# DEMARCACIÓN MARINA ESTRECHO Y ALBORÁN (DMESAL)

TERCER CICLO ESTRATEGIAS MARINAS

# MARCO GENERAL



Financiado por la Unión Europea
NextGenerationEU

GOBIERNO DE ESPAÑA
VICEPRESIDENCIA TERCERA DEL GOBIERNO
MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO

Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia

ESTRATEGIAS MARINAS
Protegiendo el mar para todos

**MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO**

Aviso legal: Los contenidos de esta publicación podrán ser reutilizados citando la fuente, y la fecha, en su caso, de la última actualización.

**Edita:** ©: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO). Madrid 2024.

**NIPO:** XXXXXX

Catálogo de Publicaciones de la Administración General del Estado: https://cpage.mpr.gob.es

MITECO. www.miteco.es

# AUTORES DEL DOCUMENTO

**Condiciones físico-químicas Equipo IEO-CSIC**

- Luis Miguel Fernández Salas
- Patricia Bárcenas Gascón
- Irene Díez García
- Margarita García García
- Antonio García Ledesma
- Raúl Jiménez Romero
- Nieves López González,
- Natalia Martínez Carreño
- Desirée Palomino Cantero
- Olga Sánchez Guillamón
- Miriam Sayago Gil
- Juan Tomas Vázquez Garrido
- Izaskun Villar Menéndez
- César González-Pola Muñiz
- Ana Isabel Aldarias Martos
- Safo Piñeiro Rodríguez
- Eneko Aierbe Sarasola
- Ángela Mosquera Giménez
- Rocío Fernández Graña
- Rosa Balbín Chamorro
- Manuel Vargas Yáñez
- Jesús Mercado Carmona
- María Teresa Camarena Gómez
- Miriam Domínguez Rodríguez
- Isabel Ferrera Ceada
- Candela García Gómez
- Francisco Gómez Jakobsen
- Antonio Sánchez Sánchez
- Nerea Valcárcel Pérez

**Hábitats pelágicos- Equipo IEO-CSIC**

- Lidia Yebra
- Rafael González-Quirós
- Elena Pérez de Rubín
- Francina Moya
- Manuel Vargas Yáñez
- Nerea Valcárcel Pérez
- Candela García Gómez
- Teresa Camarena
- Cristina Alonso Moreno
- Enrique Ballesteros Fernández
- Silvia Sánchez Aguado

**Hábitats bentónicos- Equipo IEO-CSIC**

- José Luis Rueda
- Antonio Punzón
- Juan M Ruiz





- David Diaz
- Sandra Mallol
- Ángel Mateo-Ramírez
- Emilio González-García
- Ana Mena-Torres
- Marina Gallardo-Núñez
- Cristina García-Ruiz
- María González-Aguilar
- Javier Valenzuela
- Adrián Martín-Taboada
- Ulla Fernández-Arcaya
- Jose Manuel González-Irusta
- José Rodríguez-Gutierrez
- Olvido Tello
- Luis Miguel Agudo
- Gerardo Bruque
- Daniel Cano
- Augusto Rodríguez-Basalo
- Marta Sáinz Bariaín
- Jaime Bernardeau Esteller
- María Dolores Belando
- Rocío García Muñoz
- Jose Martínez Garrido
- Marta García Sánchez
- Irene Rojo Moreno
- Mari Carmen Monpean de la Rosa
- Macarena Turpín
- Arantxa Ramos Segura
- Lázaro Marín Guirao
- Javier Urra Recuero
- Alejandro Martín Arjona
- Pablo Marina Ureña
- José Antonio Caballero Herrera

**Peces y cefalópodos - Equipo IEO-CSIC**

- Enric Masuttí Sureda
- Pablo Abaunza
- David Diaz Viñolas
- Sandra Mallol Martínez
- Cristina García
- Elena Moya
- José Carlos Rodríguez
- Pablo Marina Ureña
- Javier Urra Recuero
- Alejandro Martín Arjona
- Pablo Marina Ureña

**Mamíferos y reptiles- Equipo IEO-CSIC**

- Camilo Saavedra Penas
- José Antonio Vázquez Bonales
- Paula Gutiérrez Muñoz

- Paula Suarez Bregua
- José Antonio Martínez Cedeira
- Miguel Álvarez González
- Raquel Alves Garaña
- Cristina Gonzalez García
- Julio Valeiras Mota
- Natacha Aguilar de Soto
- Joan Giménez Verdugo
- Jose Carlos Baez Barrionuevo

**Aves**

- Pep Arcos (SEO/BIRDLIFE)

**Especies Alóctonas Invasoras -Equipo IEO-CSIC**

- Aina Carbonell Quetglas
- Maite Vázquez Luis
- Lydia Png González
- Robert Comas González
- José Manuel Cañizares González

**Principales stoks pesqueros -Equipo IEO-CSIC**

- Susana Junquera López
- Isabel Maneiro Estraviz
- Gema Canal Pérez
- Amina Tifoura
- Nuria Zaragoza Vilanova

**Redes tróficas- Equipo IEO-CSIC**

- Izaskun Preciado Ramirez
- Irene Maria Rabanal Carballido
- Miguel Vivas Salvador
- Oscar García Aguilar
- María De Los Ángeles Torres Leal
- Encarnación García Rodríguez
- José Miguel García Rebollo
- Daniel glesias Fernández
- Lucía López López
- Eduardo López Díaz
- Isabel María Muñoz De Los Reyes
- Juan José Ortiz García
- Zaida Parra Garrido
- María Valls Mir
- Eva María Velasco Gil

**Espacios marinos protegidos- MITECO**

- Blanca Ruiz
- Maria Luisa Sanchez
- Lucía Martínez

**COORDINACIÓN GENERAL MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO (SUBDIRECCIÓN GENERAL PARA LA PROTECCIÓN DEL MAR)**

- Itziar Martín Partida
- Marta Martínez-Gil Pardo de Vera
- Lucía Martínez García-Denche
- Francisco Martínez Bedia
- Carmen Francoy Olagüe

**COORDINACIÓN INSTITUTO ESPAÑOL DE OCEANOGRAFÍA (IEO-CSIC)**

- Alberto Serrano (Coordinación)
- Paula Valcarce Arenas (Coordinación)
- Mercedes Rodriguez Sánchez (Coordinación)
- Paloma Carillo de Albornoz (Coordinación)





# ÍNDICE

AUTORES DEL DOCUMENTO 3
1. INTRODUCCIÓN 10
2. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS 13
2.1 Características Fisiográficas 13
2.1.1 Características morfosedimentarias principales 15
2.2 Meteorología 20
2.2.1 Régimen atmosférico, campos de viento, temperaturas y pluviosidad 20
2.2.2 Oleaje 25
2.3 Hidrografía y Circulación 28
2.3.1 Aguas superficiales: Propiedades termohalinas y estacionalidad 28
2.3.2 Masas de Agua 29
2.3.3 Circulación 31
2.3.4 Nivel del mar, mareas y tendencias 35
2.4. Ciclos biogeoquímicos 40
2.4.1. Generalidades sobre la distribución y mecanismos de control del oxígeno y nutrientes inorgánicos disueltos, efectos del Cambio Global 40
2.4.2. Generalidades sobre el sistema del dióxido de carbono ($CO_2$) en agua de mar, sus mecanismos de control y los efectos del Cambio Global, la acidificación oceánica 42
2.4.3. Peculiaridades en la distribución, variabilidad e impacto del Cambio Global en el $O_2$, NUT y sistema del $CO_2$ en agua de mar de la Demarcación Estrecho de Gibraltar y Mar de Alborán 45
3. CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICAS 49
3.1 Hábitats 49
3.1.1 Ecosistema pelágico 49
3.1.2 Hábitats bentónicos 52
3.2 Especies 67
3.2.1 Peces y cefalópodos 67
3.2.2 Mamíferos marinos 72
3.2.3 Reptiles marinos 72
3.2.4 Aves marinas 73
3.2.5 Especies alóctonas 74
3.3 Principales stocks pesqueros 76
3.4 Redes tróficas 78
4. HERRAMIENTAS DE PROTECCIÓN 85
4.1 Especies protegidas 85
4.1.1 Algas y fanerógamas marinas 85
4.1.2 Invertebrados 87
4.1.3 Vertebrados 92





