está, con presencia en 28 y 27 localidades, respectivamente. Las mejores poblaciones se encuentran en Granada, con las mayores densidades medias en casi todos los rangos de profundidad y las coberturas oscilan en torno al 90 % en casi todas las localidades.

A partir de los resultados del seguimiento realizado por la Junta de Andalucía en diferentes



localidades en todas las provincias, se estimó una densidad media de la especie por rangos de profundidad y por provincia. Los datos indican que en el rango de 0-5 m son Cádiz y Granada las que arrojan unos valores más altos, con más de 28.000 pólipos m^{-2} . Los valores obtenidos en Almería y Málaga, para este rango de profundidad, son similares y cuentan con más de 24.000 pólipos m^{-2} . En el rango de profundidad de 5-7,5 m, Granada presenta la mayor densidad, con valores superiores a los 28 000 pólipos m^{-2} , seguida de Málaga y Cádiz con valores similares, superiores a los 24.000 pólipos m^{-2} y Almería con más de 22.000 pólipos m^{-2} . En el rango batimétrico de 10-15 m Granada tiene valores de densidad de más de 28.000 pólipos m^{-2} y Cádiz de 26.500 pólipos m^{-2} . En cuanto a la cobertura del sustrato, los valores oscilan entre el 80 % y 95 % en todas las provincias, siendo algo menores en Málaga.

Los resultados del seguimiento indican que las poblaciones no sufren grandes amenazas, aunque se han detectado impactos sobre esta especie que podrían ponerlas en peligro en el futuro. Uno de estos impactos es la recolección llevada a cabo por aficionados a la acuariofilia, que en muchos casos desconocen su catalogación como vulnerable y la prohibición de extraer colonias del medio.

Los datos sobre la caracola *Charonia lampas*, acerca de las tallas (medida de longitud total), muestran que predominan los ejemplares medianos y pequeños, lo que apoyaría la teoría de la extracción selectiva de los ejemplares grandes por parte de buceadores. Su concha tiene valor para coleccionistas y como souvenir de tiendas, lo que hace que sea objeto de captura furtiva, lo que supone una amenaza añadida. La especie prácticamente no se observa en Andalucía. Es necesario minimizar los daños que producen sobre la especie la captura accidental de la misma por parte de arrastreros y trasmalleros. La caracola es capturada accidentalmente por los barcos que pescan al arrastre por lo que hay una retirada continua de ejemplares del medio natural. Se sabe que se comercializa en la lonja de Almería y se ha detectado su venta en algunos mercados de Málaga y Granada en diferentes épocas del año y sus conchas se exhiben frecuentemente en establecimientos de todas las provincias. Según Templado *et al.* (2004), en la isla de Alborán sus poblaciones se mantienen gracias a su aislamiento del continente y a la ausencia de contaminación y vertidos.

Patella ferruginea se distribuye por la costa mediterránea y de forma puntual en la Atlántica. Las mejores poblaciones se encuentran en Cádiz (Estrecho) y en la isla de Alborán. La especie, endémica del mediterráneo, se ha encontrado en la costa mediterránea y de forma aislada en la atlántica, desde San José (cabo de Gata) hasta el cabo de Gracia (límite del Parque Natural del Estrecho). Las mejores poblaciones se encuentran en la provincia de Cádiz (Estrecho y zona mediterránea) y en la isla de Alborán (Almería), aunque también está presente de forma dispersa por las provincias de Málaga, Granada y Almería.

El seguimiento llevado a cabo sobre esta especie indica que aunque se produce



reclutamiento de juveniles de forma frecuente en localidades de la bahía de Algeciras, no existe una población con una estructura de edades que asegure la viabilidad de la especie en la zona. La razón probable es la desaparición sistemática y selectiva de los individuos de gran tamaño (>60 mm) por el marisqueo practicado de forma ilegal. Por lo que, a pesar de existir una constante incorporación de juveniles procedentes probablemente de Ceuta o Gibraltar (se desconoce en la actualidad), nunca llegan a convertirse en individuos maduros reproductores (en su mayoría hembras). La viabilidad de estas poblaciones, de no existir incorporaciones desde otras poblaciones, estaría gravemente amenazada. Por otro lado, localizaciones más aisladas, como la isla de Alborán, a pesar de mantener individuos de gran tamaño (con individuos maduros de ambos sexos) no registran estos fenómenos de reclutamiento procedentes de núcleos reproductores cercanos y esto hace que en estos lugares la situación de la especie sea crítica. Esto implica la necesidad de proteger las zonas donde se produce reclutamiento. Las citas de presencia de la especie hasta 2004 eran muy escasas como las de Grandfils (1982), Luque (1986), García-Gómez (1983) o Paracuellos *et al.*, (2003).

En la costa occidental de Andalucía (bahía de Algeciras y Sotogrande) apenas existen ejemplares de gran talla (de más de 60 mm), es decir, grandes hembras reproductoras. Sí se observa, por el contrario, una buena representación de individuos de pequeñas tallas (inmaduros y machos) en las mismas zonas. Puesto que no existen hembras en la zona es muy probable que estos reclutamientos constatados procedan de poblaciones donantes (en buen estado de conservación, probablemente procedentes de Ceuta). La mayoría de las zonas con presencia de *Patella* en Andalucía occidental son escolleras de puertos, de fácil acceso para el hombre.

A medida que nos desplazamos hacia la costa oriental, el número de ejemplares hembras es mayor, coincidiendo con zonas de difícil acceso como Calaburras y peñón del Fraile (Málaga), Puerto de Motril (Granada) e isla de Alborán (Almería), como ya señalaron Paracuellos *et al.* (2003). Sin embargo, estas localidades no parecen tan favorables (según los datos recopilados en los últimos años) para el asentamiento de nuevos reclutas. Las zonas donde se ha constatado el reclutamiento de la especie, coinciden generalmente con lugares muy accesibles para el hombre, donde los ejemplares más grandes son capturados. Esto impide la incorporación de hembras (efectivos de tallas mayores) poniendo en peligro la viabilidad de la población. Sin embargo, las zonas más inaccesibles no parecen tan favorables para el reclutamiento.

3.1.3. Hábitats protegidos

En la zona del mar de Alborán los principales hábitats protegidos son las praderas de



fanerógamas, en concreto las formadas por *Laminaria ochroleuca* por estar esta incluida en el anexo I del Convenio de Berna como estrictamente protegida, los bosques de laminariales, de forma particular los formados por *Posidonia oceanica* que está considerada como prioritaria de conservación en las directivas de la UE, y los fondos de Maërl, al menos los formados por *Phymatolithon calcareum* y *Lithothamnion corallioides*, ambas especies protegidas a diferentes niveles (anexo I y V de la Directiva Hábitat y los Convenios Internacionales de Barcelona (1995) y Berna (1996), entre otros (Peña y Bárbara, 2007)).

Además de las figuras legislativas internacionales mencionadas, las principales zonas amparadas por alguna figura de protección ambiental son la Isla de Alborán y los fondos marinos de su entorno (Reserva Marina y de Pesca, Paraje Natural, ZEPA y ZEPIM), los Fondos Marinos del Levante Almeriense (ZEPIM), el Cabo de Gata-Níjar (Reserva de la Biosfera, Parque Natural, Reserva Marina y de Pesca, ZEPA, RAMSAR y ZEPIM), zona del Estrecho (ZEPA y Parque Natural) y el Arrecife Barrera de *Posidonia* de Roquetas de Mar (Monumento Natural) (Robles, 2010).

3.2. Especies

3.2.1. Fitoplancton y zooplancton

La producción biológica en el mar de Alborán, en sus primeros niveles, resulta interesante por que es la primera cuenca mediterránea en recibir las aguas superficiales del Atlántico, más ricas que las aguas del Mediterráneo, conservando prácticamente las mismas características de temperatura y salinidad que tenía en el Golfo de Cádiz. El mar de Alborán es uno de los lugares donde pueden encontrarse tasas de producción primaria más elevadas, debido a varios procesos que favorecen la inyección de nutrientes en las capas superiores bien iluminadas.

Para las comunidades planctónicas, el mar de Alborán presenta las peculiaridades derivadas de la mezcla de aguas atlánticas y mediterráneas. La presencia de aguas atlánticas sobre las mediterráneas permite una diversidad alta y la subsistencia de especies que se vuelven más raras hacia el este. Una mayor densidad y biomasa planctónica que en el resto del Mediterráneo está basada en unas pocas poblaciones, sobre todo del copépodo *Paracalanus parvus*.

La biomasa y la diversidad del plancton varían a lo largo del año de forma cíclica y dentro del proceso de sucesión. Esta variación es particularmente rápida debido a los profundos cambios del medio y a la corta vida de los organismos. En general, el ciclo de producción planctónica, que soporta el resto de la cadena trófica, viene caracterizado por un máximo de producción primaveral, otro estival y un tercero de menor cuantía en el periodo otoñal. Esta



circunstancia es característica de mares y océanos subtropicales, pero las especiales características y la heterogeneidad hidrológica del mar de Alborán tienen gran influencia en el ciclo anual de producción planctónica (Camiñas, 1983).

3.2.2. Peces

3.2.2.1. Peces pelágicos

Los peces pelágicos pertenecen al necton, es decir, son aquellos animales capaces de nadar activamente y cuyo desplazamiento no está determinado por las corrientes de agua. Esto les permite desplazarse grandes distancias en un día, por lo que están adaptados a las exigencias de natación continua, con siluetas fusiformes y un sistema circulatorio eficiente (Helfman *et al.*, 1997). El término “peces pelágicos” se usa aquí como sinónimo de peces epipelágicos, o sea, aquellos peces que nadan en los 200 m superiores de zonas costeras y de mar abierto.

Los cañones presentes en la plataforma continental podrían actuar como barreras que desvían las corrientes costeras y como sustentadores de una abundancia y biomasa de peces superiores a la de zonas próximas.

Entre los peces pelágicos presentes en el mar de Alborán, destacan las especies pertenecientes a las familias de los Clupeidos, los Engráulidos, los Escómbridos, los Túnidos y los Carángidos; casi todos ellas con interés comercial.

Los principales representantes de la familia de los Clupeidos en el mar de Alborán son la sardina (*Sardina pilchardus*), la alacha (*Sardinella aurita*) y el espadín (*Clupea spratus*), aunque también es abundante un miembro de la familia Engraulidae, la anchoa o boquerón (*Engraulis encrasicolus*).

Otra especie de pequeños peces pelágicos abundantes en el Mar de Alborán son el pez plata (*Argentina sphyraena*), la boga (*Boops boops*), la aguja (*Belone belone*), el pez volador (*Exonautes rondeleti*), el jurel (*Trachurus trachurus* y *T. mediterraneus*) y varias especies correspondientes a la familia Myctophidae, especialmente *Benthosema glaciale* y *Myctophum punctatum*.

Dependiendo de la estación, también son abundantes los túnidos como la caballa (*Scomber scomber*) y la melva (*Auxis thazard*). Otro túnido presente es el atún rojo (*Thunnus thynnus*), que lleva a cabo migraciones anuales entre el Atlántico y el Mediterráneo, entrando los adultos hacia el Mediterráneo en primavera y verano y saliendo los juveniles y adultos hacia el Atlántico en otoño. También son abundantes en la zona el pez espada (*Xiphias gladius*), la barracuda (*Sphyraena sphyraena*) y el pez luna (*Mola mola*).



Entre los tiburones que se pueden encontrar en el mar de Alborán están la tintorera (*Galeus glaucus*), el marrajo (*Lamna cornubica*), la pintarroja (*Scyliorhinus canicula*) y el cazón (*Galeorhinus galeus*), entre otros. En alguna ocasión también se puede observar el tiburón blanco (*Carcharodon carcharias*), la cornuda o tiburón martillo (*Sphyrna lewini*) y el tiburón peregrino (*Cetorhynchus maximus*).

3.2.2.2. Peces bentónicos y demersales

Los peces demersales y bentónicos viven asociados al fondo marino. La mayoría son especies longevas (más de 10 años) con un ritmo de crecimiento menor si se compara con peces pelágicos pequeños. Se alimentan principalmente de plancton suprabentónico o son predadores que se alimentan principalmente de bentos y de peces. La distribución de las especies va variando a medida que aumenta la profundidad.

En las zonas más próximas al litoral, con profundidades inferiores a los 50 m de profundidad, es habitual encontrar especies como la boga (*Boops boops*), el sargo (*Diplodus sargus*), el gorazo (*Pagellus bogaraveo*), la lubina (*Dicentrarchus labrax*), el lenguado (*Solea vulgaris* y otros), el rodaballo (*Scophthalmus rhombus*) y el salmonete (*Mullus surmuletus*, *Mullus barbatus*).

Conforme nos alejamos de la costa y a medida que aumenta la profundidad, la diversidad disminuye. Sin dejar la plataforma continental y por encima de los 50 m de profundidad las especies más habituales son: gobios (*Gobius* spp.), congrios (*Conger conger*), merluzas (*Merluccius merluccius*), salmonetes, peces planos (tipo lenguados, gallo, rape...), jureles (*Trachurus* spp.), besugos y pageles (*Pagellus* spp.), entre otros.

Al dejar la plataforma continental, en la parte superior del talud comprendida entre los 200 m y los 500 m de profundidad, aparecen rayas (*Raja* spp.), tiburones tintoreras (*Prionace glauca*), congrios, rapes, merluzas, bacaladillas (*Micromesistius poutassou*), brótolas (*Phycis blenoides*), pelúas (*Arnoglossus laterna*) y fanecas (*Trisopterus minutus*). Y en la parte inferior del talud, a partir de los 500 m de profundidad, se encuentran rayas, congrios, rapes, bacaladillas, merluzas, brótolas, pelúas, besugos y gallinetas.

3.2.3. Mamíferos marinos

Los mamíferos marinos son animales con una gran movilidad geográfica. Las áreas de distribución de muchas especies se extienden sobre amplias regiones oceánicas, superando los límites de una sola demarcación marina. Aunque las características geológicas y oceanográficas de las demarcaciones condicionan la presencia de especies, su estatus debe considerarse en el contexto más amplio de las poblaciones biológicas a las que pertenecen.



Esta Demarcación comprende dos áreas con muy distintas características que condicionan la presencia de especies. En la zona del estrecho de Gibraltar se produce la confluencia de las aguas atlánticas superficiales con las mediterráneas más profundas y presenta una complicada orografía submarina. Por otra parte, el mar de Alborán tiene unas características oceanográficas que la convierten en una zona de transición entre el Atlántico y el Mediterráneo.

El conocimiento sobre las poblaciones de cetáceos proviene de las series históricas de capturas en áreas próximas al estrecho de Gibraltar, los registros de los varamientos en las costas, observaciones en el mar y campañas sistemáticas de avistamiento.

Hasta hace unos años se citaba la presencia ocasional de algunos ejemplares de foca monje (*Monachus monachus*) en el archipiélago de las islas Chafarinas. Existen citas de 16 especies de cetáceos en la Demarcación, aunque solo 9 aparecen con regularidad. La presencia de las especies más frecuentes está ligada a una zona de paso por el estrecho de Gibraltar, como en el caso del rorcual común (*Balaenoptera physalus*), o bien a su función como área de cría o de alimentación. Se ha constatado la existencia de áreas de alimentación para el cachalote (*Physeter macrocephalus*), delfín mular (*Tursiops truncatus*), común (*Delphinus delphis*), listado (*Stenella coeruleoalba*) y gris (*Grampus griseus*), orcas y calderones, tanto en el Estrecho como en el mar de Alborán.

Algunas especies aparecen durante todo el año, como ocurre con los delfines mulares, comunes, grises, calderones y cachalotes, mientras que la presencia de otras, como los rorcuales comunes es más estacional.

Los cachalotes y los calderones son predominantemente teutófagos, mientras que los delfines se alimentan de diferentes especies de peces.

Los cetáceos compiten con el hombre por los recursos pesqueros y en el pasado fueron objeto de caza comercial en áreas próximas al estrecho de Gibraltar. En la actualidad el intenso tráfico marítimo en el Estrecho, con la consiguiente contaminación acústica y el incremento del riesgo de colisiones con buques, constituye una de las mayores amenazas para su conservación en esta demarcación. Otras amenazas son las capturas accidentales en las pesquerías y los vertidos industriales y urbanos.

Los mamíferos marinos son objeto de varios acuerdos internacionales y están protegidos por diferentes normativas legales nacionales e internacionales. La foca monje (*Monachus monachus*), el delfín mular (*Tursiops truncatus*) y la marsopa común (*Phocoena phocoena*) están incluidos en el Anexo II de la Directiva Hábitat y de la Ley 42/2007 del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad, como especies de interés especial, para las que se requiere la designación de áreas especiales de conservación, integradas en la Red Natura 2000. En esta Demarcación se han propuesto o designado cuatro Lugares de Interés Comunitario (LIC),



formando parte de la Red Natura 2000. Los cuatro incluyen al delfín mular, dos a la marsopa y uno a la foca monje. Por otra parte, se han tomado medidas relacionadas con el tráfico marítimo en el estrecho de Gibraltar y en el cabo de Gata para tratar de disminuir el riesgo de colisiones entre buques y cetáceos.

3.2.4. Reptiles marinos

La tortuga marina más frecuente en el Mediterráneo y en el mar de Alborán es la tortuga boba (*Caretta caretta*), de la cual se calcula que más de 20.000 individuos son capturadas cada año por la flota palangrera española dedicada a la pesca del pez espada en el Mediterráneo occidental. También es posible observar, aunque con muy poca frecuencia, la tortuga laúd (*Dermochelys coriacea*) y más escasamente, la tortuga verde (*Chelonia mydas*). Estas tres tortugas están incluidas en el Anexo V de la Ley 42/2007 del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad, como especies de interés comunitario que requieren una protección estricta, y a su vez, la tortuga boba y la verde están incluidas también en el Anexo II de la Ley 42/2007 del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad, como especies de interés comunitario, para las que se requiere la creación de zonas especiales de conservación.

3.2.5. Aves marinas

En el mar de Alborán se pueden observar gran cantidad de aves marinas, algunas residentes, con zonas de nidificación identificadas en algunas áreas y que se observan a lo largo de todo el año, y otras que son observadas casi exclusivamente en determinadas épocas durante las escalas en sus migraciones. Aunque también hay excepciones y pueden aparecer algunos ejemplares aislados de especies migratorias en periodos no migratorios.

Entre las aves marinas que se pueden observar en la zona, las más representativas son: la gaviota patiamarilla (*Larus cachinans*), la gaviota de Audouin (*Larus audouinii*), la pardela cenicienta (*Calonectris diomedea*), el charrán común (*Sterna hirundo*) y el paíño (*Hydrobates pelagicus*), todas ellas con importantes áreas de nidificación identificadas en diversas zonas del mar de Alborán y del Golfo de Vera.

Durante la estación estival, se pueden observar muy frecuentemente grandes grupos (a menudo superando el centenar de individuos) de gaviotas, tanto patiamarilla como de Audouin, y de pardelas cenicientas, a menudo formando grupos mixtos, y sobre todo en zonas costeras, hasta pocas millas mar adentro. Las gaviotas se han adaptado a la actividad humana y se ven habitualmente siguiendo a los barcos de arrastre. Con menor frecuencia se observan charranes como el charrán común (*Sterna hirundo*), el charrán patinegro (*S. sandvicensis*) y el charrancito (*S. albifrons*). Más alejados de la costa, se pueden encontrar,



aunque no con tanta frecuencia, grupos de paños y de fumareles (*Chlidonias niger*). Cuando se acerca el cambio de estación de verano a otoño, normalmente hacia principios del mes de septiembre, comienzan a observarse otras aves. Fundamentalmente aparecen en gran número los alcatraces (*Sula bassana*), cuya presencia es observada hasta la primavera. En esta estación, es muy frecuente observar gran cantidad de frailecillos (*Fratercula arctica*) volando hacia el oeste, así como grupos de pardela balear (*Puffinus mauretanicus*) y mediterránea (*Puffinus yelkouan*), también volando en la misma dirección. Igualmente se observan págalos grandes (*Catharacta skua*) y alcas (*Alca torda*), volando en solitario. Durante el verano se puede observar, de forma muy esporádica, algún págalo o frailecillo (en este caso solitario y normalmente posado en el agua), y algunos alcatraces, que son siempre juveniles de primer o segundo año ya que nunca se han observado adultos en verano.