4.2 Hábitats protegidos 100

4.3 Áreas Marinas Protegidas 104

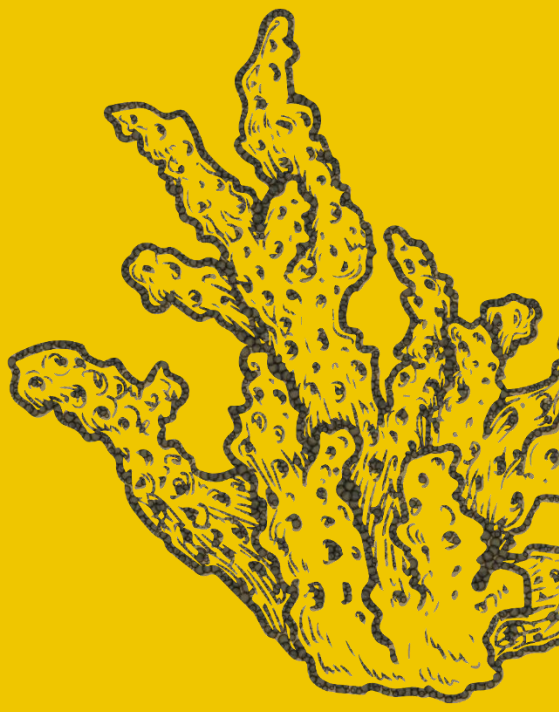
4.3.1 Figuras de Protección 104

4.3.2 Red de Áreas Marinas Protegidas de España (RAMPE) 109

4.3.3 Superficie protegida de la demarcación marina Estrecho y Alborán 110

**5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 112**

01



# INTRODUCCIÓN

# 1. INTRODUCCIÓN

La demarcación marina Estrecho y Alborán se caracteriza por ser la única demarcación que está bañada por aguas de diferentes mares u océanos: el océano Atlántico y el mar Mediterráneo. Se ubica en el margen sur de la península Ibérica, desde el meridiano de Tarifa (6° Oeste) en su límite occidental, hasta el cabo de Gata en su extremo oriental. Hacia el sur se extiende hasta la línea equidistante con las aguas de Marruecos y Argelia, estando su límite oriental definido por el tramo septentrional de la línea imaginaria uniendo el cabo de Gata en Almería y el cabo Fígalo en Argelia. Además de esta extensa área, la demarcación incluye las aguas circundantes de la isla de Alborán y de las plazas españolas en el norte de África: Ceuta, Melilla, los peñones de Perejil, Vélez de La Gomera y Alhucemas, así como las islas Chafarinas. La longitud total de esta demarcación entre sus extremos occidental y oriental es de aproximadamente 350 km, cubriendo un área de 27.314 km$^2$ (Figura 1).

La demarcación se divide en dos sectores claramente diferenciados. El sector occidental, con una longitud de 55 km, corresponde al estrecho de Gibraltar, que se extiende entre las puntas de Tarifa al oeste, y Europa al este. Y el sector oriental que se corresponde al mar de Alborán, cuyo rasgo más distintivo es un conjunto de montes submarinos de origen volcánico y/o tectónico.

El sector occidental se caracteriza por un estrecho con forma de embudo abierto hacia el oeste y una bahía en herradura, la de Algeciras, en su margen norte. En el eje longitudinal de esta bahía se desarrolla un marcado cañón submarino. El estrecho de Gibraltar fue excavado sobre el arco de Gibraltar debido a la acción de un sistema de fallas de direcciones ENE-OSO y ONO-ESE, que han actuado como estructuras de debilidad (Vázquez et al.; 2023) y al proceso erosivo que provocó la entrada de masas de agua procedentes del océano Atlántico durante el Plioceno inferior (hace 5 millones de años), lo cual inundó de forma brusca y rápida la cuenca del mar de Alborán (García Castellanos et al.; 2009). Una vez estabilizada la inundación comenzó el intercambio y la interacción de las masas de agua atlántica y mediterránea, fenómeno que persiste en la actualidad.

El sector oriental, correspondiente al mar de Alborán, es una cuenca marina desarrollada entre el Oligoceno Superior y el Tortoniense medio (25-9 millones de años) en el interior del Arco de Gibraltar que está compuesto por la cordillera bético-rifeño. Esta cordillera se formó por colisión de una pequeña placa, el Dominio de Alborán, contra los márgenes continentales del sur de Iberia y norte de África, al moverse hacia el oeste empujada por el crecimiento de la cuenca oceánica del Mediterráneo Occidental, y en un contexto de convergencia norte-sur entre las placas de África y Eurasia (Vázquez et al.; 2021). Durante este periodo se produjo una fase significativa de actividad volcánica, dando lugar a la formación de una serie de montes volcánicos. A partir del Tortoniense superior, hace aproximadamente 7 millones de años, la dirección de la convergencia entre las placas de África y Eurasia cambió a noroeste-sureste, y como consecuencia el margen africano se mueve hacia el norte (Estrada et al.; 2018) y se acorta la cuenca marina. En esta etapa, se originó la elevación de las cordilleras circundantes, así como de los principales relieves de la cuenca marina, especialmente la Dorsal de Alborán y parte de los montes submarinos del sector central. (Vázquez et al.; 2015a).

En cuanto al flujos de masas de agua en esta demarcación, el agua atlántica circula en la superficie del Estrecho hacia el mar de Alborán, mientras que las masas de agua mediterráneas transitan en profundidad hacia el océano Atlántico (Juan et al.; 2020). Las aguas mediterráneas se estratifican a su vez en dos grandes masas, las masas de agua profundas que se canalizan preferentemente hacia el

margen sur del mar de Alborán y las masas intermedias que ocupan básicamente el espacio del margen septentrional bajo las aguas atlánticas (Ercilla et al.; 2016).