3.2.6. Especies protegidas

Existen siete acuerdos internacionales, incluyendo la Directiva Hábitats, que amparan a las especies marinas europeas, aunque aún no se ha creado un convenio o tratado exclusivo para la protección de especies y hábitats marinos.

En esta Demarcación existen especies que a han experimentado un descenso de sus poblaciones a causa, principalmente, de la acción del hombre sobre el medio marino. Los cetáceos, las tortugas, las praderas de fanerógamas, los bosques de laminariales o los fondos de maërl son algunas de estas especies que necesitan protección.

Los mamíferos marinos son objeto de varios acuerdos internacionales y están protegidos por diferentes normativas legales nacionales e internacionales, y todas las tortugas marinas están consideradas como especies amenazadas o en peligro de extinción, por lo que en muchos países se han implementado medidas de conservación, incluyendo prohibiciones en las capturas y el comercio de estas tortugas y de sus productos derivados.

Entre las especies formadoras de bosques de laminariales se encuentra la *Laminaria ochroleuca*, que está incluida en el anexo I del Convenio de Berna como especie de flora estrictamente protegida. Y entre las que forman las praderas de fanerógamas está la *Posidonia oceanica*, especie endémica del mar Mediterráneo, también protegida por el Convenio de Berna, y formadora del hábitat prioritario protegido como tal en la Directiva de Hábitats de la UE.

Por su parte, las especies más representativas de los fondos de Maërl son *Phymatolithon calcareum* y *Lithothamnion corallioides*, y ambas están incluidas en el anexo V de la Directiva Hábitat y la comunidad de maërl está incluida en la Red Natura 2000, en el anexo I de la Directiva Hábitat y en la red EUNIS (European Nature Information System). Además, el Reglamento (CE) 1967/2006, relativo a las medidas de gestión para la explotación sostenible



de los recursos pesqueros en el mar Mediterráneo, prohíbe las actividades de arrastre sobre los fondos de maërl, y el desarrollo de los Convenios internacionales de Barcelona (1995) y Berna (1996) se ha recomendado su protección y conservación (Peña y Bárbara, 2007).

Otras especies de interés son las recogidas en los Catálogos Español y Andalúz de Especies Amenazadas. Las especies son: la lapa ferrugínea (*Patella ferruginea*), “en peligro de extinción”; el coral anaranjado (*Astroides calycularis*), la nacra (*Pinna nobilis*), el vermético *Dendropoma petraeum* y la caracola *Charonia lampas*, en la categoría de “vulnerable”; el puercoespin marino (*Centrostephanus longispinus*) “de interés especial” y la estrella de capitán pequeña (*Asterina pancerii*) “sensible a la alteración del hábitat”. Por otro lado, merecen especial atención cuatro especies no catalogadas: *Paramuricea clavata*, *Ellisella paraplexauroides*, *Pholas dactylus* y *Barnea candida*.

3.2.7. Especies alóctonas

Las principales especies alóctonas detectadas en el litoral norte de Alborán son las siguientes:

Percnon gibbesi

Conocido como cangrejo araña, se trata de un crustáceo considerado como invasor en otras comunidades, como Baleares. Está presente en distintos puntos del Mediterráneo y en el litoral español las primeras citas provienen de las islas Baleares, si bien posteriormente ha sido observado en el litoral peninsular, en Cartagena y en el Mar Menor. Este crustáceo se ha detectado solo en la provincia de Almería, lo que supone la cita más occidental del Mediterráneo.

Oculina patagonica

Este coral se suele encontrar en escolleras de puertos y se ha observado en prácticamente todas las localidades con sustrato rocoso natural. Las mayores poblaciones en Alborán se encuentran en Almería por todo el litoral, en zonas portuarias y en casi todos los sustratos rocosos. En Málaga se ha encontrado en los puertos de Caleta de Vélez, de Málaga y de Benalmádena; y en sustratos duros naturales de Benalmádena y de Punta Chullera. En Granada se ha encontrado en seis localidades, siempre colonias de pequeño tamaño.

Asparagopsis armata

Vive en hábitats rocosos fotófilos someros, tanto en comunidades de *Cystoseira* spp. como de *Posidonia oceanica*. Está presente en las cuatro provincias andaluzas con costa en el mar de Alborán (Almería, Granada, Málaga y Cádiz). En Almería aparece en los fondos del poniente almeriense y en la bahía de Almería, en profundidades de hasta 7 m. En Granada está extendida de forma casi continua a lo largo de todos los sustratos rocosos del litoral. En



Málaga se encuentra en todo el litoral, hasta 5-7 m de profundidad, y aparece en todo el litoral de Alborán de la provincia de Cádiz.

Asparagopsis taxiformis

Se encuentra fundamentalmente en sustratos rocosos y/o praderas de *Posidonia oceanica*. Compite eficazmente con *Asparagopsis armata*, relegándola a los primeros metros de la columna de agua. En Andalucía está presente en las 4 provincias con costa en el mar de Alborán (Almería, Granada, Málaga y Cádiz). En Almería se distribuye por todo el litoral, aunque es muy abundante en el levante, en fondos rocosos y/o praderas de *Posidonia Oceanica*, entre 5 y 25 m. En Granada está en todo el litoral, de 3-20 m. En Málaga es abundante en torno al Paraje Natural de los Acantilados de Maro-Cerro Gordo y ausente hasta punta de la Chullera, entre 3-14 m. La escasez de fondos rocosos en Málaga puede estar limitando la presencia del género *Asparagopsis* en la provincia. En Cádiz está ampliamente distribuida en toda el área del Estrecho.

Caulerpa racemosa

En 2008 fue observada por primera vez en Andalucía, en la isla Terreros (ZEPIM Levante Almeriense). La zona afectada tenía más de 3 ha. En 2009 se localizó una nueva localidad invadida a unos 6 km al sur de la isla Terreros. Se ha observado en más de un kilómetro lineal, entre 20 y 30 m de profundidad, invadiendo el piso circalitoral, mientras que en la isla Terreros solo se había observado en el infralitoral, entre 13 y 17 m.

Acanthurus monroviae

Esta especie presenta una distribución atlántica que abarca desde Angola hasta Marruecos y ha sido observada en alguna ocasión en Canarias. Fue citada en el sur de España en 1987 (Golani *et al.*, 2002) y actualmente parece verse con cierta frecuencia en la costa granadina de Almuñécar (Sánchez Tocino, 2004).

Fistularia commersonii

La única cita de esta especie en el mar de Alborán se remonta al año 2007, cuando fueron vistos varios ejemplares en la Bahía del Berenguel (Almuñécar, Granada, España) y en la Bahía de la Herradura (Almuñécar, Granada, España). (Sánchez Tocino *et al.*, 2007).

3.3. Principales stocks pesqueros

Pequeños pelágicos

Las principales especies en la pesca de pequeños pelágicos (efectuado por la flota de cerco) en el mar de Alborán son la sardina (*Sardina pilchardus*) y el boquerón (*Engraulis encrasicolus*). Otras especies de menor interés, como el jurel (*Trachurus spp.*), la caballa



(*Scomber* spp.) y la alacha (*Sardinella aurita*) representan, en ocasiones, un porcentaje muy alto de la captura total. Algunas capturas de temporada realizadas sobre melva (*Auxis rochei*) y algarín (*Scomberexos saurus*) son importantes en los puertos más orientales, estableciendo unas características diferenciales para las actividades de los cerqueros según su puerto base.

Esta descripción de la pesquería se centra principalmente en boquerón y sardina. Sus capturas han sido históricamente muy variables. En la actualidad la especie con mayor valor económico es el boquerón aunque la sardina es un soporte importante para la pesquería, por ser la especie más abundante.

En los últimos años ha aumentado el interés de algunas especies accesorias, porque se ha encontrado un nuevo mercado para ellas. La caballa y la alacha, principalmente la primera, se utilizan para el engorde de atún. Un requisito para esas ventas es un alto rendimiento por noche de pesca y esas especies lo producen. El jurel se exporta a Portugal.

La flota de cerco de la Región Sudmediterránea (RSM) ha decrecido de manera continua, pasando de 230 barcos en 1980 a 94 en el 2008, lo que supone una reducción del 59 % (Figura 3.1); hay una pérdida de unidades muy importante entre 1980 y 2004 que se ralentiza en años posteriores.

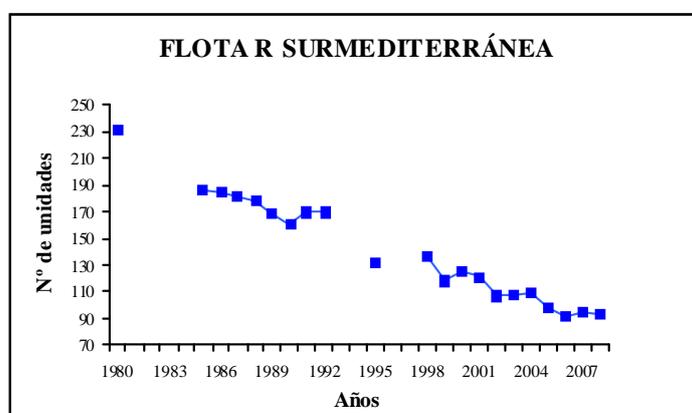


Figura 3.1. Evolución del número de embarcaciones dedicadas a la pesca de pequeños pelágicos en la RSM. Fuente SGPM, elaboración IEO.

En la actualidad esta flota la componen unidades de pequeño tamaño: el 88 % tienen menos de 30 TRB, con un TRB medio de 18,3 y una potencia media de 142 CV. Solo el 20 % tiene una eslora inferior a 12 metros. En la Figura 3.2 se observa que han desaparecido las unidades más pequeñas a causa de la nueva legislación sobre el tamaño mínimo de los barcos, y las unidades más grandes por dos motivos: por un lado el desfondamiento de los



caladeros de boquerón del norte de África, donde la flota española pescaba gracias a los acuerdos de pesca con Marruecos, y por otro, el descenso en las capturas de esta misma especie en el golfo de León, desembocadura del Ebro y Valencia, donde los barcos de Adra, Almería y Málaga iban regularmente a pescar por temporadas. En la actualidad, solo los barcos de mayor tonelaje de Adra y Almería, trabajan regularmente en la zona levantina durante el verano, si la pesca de boquerón es buena.