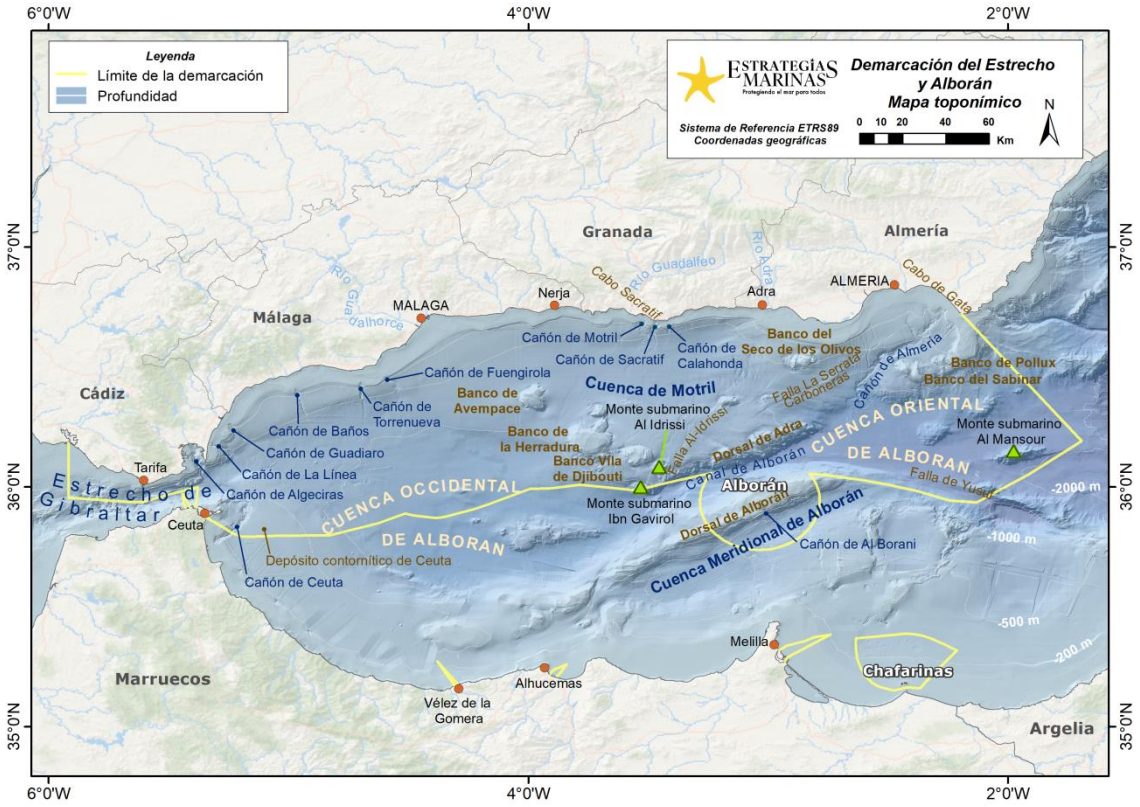



*Figura 1. Localización de la demarcación marina Estrecho y Alborán mostrando los límites de la demarcación y sus principales topónimos y rasgos morfológicos significativos. Los datos cartográficos utilizados en este mapa provienen de diversas fuentes, incluyendo EMODnet, Esri, Garmin, GEBCO, NOAA NGDC e IGN. Los topónimos o nombres geográficos están recopilados en Palomino et al. (2023).*

02



# CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS

# 2. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS

## 2.1 Características Fisiográficas

En la demarcación ESAL se diferencian tres provincias fisiográficas: plataforma continental e insular, talud continental y cuenca oceánica (Figura 2).

La plataforma continental tiene características similares en toda la demarcación abarcando un área de 3.032 km$^2$, que correspondería a un 11,1% del total de la demarcación, de los que 400 km$^2$ (1,5%) se localizan en el margen sur del mar de Alborán. En el estrecho de Gibraltar la plataforma continental tiene una anchura en la parte oriental de 1 a 7 km que aumenta hasta 13 km hacia el oeste, con una pendiente media de 0,9°. En este tramo la profundidad del borde de plataforma varía entre 50 y 100 m. En el mar de Alborán, la plataforma continental se extiende hasta profundidades comprendidas entre 100-120 m, su pendiente media está en torno a 1° y su anchura varía entre 4 y 14 km. Localmente dicha plataforma alcanza anchuras próximas a los 20 km en relación con la presencia de importantes acumulaciones sedimentarias procedentes de los aportes fluviales, como en el caso de los ríos Guadalmedina y Guadalhorce en la zona de Málaga,, o en relación con altos estructurales y/o volcánicos, como ocurre en el promontorio situado frente al Cabo de Gata (Vázquez, 2005). El borde de plataforma en el mar de Alborán se encuentra entre los 100 y 120 m de profundidad.

Una característica peculiar de esta demarcación es la presencia de plataformas insulares sobre el alto estructural de la dorsal de Alborán, que presenta una orientación general ENE-OSO, donde se diferencian dos segmentos principales: el meridional, situado sobre una cresta de 17 km de longitud y 2-3 km de anchura, y el septentrional, que corresponde a la plataforma insular de la isla de Alborán, con geometría ligeramente trapezoidal en planta, una longitud de 32 km y una anchura comprendida entre 2 y 11 km, ocupando un área de 341 km$^2$ (1,25% de la demarcación).

El talud continental es la provincia fisiográfica más significativa de la demarcación, extendiéndose desde el borde de la plataforma hasta profundidades comprendidas entre 1.600 a 1.800 m en su sector oriental y entre 945 a 1.400 m en su sector occidental, aumentando la profundidad de su límite inferior hacia el este en ambos sectores. El talud ocupa un área total de 18.387 km$^2$ que corresponde a un 67,3%, del total de la demarcación, de los cuales, el 5,2% pertenece al margen meridional del mar de Alborán que abarca un área de 1.426 km$^2$ y ocupa, básicamente, el norte de las islas Chafarinas (442 km$^2$ y 1,6%) y el margen de Ceuta (984 km$^2$ y 3,6%). A partir de la geometría de su perfil transversal se diferencian dos tipos de talud: abrupto o escalonado. El talud abrupto, tiene pendientes de hasta 25° y se observa en la parte oriental del estrecho de Gibraltar, en el extremo occidental del margen septentrional del mar de Alborán y en los flancos de la dorsal de Alborán. En el resto de la demarcación, el talud está caracterizado por perfiles con diferentes grados de escalonamiento, situadas a menor profundidad que el fondo de las cuencas adyacentes. Estas zonas varían desde suaves terrazas hasta el desarrollo de la cuenca intratalud conocida como plataforma marginal de Motril-Djibouti, situada a profundidades comprendidas entre 775 y 950 m y pendientes suaves en torno a 1° (Vázquez, 2005). La transición del talud hacia el fondo de la cuenca puede realizarse de manera suave y progresiva o tener una ruptura neta, en función de la presencia de abanicos profundos al pie del talud o de escarpes estructurales.

Las cuencas oceánicas son depresiones limitadas por el talud, ocupando un área total de 5.895 km$^2$ correspondiéndole un 21,6% de la demarcación. Al norte de la dorsal de Alborán se identifican tres

cuencas a diferentes profundidades: occidental, central o canal de Alborán y oriental. La cuenca oceánica occidental tiene geometría romboidal en planta, con dirección noreste-suroeste y noroeste-sureste. Su superficie está suavemente inclinada hacia el este y hacia el sur, alcanzando su mayor profundidad (en torno a 1.500 m) en su parte meridional, dónde se localiza una pequeña llanura con gradiente muy bajo (entre 0,04° y 0,13°) según Huang y Stanley (1972). En la parte más occidental de esta cuenca se encuentra el valle de Gibraltar que ocupa la parte central del estrecho. La Cuenca Central es alargada con tendencia ENE-OSO, tiene 90 km de longitud y una anchura media de 14 km, limitada tanto al norte como al sur por taludes escarpados. Su profundidad aumenta de 1.600 a 1.800 m hacia el este, abriéndose hacia la cuenca oriental, con una pendiente media en torno a 1°. Por último, la cuenca oriental tiene geometría triangular en planta, su profundidad está comprendida entre 1.800 y 2.000 m hacia el este, con una pendiente media de 0,15° y se extiende hasta la zona de transición con la cuenca surbalear. Su parte más oriental está atravesada por la cresta de Al Mansour, de 25 km de longitud según una dirección noreste-suroeste.