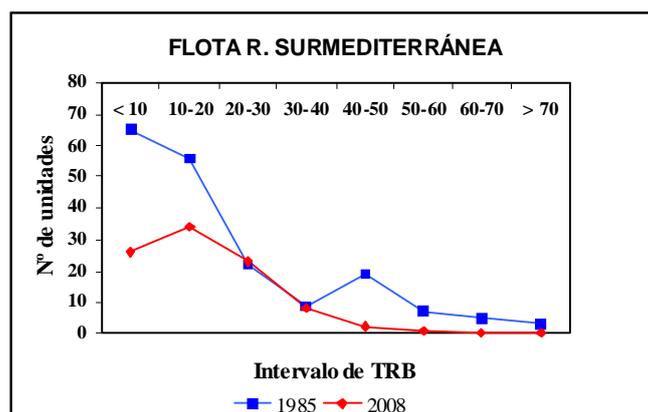


Figura 3.2. Evolución de la flota de cerco en la R. Sudmediterránea por intervalos de TRB. Fuente SGPM, elaboración IEO.

Tradicionalmente los puertos más importantes en número de unidades y desembarcos han sido los de Almería, Adra y Málaga. Actualmente el puerto de Málaga está en recesión, mientras el de Vélez (Málaga) se mantiene, siendo éste el puerto más importante de la bahía de Málaga. La Figura 3.3 muestra la flota por puertos en los años 1990 y 2008. Exceptuando los barcos de Roquetas de Mar que es un puerto muy pequeño dedicado prácticamente a la pesca artesanal, el 88 % de los barcos superiores a 30 TRB pertenecen a los puertos de la costa oriental.

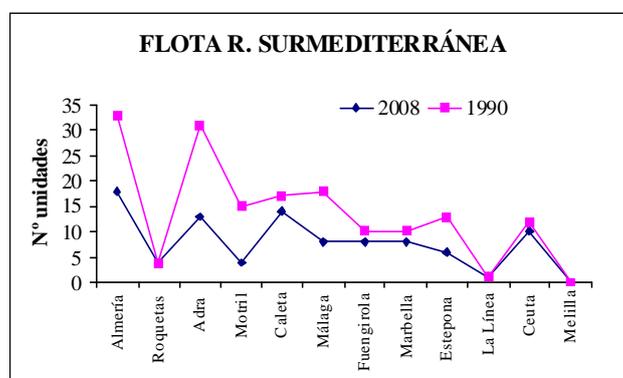


Figura 3.3. Flota de cerco en la R. Sudmediterránea en 1990 y 2008. Fuente SGPM, elaboración IEO.



Por intervalo de eslora (Figura 3.4), se observa que ese 20 % de flota con menos de 12 m de eslora, se reparte de manera casi uniforme en todos los puertos presentes en esta Demarcación.

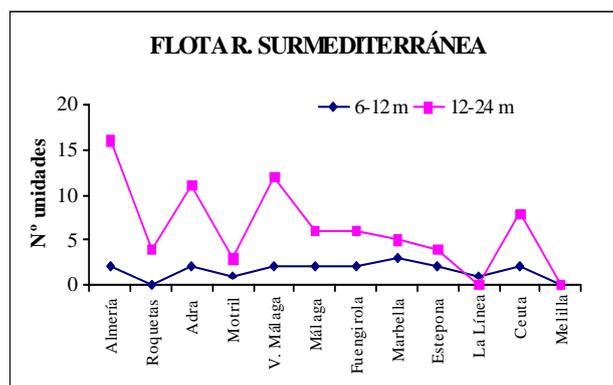


Figura 3.4. Flota de cerco en la R. Sudmediterránea por intervalos de eslora en el 2008. Fuente SGPM, elaboración IEO.

Las poblaciones de pequeños pelágicos sufren grandes fluctuaciones en su abundancia debido a la gran variabilidad de sus reclutamientos anuales. Esto se traduce en una gran inestabilidad en las capturas, que provoca crisis pesqueras y hacen imprescindible la estimación anual del recurso.

En Alborán, en los últimos veinticuatro años las capturas de sardina y boquerón presentan fuertes oscilaciones, representando entre un 39 % y un 77 % de la pesca total la sardina, y entre un 1 % y un 33 % el boquerón (Figura 3.5). En periodos de bajas capturas de estas especies aumentan las de especies accesorias como el jurel y la caballa (Figura 3.6). Concretamente para los últimos años la evaluación acústica mostró una abundancia alta de las tres especies de jurel, que se ha visto reflejada en las capturas de años posteriores.

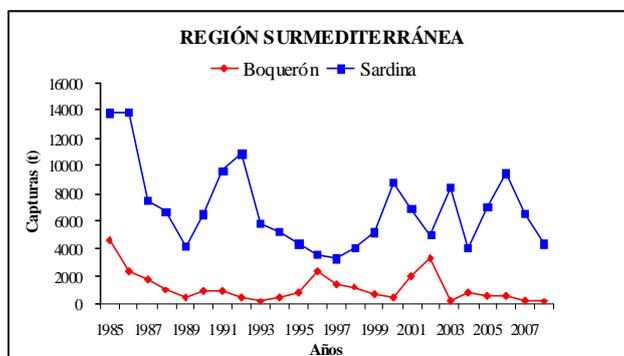


Figura 3.5. Serie histórica de desembarcos de boquerón y sardina en el mar de Alborán. Fuente: IEO, JJAA, elaboración IEO.

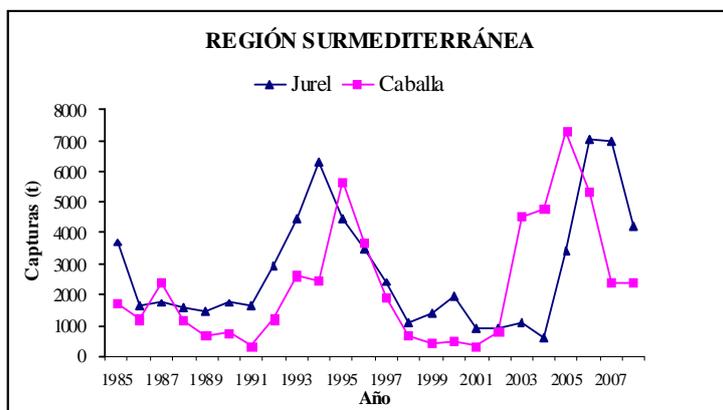


Figura 3.6. Serie histórica de desembarcos de jurel y caballa en el mar de Alborán. Fuente: IEO, JJAA, elaboración IEO.

Aunque con grandes oscilaciones por periodos, se observa de manera general una tendencia decreciente en las capturas de sardina y boquerón, y una tendencia creciente en la de otras especies accesorias, sin embargo, no hay una tendencia en las capturas totales de las cuatro especies (Figura 3.7).

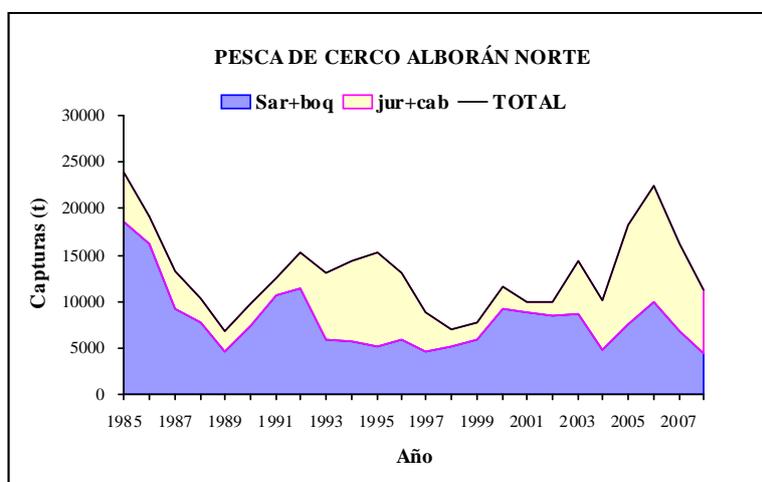


Figura 3.7. Serie histórica de desembarcos de (sardina+boquerón) y (jurel+caballa) en el mar de Alborán. Fuente: IEO y Junta de Andalucía, elaboración IEO.

La principal temporada de pesca para la sardina es verano-otoño y para el boquerón verano y finales de otoño. En ambos casos ha habido cambios en la estacionalidad de las capturas.

En el caso del boquerón se ha pasado de tener una única campaña a tener dos. Entre los años 1985 y 1998 las capturas se realizaban principalmente en otoño, en plena época de reclutamiento, componiéndose las capturas principalmente de juveniles; mientras que entre



los años 2004 y 2008 hay dos periodos, uno en verano, donde se capturan reproductores y otro en otoño, en el que se capturan juveniles. Debido a la parada biológica no hay capturas durante los meses de marzo y abril.

En el caso de la sardina se ha producido una ampliación del periodo de captura. Entre los años 1985 y 1998 las capturas se realizaban en verano-otoño, entre los meses de junio y noviembre, pero entre los años 2004 y 2008 las capturas se adelantaron a mayo y se alargaron hasta diciembre. Este adelanto puede ser explicado por que en mayo es cuando comienza la pesca en toda la zona malagueña después de la parada y esto se ve reflejado en un aumento de las capturas.

Actualmente la sardina se captura en toda el área mientras que el boquerón se captura principalmente en la Bahía de Málaga.

Especies demersales

La pesquería de fondo, o demersal, está caracterizada por su naturaleza multiespecífica. Esta pesquería está compuesta por embarcaciones que utilizan artes de arrastre de fondo, palangres, redes de enmalle, trampas y dragas o “rastros”. Los desembarcos están compuestos de una enorme cantidad de especies (peces, crustáceos y moluscos), diferenciándose según el arte de pesca utilizado, la zona de pesca y la época del año.

Por último, cabe poner de relevancia que esta pesquería tiene gran importancia económica por el alto valor de las especies que se comercializan frescas y por la regularidad de las capturas.