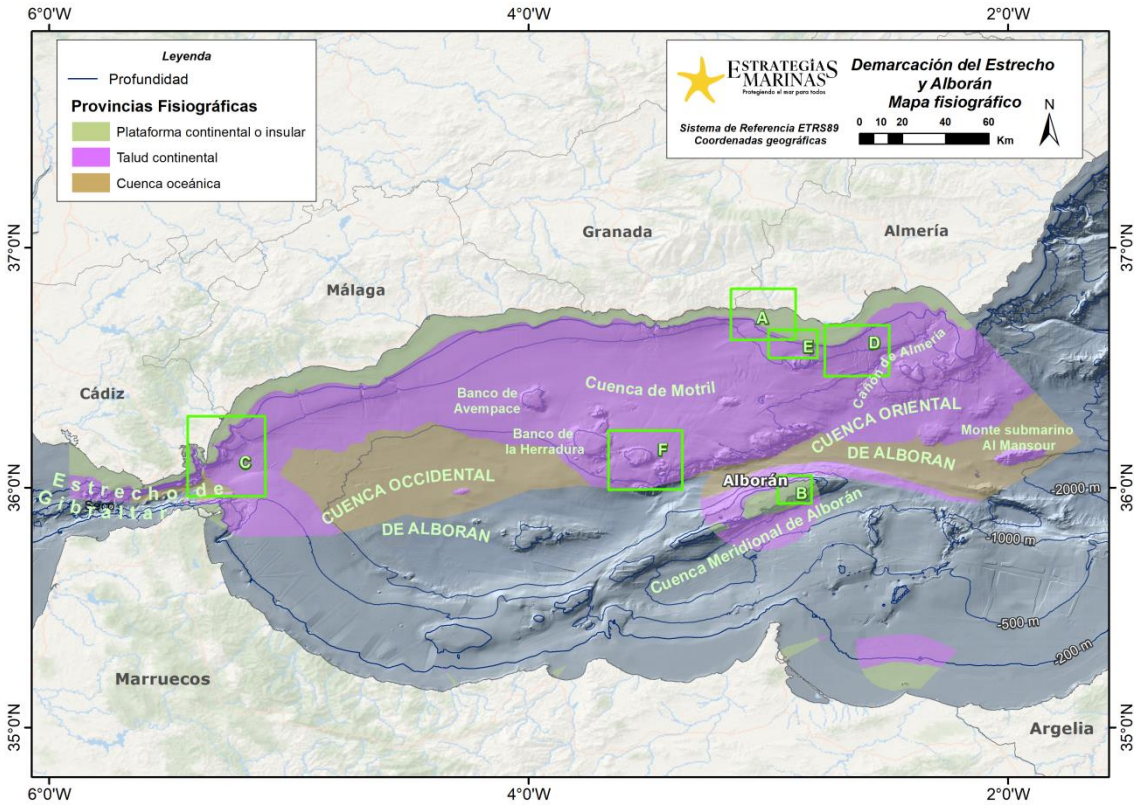



*Figura 2. Mapa fisiográfico de la demarcación marina Estrecho y Alborán donde se diferencian las provincias fisiográficas: plataformas continental e insular, talud continental y cuencas oceánicas. Los cuadros A-F se corresponden con los gráficos 3D de la figura 3. Los datos cartográficos utilizados en este mapa provienen de diversas fuentes, incluyendo EMODnet, Esri, Garmin, GEBCO, NOAA NGDC e IGN. Los topónimos o nombres geográficos están recopilados en Palomino et al. (2023).*

### 2.1.1 Características morfosedimentarias principales

La sedimentación en la plataforma continental norte del mar de Alborán es mayormente terrígena, proveniente de los aportes fluviales, la erosión costera y la sedimentación eólica procedente del norte de África (Moreno et al.; 2002; López-González et al.; 2019). En las zonas menos profundas, los sedimentos son más gruesos debido a la acción combinada de las olas, las corrientes de resaca y la deriva litoral (Kelling y Stanley, 1972; Hernández-Molina, 1993), mientras que los sedimentos más finos son transportados hacia aguas más profundas, formando depósitos más fangosos o fango-arenosos. La distribución de los sedimentos es muy irregular debido al fuerte régimen hidrodinámico de corrientes y a la influencia del agua superficial atlántica, lo que conduce a la aparición frecuente de afloramientos rocosos (Rey y Medialdea, 1989). Por otro lado, en la plataforma insular de la dorsal de Alborán, la sedimentación está influenciada por el sistema actual de corrientes, dividiendo la plataforma en dos zonas bien diferenciadas (Bárcenas et al.; 2018). La plataforma insular norte, afectada por la masa de agua atlántica, presenta un hidrodinamismo más energético y está caracterizada por procesos erosivos y la presencia de sedimentos de arena y arena bioclástica o carbonatos biogénicos, incluyendo rodolitos. En contraste, la plataforma insular sur, influenciada por las masas de agua mediterránea exhibe un sistema de corrientes menos energético y sedimentos de textura fangosa (Bárcenas, 2002).

Los rasgos morfológicos más significativos en la plataforma continental e insular de la demarcación corresponden a los de origen deposicional y erosivo. En los deposicionales se incluyen los prodeltas (parte submarina de los deltas), prismas infralitorales y campos de formas de fondo (campos de ondulaciones y dorsales de arena) y, en los de origen erosivo las superficies de abrasión, escarpes, deslizamientos y cabeceras de cañones. Así mismo, se observan formas relacionadas con fallas como los escarpes rectilíneos.

Los depósitos de prodelta (Fig. 3A) se forman frente a las principales desembocaduras fluviales, destacando los prodeltas de los ríos Guadalhorce, Guadalfeo y Adra. Los prodeltas se desarrollan generalmente en la plataforma interna pero su extensión es variable, llegando incluso hasta el borde de la plataforma, como en el caso de los prodeltas del río Adra o del río Guadalfeo. Lateralmente, los prodeltas están asociados con los prismas infralitorales que se forman en áreas donde no hay desembocaduras de ramblas o ríos (Hernández-Molina et al.; 1993; Fernández-Salas, 2009; Bárcenas, 2013). La composición sedimentaria de los prodeltas es mayormente arenosa, con una predominancia de sedimentos de textura areno-fangosa a fango-arenosa, y en menor medida los sedimentos de textura arenosa a gravo-arenosa, que se vuelven más finos con la profundidad.

Los campos de formas de fondo se encuentran principalmente en la parte oriental de la plataforma, desde el prodelta del río Guadalhorce hasta el Cabo de Gata. Los campos de ondulaciones menores se localizan en los frentes submarinos de los deltas (Fig. 3A) generados por los flujos de alta densidad que llegan al mar durante eventos de tormentas torrenciales (Fernández-Salas et al.; 2007; Bárcenas, 2013). Estas ondulaciones se desarrollan mayormente sobre los prodeltas entre los 10 y 100 m de profundidad, en las zonas de mayor pendiente (Bárcenas, 2013). Los sedimentos que conforman estas ondulaciones son de textura fango-arenosa a areno-fangosa. Por el contrario, los campos de formas de fondo más grandes consisten en crestas o dorsales de arena, localizadas en áreas de fuertes corrientes y escaso recubrimiento sedimentario (Lobo et al.; 2006). Estas dorsales de arena se han identificado

en la plataforma externa al oeste de Motril, entre cabo Sacratif y Adra, y en la plataforma insular de Alborán (Bárcenas et al.; 2018) (Fig. 3B).

En el segmento medio-externo de la plataforma, a partir de 70 m de profundidad predominan amplias superficies de erosión o abrasión, caracterizadas por superficies rugosas y formas asociadas de crestas, terrazas y depresiones (Ercilla, 1992; Hernández-Molina et al.; 1994, 1996). Estas superficies se encuentran en el estrecho de Gibraltar y frente a La Línea, Guadiaro, al campo de Dalias y al cabo de Gata, así como en la plataforma insular de Alborán. Las que afloran en el estrecho de Gibraltar son sustratos rocosos de las Unidades del Flysch del Campo de Gibraltar y las de la zona del cabo de Gata y las de la plataforma insular de Alborán son afloramientos de rocas volcánicas, aunque en este último lugar pueden ser también rocas sedimentarias plegadas o incluso a acumulaciones de rodolitos (Bárcenas et al.; 2004). En el resto de la demarcación se corresponden fundamentalmente con unidades sedimentarias cementadas de edad Pleistoceno (hace 2,59 millones de años).

La zona del borde de plataforma está constituida por una ruptura de la pendiente situada aproximadamente a 110 m de profundidad media, con variaciones entre 100 y 150 m, y se caracteriza por el desarrollo de cuñas sedimentarias que se han interpretado como deltas marginales o cuñas de borde de plataforma caracterizados por arenas y gravas retrabajadas depositados al inicio de la etapa postglacial (Alonso et al.; 1992; Hernández-Molina et al.; 1994). Y por último, la plataforma norte del mar de Alborán muestra un claro control tectónico, marcado por la presencia de escarpes con tendencia noroeste-sureste (Vázquez, 2001; Vázquez et al.; 2008).

En el talud continental y las cuencas marinas adyacentes los rasgos morfológicos presentes tienen un origen muy variado. Predominan las formas erosivas y deposicionales asociadas al efecto de las corrientes de fondo, los sistemas deposicionales de cañones y barrancos submarinos, deslizamientos gravitacionales, bioconstrucciones, y elementos estructurales como altos submarinos, cuencas intratalud, escarpes y corredores de deformación. Aunque no se describan con detalle, cabe señalar también la presencia de formas ligadas a la expulsión de fluidos como volcanes de fango en el extremo oeste de la cuenca occidental o campos de *pockmarks* en el depósito contornítico de Ceuta.

Los sistemas morfosedimentarios relacionados con corrientes de fondo (contorníticos*)*. Se desarrollan a lo largo del talud y las cuencas adyacentes de forma paralela al margen. En el talud medio, situado entre 200 y 600 m de profundidad, estos sistemas se caracterizan por terrazas erosivas y cuerpos deposicionales adosados, relacionados con la circulación de las masas de aguas mediterráneas intermedias (Ercilla et al.; 2016). A mayor profundidad (>600 m) en relación con la circulación de las masas de aguas mediterráneas profundas predominan depósitos de tipo laminar, tanto en las cuencas intratalud de Motril-Djibouti y Meridional como en la cuenca occidental del mar de Alborán (Ercilla et al.; 2016), y el depósito de Ceuta (Ercilla et al.; 2002; Ercilla et al.; 2021). La textura de los sedimentos varía desde arena gruesa, en relación con los depósitos formados por la circulación de la masas de agua intermedia, hasta arena fina y fango para los formados por las masas de agua profundas (Alonso et al, 2023).

En cuanto a los sistemas de cañón-abanico profundo, los cañones se caracterizan por su corta longitud (< 10 km) y por presentar una orientación noroeste-sureste a norte-sur, excepto el cañón de Almería de orientación noreste-suroeste y 75 km de longitud y el cañón de Ceuta, de 38 km de longitud, que nace con dirección noreste-suroeste y gira a lo largo de su curso hasta noroeste-sureste. A lo largo del eje de la bahía de Algeciras se encuentra el cañón de igual nombre y en la parte occidental del mar de

Alborán se encuentran los cañones de La Línea, Guadiaro, Baños, Torrenueva y Fuengirola (Fig. 3C). Al pie de estos cañones se han localizado depósitos de abanico profundo generados por corrientes de turbidez encauzadas a lo largo de los cañones permitiendo el transporte de los materiales fluviales hacia la cuenca (Alonso y Ercilla, 2003; Ercilla et al, 2021; Alonso et al, 2023). En el sector central del mar de Alborán, se desarrollan los sistemas de cañón-abanico de Motril, Sacratif y Calahonda. En el sector oriental destaca el Cañón de Almería que presenta una importante red de barrancos asociados (Fig. 3D) procedentes del margen de Almería y afectados por esta misma estructura (García et al.; 2006). En su pie se localiza un importante depósito de abanico submarino (Alonso y Maldonado, 1992; Ercilla et al.; 2021). Por último, en los flancos de la dorsal de Alborán también se han localizado una red de barrancos erosivos, tanto al norte como al sur, destacando en este último flanco el cañón Alborani que también genera un depósito de abanico submarino (Vázquez et al.; 2015b). A lo largo de estos cañones se han desarrollado sistemas turbidíticos formados por los procesos de erosión y sedimentación asociados a las corrientes de turbidez. La sedimentación superficial de los cañones submarinos está caracterizada, de manera general, en su tramo superior, por la presencia de sedimentos con una textura de tipo arena muy fina a fango arenoso que evolucionan cañón abajo a fango arenoso y fango con mayor o menor bioturbación (Cerrillo-Escoriza et al.; 2024).

Los deslizamientos se han localizado en los sectores central y oriental del margen septentrional del mar de Alborán, como en el flanco meridional de la dorsal de Alborán (Casas et al.; 2011; d'Acremont et al.; 2022; Vázquez et al.; 2022). Se trata de tipos morfológicos gravitacionales, generados por movimientos en masa relacionados con la deformación sismotectónica de la región y favorecidos por la presencia de formaciones de sedimentos no consolidado y altas tasas de sedimentación. En general, en el mar de Alborán estos procesos afectan a las unidades contorníticas o a los flancos de los principales relieves de la región, caracterizados por sedimentos de textura arenosa a areno-fangosa o fango-arenosa.

Las bioconstrucciones están presentes en varias zonas de la demarcación y aparecen agrupados en campos de montículos (Zona de Baños, de Málaga y de las Olivas, Sánchez-Guillamón et al.; 2022) (Fig. 3E) desarrollados sobre una terraza erosiva en el talud medio (220-280 m de profundidad) del margen norte del mar de Alborán, así como al norte de las islas Chafarinas. Estos montículos están cubiertos por sedimentos de textura fangosa. Los montículos pueden aparecer aislados o formando rosarios, tienen longitudes que varían de entre 6 y 630 m de diámetro, una altura media de 15 m, e incluso pueden estar superpuestos verticalmente en varios niveles (Sánchez-Guillamón et al.; 2022). Montículos similares han sido relacionados con bioconstrucciones coralígenas en los sectores más meridionales del mar de Alborán (Lo Iacono, et al.; 2014; Wiemberg et al.; 2022).