Pesquería de arrastre

La pesquería de arrastre de fondo es la que proporciona el mayor volumen de captura de especies demersales; estas capturas están constituidas por una amplia diversidad de especies y de ellas, solo algunas, merecen la calificación de especies objetivo debido al volumen de sus capturas desembarcadas y a su elevado valor económico. Conjuntamente con estas especies aparecen otras en el arte de pesca de menor valor comercial, las cuales se suelen descartar. Las principales especies capturadas al arrastre son: bacaladilla (*Micromesistius poutassou*), merluza (*Merluccius merluccius*), pulpo (géneros *Octopus* y *Eledone*), cigala (*Nephrops norvegicus*), gamba roja (*Aristeus antennatus*), salmonete (*Mullus sp.*) y otras (mezcla de especies). Esta pesquería se puede desarrollar sobre la plataforma para la pesca del salmonete (*Mullus barbatus* y *Mullus surmuletus*) o sobre el talud para la pesca de merluza (*Merluccius merluccius*), bacaladilla (*Micromesistius poutassou*), cigala (*Nephrops norvegicus*) y gamba roja (*Aristeus antennatus*). Esta pesquería se lleva a cabo en fondos superiores a los 50 m según reglamentación.

La flota opera durante todo el año, excepto durante una época de veda de dos meses



establecida en la primera mitad del año. Los meses concretos en que se establece la veda pueden variar entre los distintos años. La legislación española para la pesca de arrastre en el Mediterráneo limita la actividad del arrastre a 12 horas al día desde el lunes al viernes.

Pesquería de plataforma

En el estrato más superficial, la especie con mayores capturas es el pulpo (*Octopus vulgaris*). Este estrato se caracteriza por la gran cantidad de especies de peces de alto valor comercial, a pesar de que sus rendimientos no sean muy altos. *Pagellus acarne* representa el mayor porcentaje de la captura y menores rendimientos corresponden a *Pagellus erythrinus*, *Mullus surmuletus*, *M. barbatus*, *Lithognathus mormyrus*, *Dentex dentex*, *Pagrus pagrus*, y otros espáridos en general. Además, este estrato tiene la mayor proporción de descartes de las especies comerciales de los tres estratos, debido fundamentalmente a la boga (*Boops boops*), que se descarta totalmente y al jurel (*Trachurus trachurus*).

La pesquería es multiespecífica, capturando peces, cefalópodos y crustáceos como objetivo. Las principales especies objetivo son: merluza (*Merluccius merluccius*), aligote (*Pagellus acarne*), pulpo (*Octopus vulgaris*) y gamba blanca (*Parapenaeus longirostris*).

Existen algunas interacciones con las pesquerías artesanales, particularmente en el caso de las nasas que tienen como especie objetivo el pulpo (*Octopus vulgaris*). Las especies acompañantes son el calamar (*Loligo vulgaris*), el salmonete de fango (*Mullus barbatus*), espáridos y cefalópodos (*Sepia officinalis*, *Sepia elegans*, *Ilex coinditei*, y *Alloteuthis* spp.).

El grupo formado por la merluza (*M. merluccius*), los salmonetes (*Mullus* spp.) y el aligote (*Pagellus acarne*) representa el 15 % del total de capturas, mientras que los cefalópodos alcanzan el 25 % de las capturas totales, de las que un 20 % corresponden a *Octopus vulgaris* y el resto a *Sepia* spp. Los crustáceos son los que tienen mayor valor en el mercado, y representan el 24 % de la captura total, a pesar de que *Nephrops norvegicus* y *Parapenaeus longirostris* no contribuyen mucho a la captura total en peso (6 %).

Las capturas de salmonetes en el mar de Alborán en el periodo comprendido entre 1970 y 1994, variaron desde 667 t a 219 t, valores obtenidos en 1976 y 1991, respectivamente.

La merluza es explotada casi exclusivamente por la flota de arrastre, contabilizándose tan solo 11 embarcaciones dedicadas al palangre en fondos rocosos, que además tienen otras especies objetivo. Las capturas de merluza durante el periodo de 1970 a 1997 fluctuaron entre 247 t y 425 t, obtenidas en 1988 y 1992 respectivamente.

En el caso de la merluza, y mediante campañas de prospección de primavera (MEDITS series) realizadas desde 1994, se han obtenido que los valores anuales de los índices de biomasa en el mar de Alborán varían entre 0,45 y 1,32 kg h⁻¹. En general, las estimaciones en el área del mar de Alborán son las más bajas del conjunto del Mediterráneo español, debido a la



estrechez de la plataforma continental en esta área.

Pesquería de Talud Continental

El arte empleado es un arte de arrastre de fondo con puertas, similar al que se emplea en Cataluña en la pesquería dirigida a la cigala. La abertura horizontal de la boca de la red suele ser de unos 20-22 m utilizando, normalmente, cadenas en la relinga de plomos y las puertas suelen pesar entre 450 kg y 650 kg. Todas las embarcaciones están provistas de ecosondadores pero muy pocos utilizan sensores de red, aunque en estos casos la eficiencia de la pesca suele ser superior.

Al igual que en la pesca de arrastre, la flota opera durante todo el año, excepto durante una época de veda de dos meses establecida en la primera mitad del año. Los meses concretos en que se establece la veda pueden variar entre los distintos años. La legislación española para la pesca de arrastre en el Mediterráneo, limita la actividad del arrastre a 12 horas al día desde el lunes al viernes.

La flota pesca en el talud continental, en fondos de arrastre desde los 350 m a los 500 m, aunque también frecuentan los fondos de la plataforma continental para la captura de la gamba blanca (*Parapenaeus longirostris*).

Esta pesquería tiene dos especies objetivo principales: la cigala (*Nephrops norvegicus*) y la gamba roja (*Aristeus antennatus*), la primera especie es explotada principalmente por la flota de la zona oriental, mientras que en la gamba roja se centra la flota de la zona occidental. Las especies asociadas a la pesquería de cigala son la brótola (*Phycis blennoides*), los rapés (*Lophius* spp.) y el pez sable (*Lepidopus caudatus*). En el caso de las capturas de la flota dirigida a la gamba roja, lo son tanto la brótola como algunas especies de seláceos de profundidad. Una especie de importancia estacional es *Micromesistius poutassou* que puede ser descartada en ocasiones por razones de mercado, mientras que constituye una parte importante de las capturas cuando la flota busca a la gamba blanca en aguas más superficiales.

Descartes

Los descartes se caracterizan por una proporción muy baja de las especies objetivo. La mayoría de las especies comerciales descartadas son crustáceos: *Plesionika heterocarpus* (21,2 %), *Parapenaeus longirostris* (3,7 %) y *Liocarcinus depurator* (3,5 %). La especie de alto valor comercial se descartan en menor proporción, entre ellas algunas de las especies objetivo, como *M. merluccius*, *M. poutassou*, *P. blennoides*, *Scylliorhinus canicula*, *Helicolenus dactylopterus*, y *L. budegassa*. La proporción más alta de descartes, considerando los tres estratos, son los crustáceos como *L. depurator* (13,1 % del total descartado) y *P. heterocarpus* (5,8 %).



Pesquería de Talud Isla de Alborán (GSA-2)

Los caladeros frecuentados por la flota se localizan alrededor de la isla de Alborán, en aguas profundas (600-800 m).

La gamba roja (*Aristeus antennatus*) es la especie objetivo de la pesquería de profundidad en el GSA 2. El caladero presenta las mayores abundancias entre los 500 m y los 800 m, encontrándose una mayor proporción de hembras entre las capturas. En cuanto a la distribución por tallas, se observa que las hembras presenta un mayor tamaño medio.

Pesquerías de artes menores

Pesquerías de trasmallo

En términos generales la pesquería de trasmallo es practicada por la mayoría de las embarcaciones artesanales.

Se emplean varios tipos de trasmallo en los puertos situados a lo largo de la costa. Normalmente una misma embarcación practica varios tipos de pesquería, variando el tipo de trasmallo y de especies objetivo a lo largo del año. Tanto la red interior como las exteriores varían sus tamaños dependiendo de las especies objetivo. El “ciego” tiene un tamaño de red interior que varía entre 4 cm y 5 cm y la exterior entre 30 cm y 40 cm, mientras que en el “claro” la malla interior es de 7 cm a 8 cm y la exterior de 40 cm a 50 cm. En el trasmallo de langosta el tamaño de la red interior es de 10 cm y la exterior de 60 cm. La altura de la red también varía con los diferentes tipos, oscilando entre 1,5-3,5 m. La tasa de colgadura también varía entre 0,5 y 0,65 m. La longitud máxima es de 2.500 m, pero normalmente son menores de 1.200 m.

En el mar de Alborán, la estación de pesca varía con el tipo de trasmallo que se usa. El “claro” se emplea de enero a mayo, siendo remplazado por el “ciego” entre junio y septiembre, coincidiendo con los reclutamientos de salmonete de roca (*Mullus surmuletus*) en la zona. El trasmallo de “langosta” también se emplea en verano.

Los caladeros se sitúan en zonas de profundidades comprendidas entre los 5 m y más de 100 m, dependiendo del tipo de trasmallo que se está utilizando y de la especie objetivo. Así, los trasmallos llamados “claros” se calan en zonas rocosas entre los 5 m y los 10 m de profundidad, los “ciegos” en fondos arenosos y fangosos entre los 15 m y los 40 m, y el trasmallo de “langosta” desde los 50 m a más de 200 m. El trasmallo llamado “salmonetero” se cala generalmente en el borde de praderas de *Posidonia* desde 15 m a 30 m de profundidad y la “sepiera” en fondos arenosos a más de 20 m.

En la zona del mar de Alborán, la especie objetivo es la sepia (*Sepia officinalis*) para los “claros”, salmonetes (*Mullus* spp.) en los “ciegos”, y langosta (*Palinurus mauritanicus*) en la “langosta”, pero también hay otras especies de gran importancia que son capturadas, como



los espáridos. También hay otras especies de gran importancia que son capturadas, como los espáridos y los escorpénidos. Los trasmallos pueden representar el 50 % de los desembarcos totales de los artesanales, siendo los salmonetes (*Mullus* spp.), el pulpo (*O. vulgaris*), los espáridos, los escorpénidos y la "Morralla" las categorías dominantes en la composición de las descargas.