Los altos estructurales o montes submarinos son las principales elevaciones sobre el fondo marino que están compartimentado la fisiografía del mar de Alborán. Estos montes ocupan un área de 1.222 $km^2$ que corresponde a un 4,5% de la superficie total de la demarcación y están delimitadas por fallas de diversas tendencias, como ENE-OSO, NNE-SSO y NO-SE. Pueden corresponder a edificios volcánicos, elevaciones del basamento o grandes pliegues (Vázquez, 2005). Sus flancos están caracterizados por fuertes pendientes que pueden alcanzar 55°. Dentro de la demarcación los altos más significativos están en el sector central del margen septentrional de Alborán, destacando los bancos de Avempace, La Herradura y Villa de Djibouti cuyas cimas alcanzan profundidades entorno a los 250 m y se caracterizan por un techo plano probablemente relacionado con procesos erosivos (Palomino et al.; 2011), existiendo otros altos estructurales de menor tamaño, como la dorsal de Adra. Los sedimentos presentan una textura de fango-arenosa a areno-fangosa con foraminíferos, ostrácodos y cantidades

variables de glauconita, se ha señalado que su origen está relacionado con fuentes autigénicas, pelágicas y de polvo eólico. Los sedimentos de la cima tienen una mayor influencia biogénica mientras que a partir de los 300-380 m predomina la influencia de las corrientes de fondo y de los aportes externos de polvo sahariano (López González et al.; 2010). Al sur de estos montes, separados por la cuenca central se encuentra la dorsal de Alborán. Esta dorsal, de tendencia ENE-OSO, tiene 200 km de longitud, y se extiende desde el escarpe de la Falla de Yusuf al noreste hasta el Banco de Xauén al suroeste fuera de la demarcación, atravesado por la zona de falla de Al Idrissi. Presenta desniveles de hasta 1.600 m hacia el norte y 1.000 m hacia el sur. El segmento más oriental, Banco de la isla de Alborán, se caracteriza por una amplia plataforma, caracterizada por una nula influencia de aportes continentales. Sobre la dorsal se encuentra la Isla de Alborán, de origen volcánico. Finalmente, en el sector oriental de la demarcación se observan en su margen norte diversas elevaciones submarinas de origen volcánico: el Banco del Seco de los Olivos de morfología casi circular, los bancos de Pollux y de Sabinar, el Promontorio del Cabo de Gata, y la Cresta de Los Genoveses de orientación noreste-suroeste.

En esta demarcación se han diferenciado dos cuencas intratalud: i) La cuenca de Motril, situada en el margen septentrional frente a las localidades de Nerja y Adra, de dirección general este-oeste a lo largo de 70 km de longitud, situándose su base a una profundidad entre 850 y 930 m, y ii) La cuenca Meridional, que se sitúa entre la dorsal de Alborán y el margen norafricano, se extiende según una dirección ENE-OSO, terminando hacia el este sobre el escarpe de la Falla de Yusuf; tiene dos sectores uno oriental de tipo corredor con 70 km de longitud, 14 km de anchura y fondo plano, con una profundidad comprendida entre 1.065 y 1.150 m ligeramente inclinada hacia el este, seguido de otro sector occidental con geometría romboédrica en planta fuera de la demarcación (Vázquez, 2005).

Por último, las zonas de deformación son más evidentes en los sectores central y oriental de las provincias fisiográficas del talud y cuencas adyacentes, donde cortan la superficie del fondo marino generando corredores de deformación formados por una sucesión de elementos morfológicos alineados constituidos por escarpes de falla, crestas y depresiones tectónicas de diferente tamaño. Los corredores de deformación, así como los elementos individuales siguen tendencias NE-SO, NNE-SSO, N-S y NO-SE (Vázquez et al.; 2016; Vázquez et al.; 2018; Vázquez et al.; 2022).

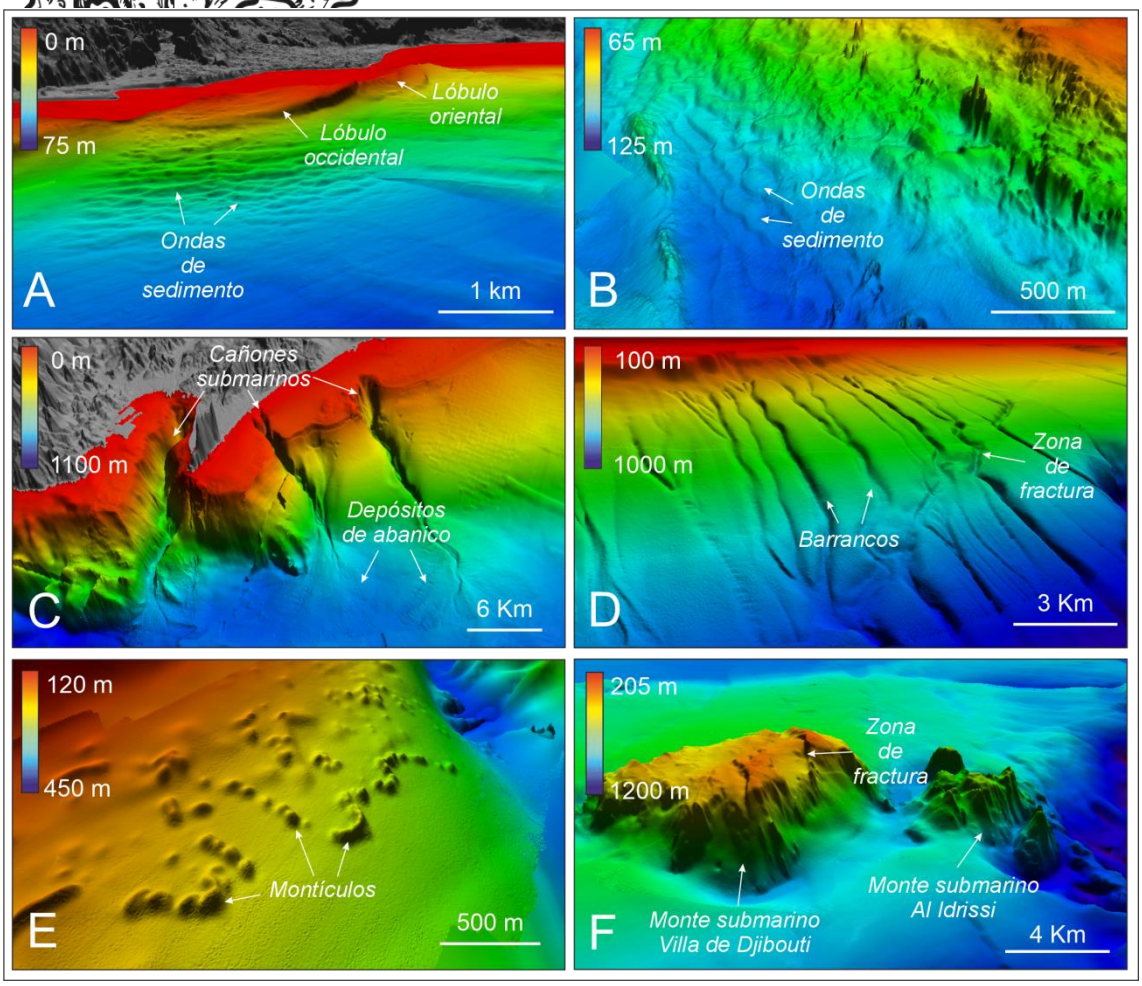



*Figura 3. Ejemplos de tipos morfológicos en la demarcación marina Estrecho y Alborán donde se muestran A) Prodelta del rio Adra (E.V.: x12), B) Campos de ondas en la plataforma insular de Alborán (E.V.: x10); C) Cañones de Algeciras, La Línea y Guadiaro y depósitos de abanico profundo en su desembocadura (E.V.: x10); D) Montes submarinos de Villa de Djibouti y Al Idrissi (E.V.: x5); E) Campo de montículos de las Olivas en la terraza erosiva del talud medio del margen de Adra (E.V.: x10), F) Sistema de barrancos del margen de Almería y zona de fractura de La Serrata-Carboneras (E.V.: x6). Para la localización de los bloques 3D ver la figura 2.*

## 2.2 Meteorología

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

La circulación atmosférica y, por lo tanto, la meteorología en las distintas demarcaciones, incluida la demarcación Estrecho-Alborán, está regulada por la existencia de dos centros de actividad principales: una zona anticiclónica al sur del paralelo 40° N, centrada cerca de las Azores, con aire tropical marítimo (el Anticiclón de las Azores), y una zona de bajas presiones centrada sobre del paralelo 60° N, cerca de Islandia, que canaliza las borrascas del frente polar y transporta aire polar marítimo (la depresión de Islandia). Entre estas dos zonas, los cambios en la magnitud, distribución y extensión de estos centros de presiones a lo largo del año (Figura 4) determinan la estacionalidad de los vientos predominantes con cambios muy marcados a lo largo del año en la componente este-oeste (Figura 5).

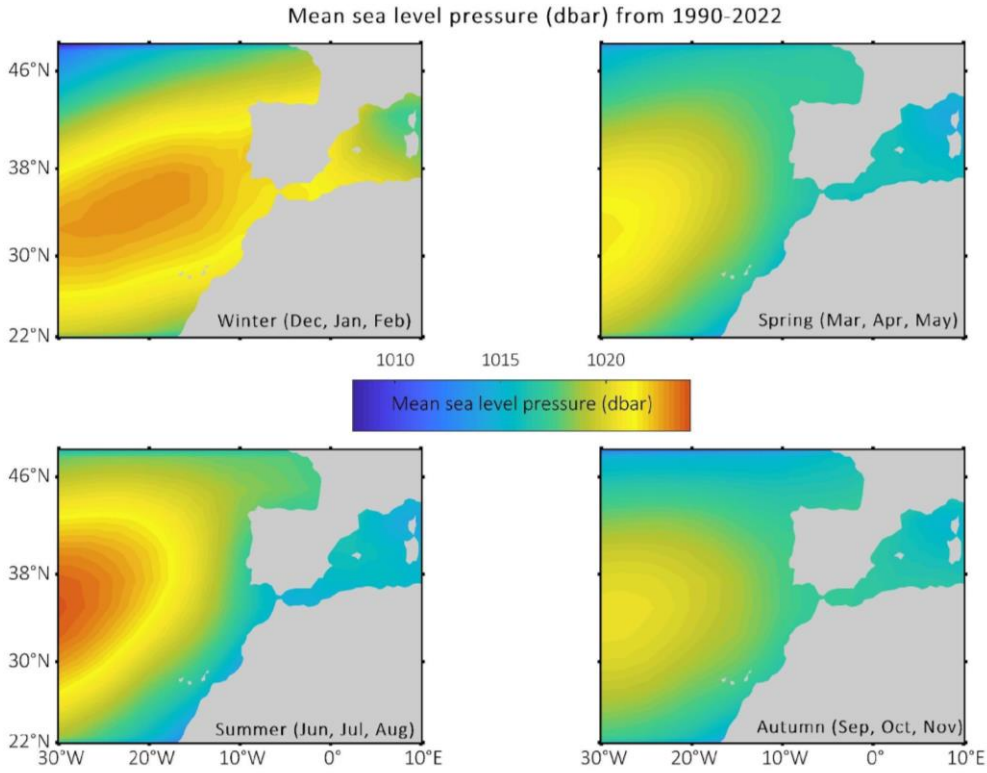



*Figura 4. Campos de presión estacionales (mbar) a partir de la base del Reanálisis atmosférico NCEP/NCAR II.*

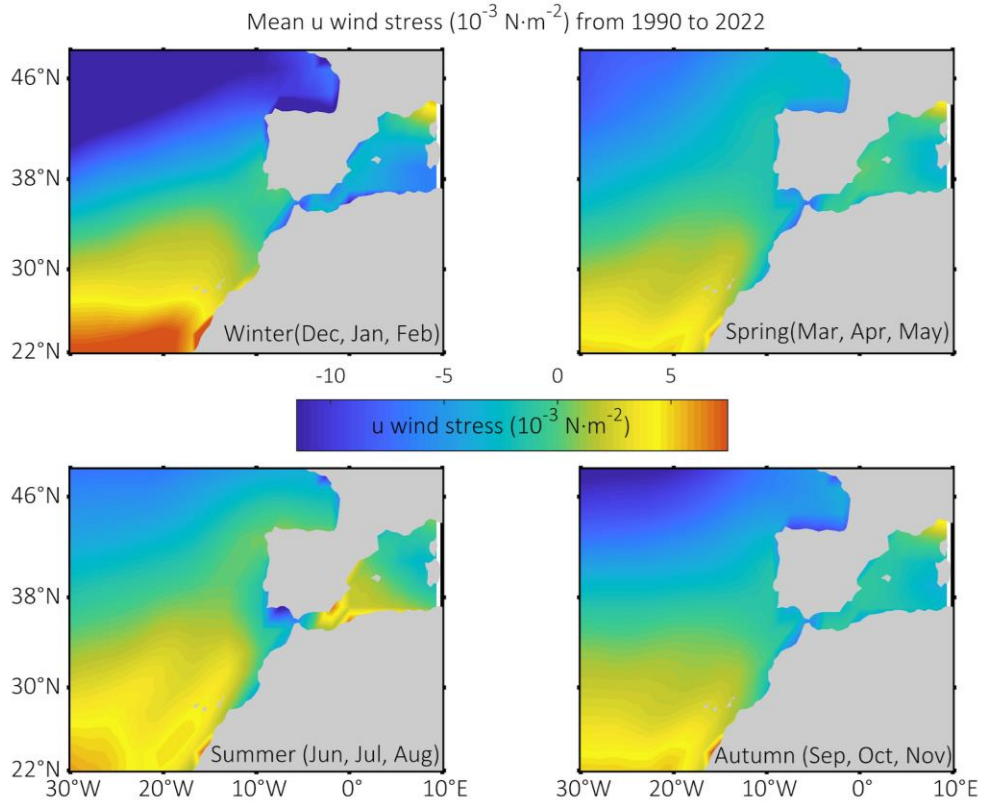



*Figura 5. Campos de tensión del viento (wind stress) estacionales a partir de la base del Reanálisis atmosférico NCEP/NCAR II.*

En términos generales, en la demarcación Estrecho-Alborán, los meses otoñales e invernales se caracterizan principalmente por el paso de bajas presiones sobre la península Ibérica, que dan como resultado la prevalencia de vientos de componente oeste. Durante los meses primaverales, los vientos sobre la demarcación se alternan entre las componentes este y oeste. Finalmente, en verano, los vientos más frecuentes son los de componente este. Localmente, el patrón general de vientos puede verse modificado por la topografía que circunda la demarcación (ver Vargas-Yañez et al., 2019 para una descripción detallada).