Una parte de la flota artesanal usa el palangre de fondo como arte principal a lo largo del año, mientras que otra parte lo emplea como arte accesorio. Generalmente la flota usa tres tipos distintos de trasmallos; dos de ellos se calan de la misma manera, en el fondo con la línea principal en paralelo y a cierta distancia del fondo y las líneas de anzuelos cercanas o reposando sobre el fondo. En el caso del palangre de "piedra bola", la línea principal presenta cada cierta distancia y alternativamente un peso o una boya, tomando el conjunto una configuración de "W" en toda su longitud.

La pesquería de palangres se desarrolla a todo lo largo de la costa. Se calan sobre varios tipos de fondos, aunque con preferencia sobre fondos rocosos o en zonas próximas a ellos.

Las principales especies que captura esta flota son espáridos como *Pagellus acarne*, *P. bogaraveo*, *Dentex* spp., *Pagrus pagrus*. Otras especies de interés son *Conger conger*, *Epinephelus marginatus*, *Polyprion americanus* y *Helicolenus dactylopterus*.

Las soltas son también empleadas por un segmento de la flota artesanal. Hay muchas modificaciones del diseño básico en función de la especie objetivo, las cuales pueden diferir sustancialmente en tamaño y en comportamiento. Las más empleadas de forma dispersa a lo largo de la costa son la solta merlucera, cuya especie objetivo es la merluza, y la "bonitolera" dirigida a la captura del bonito y otros pequeños túnidos. El tamaño de la malla suele variar entre 4 cm y 8 cm.

Debido a que el número de especies objetivo es alto, se emplean a lo largo de todo el año. La "bonitolera" se emplea estacionalmente desde agosto hasta noviembre, coincidiendo con los movimientos migratorios estacionales de la especie.

Estos artes están presentes a lo largo de toda la costa. Los caladeros son muy diversos ya que dependen de la especie objetivo, aunque usualmente se calan cerca de fondos rocosos, excepto cuando la especie objetivo es la merluza que se encuentra en cualquier tipo de fondo. Las principales especies objetivo para las "soltas" tradicionales son las de la familia *Sparidae* y para las dos especies del género *Mullus*.

Pesquería de nasas para camarón

En el Mediterráneo español, el uso de trampas en las pesquerías artesanales es una actividad que ha ido cayendo paulatinamente en desuso como medio de pesca productivo. Una excepción es el uso de nasas para la captura del camarón (*Plesionika edwardsi*).



La especie objetivo de esta pesquería es el camarón (*Plesionika edwardsi*), pudiendo además aparecer en la captura especies como *Conger conger*, *Plesionika narval*, *Scyliorhinus canicula*, *Helicolenus dactylopterus*, *Galeus melastomus*, *Phycis blennoides*, *Phycis phycis*, *Plesionika heterocarpus*, *Etmopterus spinax*, *Pasiphaea multidentata*, *Chlorotocus crassicornis*, *Parapenaeus longirostris*, *Plesionika martia*

Pesquería de pulpo con alcatruces

Esta pesquería es una de las tradicionales formas de pesca, aunque recientemente muestra un incremento en su actividad. Generalmente son las mismas embarcaciones que practican la pesca de marisqueo con dragas.

Generalmente se les conoce como "alcatruces" y son recipientes que pueden adoptar diferentes formas y tamaños. La forma tradicional es una vasija de barro, aunque actualmente se emplean de plástico. Se calan y se dejan durante varios días, revisándolos cada cierto tiempo para recoger las capturas. El número de alcatruces calados por un solo barco en una línea, puede alcanzar las 2.000 unidades.

Se calan las líneas en aguas someras, generalmente a menos de 50 m, en fondos arenosos cercanos a zonas rocosas y no más lejos de 2 millas de la costa. La pesca se practica a lo largo de todo el año, dependiendo de los rendimientos encontrados. Estas pesquerías están reguladas por los Gobiernos Autónomos.

La especie objetivo es el pulpo (*Octopus vulgaris*), y tienen un tamaño mínimo de captura de 1 kg de peso.

Estado de las poblaciones

En el caso de la merluza (*Merluccius merluccius*), el esquema general de explotación en la flota arrastrera, se caracteriza por un elevado porcentaje de juveniles capturados, aproximadamente el 80 % de los ejemplares de esta captura no han alcanzado todavía la talla de primera madurez. El análisis de rendimiento por recluta muestra que en el mar de Alborán el actual nivel de esfuerzo de pesca se aleja del nivel de esfuerzo pesquero correspondiente al Máximo Rendimiento Sostenible (MSY). Los porcentajes obtenidos de Biomasa actual respecto de la Biomasa Virgen (biomasa en ausencia de explotación) fueron bajos en comparación con los valores obtenidos en un stock no sometido a sobreexplotación. El estado general del recurso evaluado se considera sobreexplotado por sobrepesca de crecimiento. La pesquería se mantendría en los actuales niveles de rentabilidad gracias a una alta tasa de renovación debido a que una parte de la población desovante no estaría expuesta a una elevada tasa de mortalidad por pesca. Por tanto, el recurso, cabe considerarse como altamente sobreexplotado, con una biomasa muy baja en comparación con la biomasa virgen, por lo que muy necesario mejorar la selectividad del



arte y reducir el esfuerzo pesquero que se ejerce sobre el recurso.

En el caso de los salmonetes, los resultados del Análisis de la Población Virtual (APV) muestran diferencias en la tasa y el esquema de explotación a que están sometidos el salmonete de fango (*Mullus barbatus*) y el de roca (*M. surmuletus*) en su estructura poblacional y en su tasa de producción de biomasa (*turnover*): Estas diferencias también se observan en los resultados del rendimiento por recluta. Mientras que la biomasa actual de *M. barbatus* representa aproximadamente el 9 % de su biomasa virgen, en *M. surmuletus* alcanza un 17 %. El nivel de explotación de *M. barbatus* en las áreas de la Península Ibérica evaluadas muestra una sobrepesca de crecimiento del recurso. Para alcanzar el máximo rendimiento por recluta se debería reducir un 50 % el esfuerzo de pesca al que está sometido actualmente este recurso.

Para la gamba roja (*Aristeus antennatus*) los resultados obtenidos utilizando modelos matemáticos, ofrecen un diagnóstico de sobreexplotación siendo recomendable no aumentar el esfuerzo. A pesar de la estabilidad de la composición de tallas en las capturas de crustáceos, que podría indicar que en la disminución de las capturas influyen también condiciones ambientales naturales, es necesario favorecer medidas que ayuden a reducir el esfuerzo, con el objetivo de mantener las capturas y la composición de las poblaciones estabilizadas.

En resumen, en las especies consideradas, y agudizado por el mal perfil de explotación que presentan las pesquerías del Mediterráneo, se observa que la biomasa depende fuertemente de los reclutamientos anuales, destacando que si se reduce la mortalidad se producen incrementos en los rendimientos; la regulación del esfuerzo de los arrastreros produciría incrementos notables de los rendimientos en otras artes.

En general se considera que cualquier disminución del esfuerzo soportado por los recursos sería seguido, a corto plazo, por una recuperación proporcional de las capturas por unidad de esfuerzo (CPUE) y, a más largo plazo, por un acercamiento al estado de explotación óptima, con una recuperación de la estructura demográfica de las poblaciones explotadas.



4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alonso, B.; Maldonado, A. 1992. Plio-Quaternary margin growth patterns in a complex tectonic setting: Northeastern Alboran Sea. *Geo-Marine Letters*, 12 (2):137-143.

Álvarez-Pérez, G., Busquets, P.; De Mol, B.; Sandoval, N.G.; Canals, M.; Casamor, J.L. Deep-water coral occurrences in the Strait of Gibraltar. Freiwald A. Roberts JM (eds), 2005, Cold-water Corals and Ecosystems. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, págs. 207-221. http://dx.doi.org/10.1007/3-540-27673-4_10

Arias, E. 1975. Pigmentos y producción primaria de la campaña MAROC-IBERIA 1. *Res. Exp. Cient. B.O. Cornide*, 4: 101-111.

Benedicto, J.; Andral, B.; Martínez-Gómez, C.; Guitart, C.; Deudero, S.; Cento, A.; Scarpato, A.; Caixach, J.; Benbrahim, S.; Chouba, L.; Boulahdid, M.; Galgani, F. 2011. A large scale study of trace metal contamination in the Western Mediterranean basin by active biomonitoring (ABM) using caged mussels (*Mytilus galloprovincialis*). *Journal of Environmental Monitoring*. <http://dx.doi.org/10.1039/c0em00725k>

Benedicto, J.; Rodríguez, C.; Martínez-Gómez, C.; Guerrero, J.; Jornet, A. 2003. Distribución espacial y tendencias temporales de los niveles de metales traza en el litoral de Andalucía utilizando mejillón *Mytilus galloprovincialis* Lamark, 1819 como organismo indicador: 1991-2003. *Boletín del Instituto Español de Oceanografía*, 19 (1-4): 1-9.

Bormans, M.; Garrett, C.; Thompsom, K.; 1985. Seasonal variability of the surface inflow through the Strait of Gibraltar. *Oceanologica Acta*, 9: 403-414.

Borrell, A.; Cantos, G.; Pastor, T.; Aguilar, A. 2001. Organochlorine compounds in common dolphins (*Delphinus delphis*) from the Atlantic and Mediterranean waters of Spain, *Environmental Pollution*, 114 (2): 265-274.

Bryden, H.L.; Stommel, H.M.; 1984. Limiting processes that determine basic features of the circulation in the Mediterranean Sea. *Oceanologica Acta*, 7: 289-296.

Camiñas, J.A.; 1983. Datos preliminares sobre la biomasa zooplanctónica en el sector noroccidental del mar de Alborán. *Boletín del Instituto Español de Oceanografía*, 1 (1).

Camiñas, J.A.; 2008. Mar de Alborán. En: Mares de España: The Seas of Spain. Secretaría General del Mar. Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino. ISBN: 978-84-8320-423-8.

Cano, N.; Fernández, F.; 1968. Variación Estacional de la inclinación transversal de las masas de aguas atlánticas y mediterráneas en el Estrecho de Gibraltar. *Boletín del Instituto Español de Oceanografía*, 136: 23 págs.



- Cano, N.; García, J.M.; 1991. Corrientes en el litoral malagueño. *Boletín del Instituto Español de Oceanografía*, 7 (2): 59-77.
- Chalouan, A.; Saji, R.; Michard, A.; Bally, A.W. 1997. Neogene tectonic evolution of the southwestern Alboran basin as inferred from seismic data off Morocco. *AAPG Bulletin*, 81: 1161-1184.
- Cheney, R.E.; Doblar, R.A.; 1982. Structure and variability of the Alboran Sea frontal system. *Journal of Geophysical Research*, 84 (C1): 585-594.
- Copin-Montégut, C.; 1993. Alkalinity and carbon budgets in the Mediterranean Sea. *Global Biogeochem. Cycles*; 7(4): 915-925.
- Cortés, D.; Gil, J.; García, A. 1985. General distribution of chlorophyll, temperature and salinity in the north-western sector of Alboran Sea. *XXIX C.I.E.S.M.M Congress Rapp. Comm. Int. Mer Médit.*, 29 (9).
- Cossa, D.; Martin, J-M.; Sanjuan, J. 1994. Dimethylmercury formation in the Alboran Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 28 (6): 381-384.
- D'Ortenzio, F.; Antoine, D.; Marullo, S.; 2008. Satellite-driven modeling of the upper ocean mixed layer and air-sea CO₂ flux in the Mediterranean Sea. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 55: 405-434.
- Dachs, J.; Bayona, J.M.; Fowler, S.W.; Miquel, J.C.; Albaigés, J. 1996. Vertical fluxes of polycyclic aromatic hydrocarbons and organochlorine compounds in the western Alboran Sea (southwestern Mediterranean). *Marine Chemistry*, 52 (1): 75-86.
- Dafner, E. González-Dávila, J.M.; Sempéré, R.; 2001. Total organic carbon exchange through the Strait of Gibraltar in September 1997. *Deep-Sea Research I* 48: 1217-1235.
- Dafner, E.V.; Boscolo, R.; Bryden, H.L. 2003. The N:Si:P molar ratio in the Strait of Gibraltar. *Geophysical Research Letters* 30: 1506. <http://dx.doi.org/10.1029/2002GL016274>
- Diez, S.; Abalos, M.; Bayona, J. M. 2002. Organotin contamination in sediments from the Western Mediterranean enclosures following 10 years of TBT regulation. *Water Research*, 36: 905-918.
- Diez, S.; Jimenez, J.; Bayona, J. M. 2003. Recent status and historical trends of the organotin contamination in sediments from the Western Mediterranean Sea. *Ciencias Marinas*, 29: 547-560.
- Doney, S.C., V.J. Fabry, R.A. Feely, J.A. Kleypas; 2009: Ocean acidification: the other CO₂ problem, *Ann. Rev. Mar. Sci.*, 1: 169-192, [10.1146/annurev.marine.010908.163834](https://doi.org/10.1146/annurev.marine.010908.163834).
- Elbaz-Poulichet, F.; Morley, N.H.; Beckers, J.M.; Nomerange, P. 2001. Metal fluxes through



the surface sediment of the Gulf of Cadiz (Spain): The role of sources, currents, pathways and sinks. *Oceanolog. Acta*, 18: 469-477.

Esteras, M.; Izquierdo, J.; Sandoval, N.G.; Bahmad, A. 2000. Evolución Morfológica y estratigráfica plio-cuaternaria del umbral de Camarinal (Estrecho de Gibraltar) basada en sondeos marinos. *Rev. Soc. Geol. España*, 13 (3-4): 539-550.

Fabry, V. J., B. Seibel, B., R. A. Feely, and J. C. Orr; 2008. Impacts of ocean acidification on marine fauna and ecosystem processes. *ICES J. Mar. Science*, 65: 414.

Fernández-Salas L.M., L.M.; Lobo, F.J., Sanz, J.L., Díaz-del-Río, V., García, M.C.; Moreno, I. 2007. Morphometric analysis and genetic implications of pro-deltaic sea-floor undulations in the northern Alboran Sea margin, western Mediterranean Basin. *Marine Geology*, 243: 31-56.

Fernández-Salas, L.M. ; Dabrio, C.J.; Goy, J.L.; Díaz del Río, V.; Zazo, C.; Lobo, F.J.; Sanz, J.L.; Lario, J. 2009. Land-sea correlation between Late Holocene coastal and infralittoral deposits in the SE Iberian Peninsula (Western Mediterranean). *Geomorphology*, 104: 4-11.

Font, J., 1987. The path of the levantine intermediate water of the Alboran Sea. *Deep Sea Research Part A, Oceanographic Research Papers*, 34 (10): 1745-1755.

Galgani, F.; Martínez-Gómez, C.; Caixach, J.; Campillo, J.A.; Cento, A.; Scarpato, A.; Giovannardi, F.; Romanelli, G.; Benbrahim, S.; Messaoudi, S.; Deudero, S.; Boulahdid, M.; Benedicto, J.; Andral, B. 2010. Assessment of polycyclic aromatic hydrocarbon in mussels (*Mytilus galloprovincialis*) from the Western basin of the Mediterranean Sea. *Environmental Monitoring and Assessment*. <http://dx.doi.org/10.1007/s10661-010-1335-5>

García Lafuente, J.M.; López-Jurado, J.L.; Cano, N.; Vargas, M.; Aguiar, J. 1995. Circulation of water masses through the Ibiza Channel. *Oceanol. Acta*, 18 (2): 245-254.

García-Gómez, J.C. 1983. Estudio comparado de las tanatocenosis y biocenosis malacológicas del estrecho de Gibraltar y áreas próximas. *Iberus*, 3: 75-90.

García-Górriz, E.; Carr, M.E. 2001. Physical control of phytoplankton distributions in the Alboran Sea: A numerical and satellite approach. *Journal of Geophysical Research*, 106 (C8): 16795-16805.

García-La Fuente, J.M.; Cano, N.; Vargas, M.; Rubin, J.P.; Hernández-Guerra, A. 1998. Evolution of the Alboran Sea hydrographic structures during July. 1993. *Deep-Sea Res. I*, 45: 39-65.

García-Lafuente, J.; 2008. Golfo de Cádiz y Estrecho de Gibraltar. En: Mares de España: The Seas of Spain. Secretaría General del Mar. Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino. ISBN: 978-84-8320-423-8.



Gazeau, F., Quiblier C., Jansen J. M., Gattuso J. P., Middelburg J. J. and Heip C. H. R.; 2007. Impact of elevated CO₂ on shellfish calcification, *Geophysical Research Letters* 34 (L07603). <http://dx.doi.org/10.1029/2006GL028554>

Gil, J., 1990. Hidrografía de la plataforma continental española mediterránea y Golfo de León. *Informe Técnico del Instituto Español de Oceanografía*, 81: Mayo-Junio de 1988.

Golani D, Orsi-Relini L, Massutí E, Quignard JP (2002) CIESM Atlas of Exotic Species in the Mediterranean. CIESM Publishers, Monaco.

Gómez F. 2003. The role of the exchanges through the Strait of Gibraltar on the budget of elements in the Western Mediterranean Sea: consequences of human-induced modifications. *Marine Pollution Bulletin*, 46: 685-694.

Gómez, F.; González, N.; Echevarría, F.; García, C.M. 2000. Distribution and fluxes of dissolved nutrients in the Strait of Gibraltar and its relationship to microphytoplankton biomass. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 51 (4) 439-449.

Gómez, M.J.; Martínez-Bueno, M.J.; Lacorte, S.; Fernández-Alba, A.R.; Agüera, A. 2007. Pilot survey monitoring pharmaceuticals and related compounds in a sewage treatment plant located on the Mediterranean coast. *Chemosphere*, 66: 993-1002.

Gómez-Gutiérrez A.; Garnacho E.; Bayona J.M.; Albaigés J. 2007. Assessment of the Mediterranean sediments contamination by persistent organic pollutants. *Environmental Pollution*, 148 (2):396-408.

González-Fernández, D.; Garrido-Pérez, C.; Pérez-Sánchez, E.; Outón-Lubián, I.; Nebot-Sanz, E. 2007. Evaluation of anthropogenic pollution in sediments of a coastal metropolitan area. A case study in the southern Spain. SETAC Europe 17th Annual Meeting, 20-24 May, Porto (Portugal).

Grandfils, R. 1982. Contribución al conocimiento de *Patella ferruginea* (Gmelin, 1789). *Iberus*, 2: 57-69.

Havenhand, J. N., F.-R. Butler, M. C. Thorndyke, and J. E.; 2008. Williamson, Near-future levels of ocean acidification reduce fertilization success in a sea urchin, *Current Biology* 18 (15): R651-R652.

Herburn, G.W.; La Violette, P.E.; 1990. Variations in the structure of the Anticlonic Gyres found in the Alboran Sea. *Jour. Geophys. Res.*, 95: 1599-1613.

Hernández Molina, F. J.; Somoza, L.; Vázquez, J.T.; Lobo, F.; Fernández Puga, M.C.; Llave, E.; Díaz del Río, V.; 2002. Quaternary stratigraphic stacking patterns on the continental shelves of the southern Iberian peninsula: their relationship with global climate and palaeoceanographic changes. *Quaternary International*, 92: 5-23.



Hernández-Molina, F.J., 1993. Dinámica sedimentaria y evolución durante el Pleistoceno terminal-Holoceno del margen noroccidental del mar de Alborán. Modelo de estratigrafía secuencial de muy alta resolución en plataformas continentales. Tesis Doctoral, Univ. Granada, Granada, 617 págs.

Huertas, I.; Ríos, A.; García-Lafuente, J.; Makaoui, A.; Rodríguez-Gálvez, S.; Sánchez-Román, A.; Orbi, A.; Ruíz, J.; Pérez, F.; 2009. Anthropogenic and natural CO₂ exchange through the strait of gibraltar; *Biogeosciences* 6 (4): 647-662.

IPCC; 2007. Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo de redacción principal: Pachauri, R.K. y Reisinger, A. (directores de la publicación)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 104 págs.

Junta de Andalucía. 2000. Calidad de las aguas y sedimentos del litoral de Andalucía. Plan de Policía (1995-1998). ISBN: 84-89650-81-0.

Junta de Andalucía. 2004. Evaluación de la calidad de las aguas y sedimentos del litoral de Andalucía: (1999-2003). Junta de Andalucía. ISBN: 978-84-96329-31-7.

Junta de Andalucía. 2005. Vigilancia ecológica del litoral andaluz (I): Monitorización de la macrofauna del sedimento y calidad ambiental de los fondos sublitorales. ISBN: 84-96329-46-1.

Junta de Andalucía. 2008. Medio Ambiente en Andalucía. Informe 2007. Consejería de Medio Ambiente.

Lafuente, J.G.; Cano, N.; Vargas, M.; Rubin, J.P.; Hernández-Guerra, A. 1998. Evolution of the Alboran Sea hydrographic structures during July 1993. *Deep-Sea Research* I, 45: 39-65.

León, V.M.; Martínez-Gómez, C.; García, I.; Campillo, J.A.; Benedicto, J. 2011. Spatial distribution and temporal trends of polycyclic aromatic hydrocarbons in *Mytilus galloprovincialis* from the Iberian Mediterranean coast. *Science of Total Environment* (en prensa).

Luque, A.A. 1986. Contribución al conocimiento de los Gasterópodos de las costas de Málaga y Granada. II. Prosobranquios. *Iberus*, 6 (1): 79-94.

Meehl, G.A., T.F. Stocker, W.D. Collins, P. Friedlingstein, A.T. Gaye, J.M. Gregory, A. Kitoh, R. Knutti, J.M. Murphy, A. Noda, S.C.B. Raper, I.G. Watterson, A.J. Weaver and Z.-C. Zhao; 2007: Global Climate Projections. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and



New York, NY, USA (2007).

Mercado, J.M.; Ramírez, T.; Cortés, D. 2008b. Changes in nutrient concentration induced by hydrological variability and its effect on light absorption by phytoplankton in the Alborán Sea (Western Mediterranean Sea). *Journal of Marine Systems*, 71: 31-45.

Mercado, J.M.; Ramírez, T.; Cortés, D.; Sebastián, M.; Liger, E.; Bautista, B. 2008a. Partitioning the effects of changes in nitrate availability and phytoplankton community structure on the relative nitrate uptake in the Northwest Alboran Sea (Mediterranean Sea). *Marine Ecology-Progress Series*, 359: 51-68.

Mercado, J.M.; Ramírez, T.; Cortés, D.; Sebastián, M.; Vargas-Yañez, M. 2005. Seasonal and Inter-annual variability of the phytoplankton communities in an upwelling area of the Alborán Sea (SW Mediterranean Sea). *Scientia Marina*, 69 (4): 451-465.

Mercado, J.M.; Cortés, D.; García, A.; Ramírez, T. 2007. Seasonal and inter-annual changes in the planktonic communities of the northwest Alboran Sea (Mediterranean Sea). *Progress in Oceanography*, 74: 273-293.

Millot, C., 1987. Circulation in the Western Mediterranean Sea. *Oceanologica Acta*, 10 (2): 143-149.

Minas, H.J.; Coste, B.; Le Corre, P.; Minas, M.; Raimbault, P. 1991. Biological and geochemical structures associated with the water circulation through the Strait of Gibraltar and in the Western Alboran Sea. *Journal of Geophysical Research*, 96 (C5): 8755-8771.

Minas, H.J.; Minas, M. 1993. Influence du détroit de Gibraltar sur la biogéochimie de la Méditerranée et du proche Atlantique. *Annales de l'Institut Oceanographique*, 69: 203-214.

Orr, J.C., K. Caldeira, V. Fabry, J.-P. Gattuso, P. Haugan, P. Lehodey, S. Pantoja, H.-O. Pörtner, U. Riebesell, T. Trull, M. Hood, E. Urban, and W. Broadgate; 2009. Research Priorities for Ocean Acidification, report from the Second Symposium on the Ocean in a High-CO₂ World, Monaco, October 6-9, 2008, convened by SCOR, UNESCO-IOC, IAEA, and IGBP, 25 págs., (available at <http://www.ocean-acidification.net/Symposium2008/>).

Packard, T.T.; Minas, H.J.; Coste, B.; Martínez, R.; Bonin, M.C.; Gostan, J.; Garfield, P.; Christensen, J.; Dortch, Q.; Minas, M.; Copin-Montegut, G. 1988. Formation of the Alboran oxygen minimum zone. *Deep-Sea Research*, 35: 1111-1118.

Paracuellos, M.; Nevado, J. C.; Moreno, D.; Giménez, A.; Alesina, J. J. 2003. Conservational status and demographic characteristics of *Patella ferruginea* Gmelin, 1791 (Mollusca, Gastropoda) on the Alboran Island (Western Mediterranean). *Animal Biodiversity and Conservation*, 26 (2): 29-37.

Parrilla, G.; Kinder, T.H.; 1987. Oceanografía física del Mar de Alborán. *Boletín del Instituto*



Español de Oceanografía, 4: 133-166.

Peña, V.; Bárbara, I.; 2007. Los fondos de Maërl en Galicia. *Algas, Boletín de la Sociedad Española de Ficología*, 37: 11-17.

Petrovic, M.; Rodríguez Fernández-Alba, A.; Borrull, F.; Marce, R.M.; González Mazo, E.; Barceló, D. 2002. Occurrence and distribution of nonionic surfactants, their degradation products, and linear alkylbenzene sulfonates in coastal waters and sediments in Spain. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 21 (1): 37-46.

Pratt, L.J., 1990. The physical oceanography of sea straits. *Kluwer Academic Publishers*, Nato, 600 págs.

Ramírez, T. 2007. Variabilidad hidrológica y dinámica biogeoquímica en el sector noroccidental del Mar de Alborán. Tesis Doctoral, Universidad de Málaga.

Ramírez, T.; Cortés, D.; Mercado, J.M.; Vargas-Yañez, M.; Sebastián, M.; Liger, E. 2005. Seasonal dynamics of inorganic nutrients and phytoplankton biomass in the NW Alboran Sea. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 65: 654-670.

Reul, A. 2000. Patrones de distribución espacio-temporal del fitoplancton en la región de afloramiento-frente del sector NO del mar de Alborán. Tesis Doctoral. Universidad de Málaga.

Robles, R.; 2010. Conservación y desarrollo sostenible del mar de Alborán/ Conservation et développement durable de la mer d'Alboran. Gland, Suiza y Málaga, España: UICN.

Rodríguez, J.; Blanco, J.M.; Jiménez-Gómez, F.; Echevarria, F.; Gil, J.; Rodríguez, V.; Ruiz, J.; Bautista, B.; Guerreo, F. 1998. Patterns in the size structure of the phytoplankton community I the deep fluorescence maximum of the Alborán Sea (southwestern Mediterranean). *Deep-Sea Research I*, 45: 1577-1593.

Rodríguez, V.; Blanco, J. M.; Jiménez-Gómez, F.; Rodríguez, J.; Echevarria, F.; Guerreo, F. 1997. Distribución espacial de algunos estimadores de biomasa fitoplanctónica y material orgánico particulado en el mar de Alborán, en condiciones de estratificación térmica (julio 1993). *Publicaciones Especiales del Instituto Español de Oceanografía*, 24: 53-64.

Sabine CL, Feely RA, Gruber N, Key RM, Lee K, et al.; 2004. The oceanic sink for anthropogenic CO₂. *Science*, 305: 367-71.

Sánchez-Tocino L, Hidalgo Puertas F, Pontes M (2007) Primera cita de *Fistularia commersoini* Ruppell, 1838 (Osteichthyes: Fistulariidae) en aguas mediterráneas de la Península Ibérica. *Zoologica Baetica* 18:79-84.

Santana-Casiano, J., Gonzalez-Davila, M.; Laglera, L. M.; 2002. The carbon dioxide system in the Strait of Gibraltar; *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 49 (19):



4145-4161.

Sarhan, T.; 2001. Variabilidad de las condiciones hidrológicas en el sector noroccidental del mar de Alborán en función de diversos agentes externos y su aplicación en los fenómenos biológicos de la zona. Tesis Doctoral. Universidad de Cádiz.

Sarhan, T.; García Lafuente, J.; Vargas, M.; Vargas, J.M.; Plaza, F.; 2000. Upwelling mechanisms in the northwestern Alboran Sea. *Journal of Marine Systems*, 23: 317-331.

Scarpato, A.; Romanelli, G.; Galgani, F.; Giordano, P.; Andral, B.; Amici, M.; Calvo, M.; Caixap, J.; Campillo, J.A.; Benedicto, J.; Cento, A.; BenBrahim, S.; Sammari, C.; Deudero, S.; Boulahdid, M.; Giovannardi, F. 2010. Western Mediterranean coastal waters-Monitoring PCBs and pesticides accumulation in *Mytilus galloprovincialis* by active mussel watching. The Mytilos Project. *Journal of Environmental Monitoring*, 12: 924-935.

Sierra M. 2005. Niveles de metales y elementos asociados en suelos de la Provincia de Almería. Parámetros que los afectan y riesgos de contaminación. PhD Thesis. Universidad de Granada.

Tesson, M.; Gensous, B.; Labrahimi, M. 1987. Seismic analysis of the Southern margin of the Alborán Sea. *Journal Earth Science*, 6: 813-821.

Tintoré, J.; Gomis, D.; Alonso, S.; Parrilla, G.; 1991. Mesoscale dynamics and vertical motion in the Alborán Sea. *Journal of Physical Oceanography*, 21: 811-823.

UNEP/MAP, NAP Spain. 2005. El plan de acción nacional para la protección del mar mediterráneo contra la contaminación de origen terrestre. AM-MED POL/ MATE, 109 págs.

Vargas-Yañez, M.; Plaza, F.; García Lafuente, J.; Sarhan, T.; Vargas, J.M.; Vélez-Belchi, P.; 2002. About the seasonal variability of the Alboran Sea circulation. *J. Mar. Systems*, 35: 229-248.

Viúdez, A.; Pinot, J.M.; Haney, R.L. 1998. On the upper layer circulation in the Alboran Sea. *Journal of Geophysical Research*, 103 (C10): 21.653-21.666.

<http://dx.doi.org/10.1029/98JC01082>