Con respecto a la temperatura en la demarcación Estrecho-Alborán, tanto la del aire como la de la superficie del mar, presenta una marcada estacionalidad. La temperatura mínima y máxima diaria, promediada para cada mes del año, oscila entre los 8 y 31 °C a lo largo del año (Vargas-Yañez et al., 2019). Dado el aumento de radiación solar hacia los meses de verano, la temperatura superficial del mar aumenta desde la primavera por la ganancia de calor a través de la superficie del océano y disminuye desde finales de verano hacia el otoño, cuando el océano comienza a ceder el calor que ha acumulado en esos meses a la atmósfera al mismo tiempo que parte de ese calor se transmite hacia capas sub-superficiales. El momento en el que se alcanza el máximo de temperatura a finales de verano (mediados de agosto, Figura 6) es muy similar en todas las Demarcaciones, salvo en la demarcación Canaria. Sin embargo, el momento en que se alcanza el mínimo de temperatura superficial en primavera, a partir del cual el océano empieza a ganar calor y la temperatura superficial aumenta, varía desde el mes de febrero, en las demarcaciones levantino-balear, Estrecho-Alborán, sudatlántica y canaria, a mediados de marzo en la demarcación noratlántica. Con respecto al régimen de evaporación-

precipitación, el balance en la demarcación Estrecho-Alborán es positivo. Es decir, la evaporación supera a las precipitaciones (Figura 7).

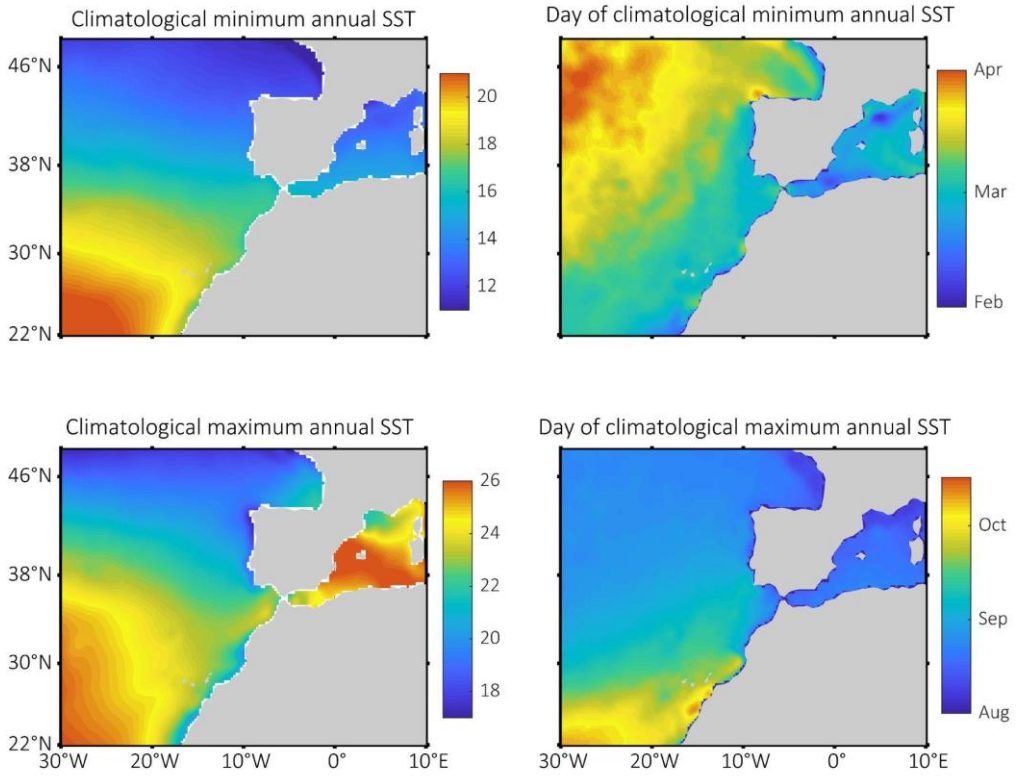



*Figura 6. Temperatura superficial del mar climatológica máxima y mínima a lo largo del año y días en que se alcanzan cada una de ellas a partir de datos de temperatura superficial NOAA OI SST V2 High Resolution Dataset.*

En la demarcación Estrecho-Alborán (y el en el resto de Demarcaciones), el análisis de las tendencias de temperatura superficial (Figura 8) muestran cómo estas se encuentran por encima de la tendencia media de calentamiento de las aguas superficiales del océano global de 0.15°C/década (marcada por el color blanco en la Figura 8). Esta tendencia es de 0,24 ± 0,05 ºC/década para el conjunto de Alborán y de 0,18 ± 0,001 ºC/década para la costa norte de esta cuenca, de acuerdo con datos satelitales y la información recogida por una estación de medida mantenida en la Playa de Fuengirola desde 1984 por el Centro Oceanográfico de Málaga (Vargas-Yáñez, M.; Moya, F.; Serra, M.; Juza, M.; Jordà, G.; Ballesteros, E.; Alonso, C.; Pascual, J.; Salat, J.; Moltó, V.; et al. Observations in the Spanish MediterraneanWaters: A Review and Update of Results of 30-Year Monitoring. J. Mar. Sci. Eng. **2023**, 11, 1284. https://doi.org/ 10.3390/jmse11071284). Esto significa que, en todas las Demarcaciones, las aguas superficiales se están calentando más rápido que la media global. Las únicas áreas que en las Demarcaciones no muestran este comportamiento son algunas zonas de afloramiento, como la que se produce en la fachada atlántica de Galicia (Otero, P., Cabrero, A., Alonso-Pérez, F., Gago, J., Nogueira, E., 2023. Temperature and salinity trends in the northern limit of the Canary Current Upwelling System. Science of the Total Environment, 901, 165791, doi: 10.1016/j.scitotenv.2023.165791) que muestran tendencias incluso de enfriamiento y que siguen así presentándose como un reducto frente al

calentamiento global.

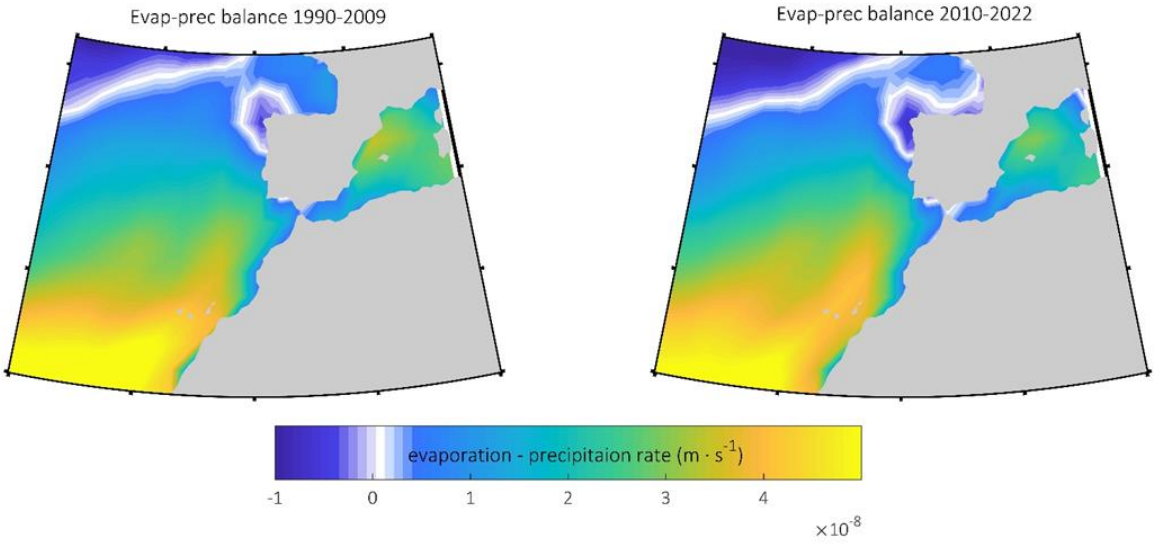



*Figura 7. Campos de balance evaporación precipitación promedios para los periodos indicados a partir de la base del Reanálisis atmosférico NCEP/NCAR II.*

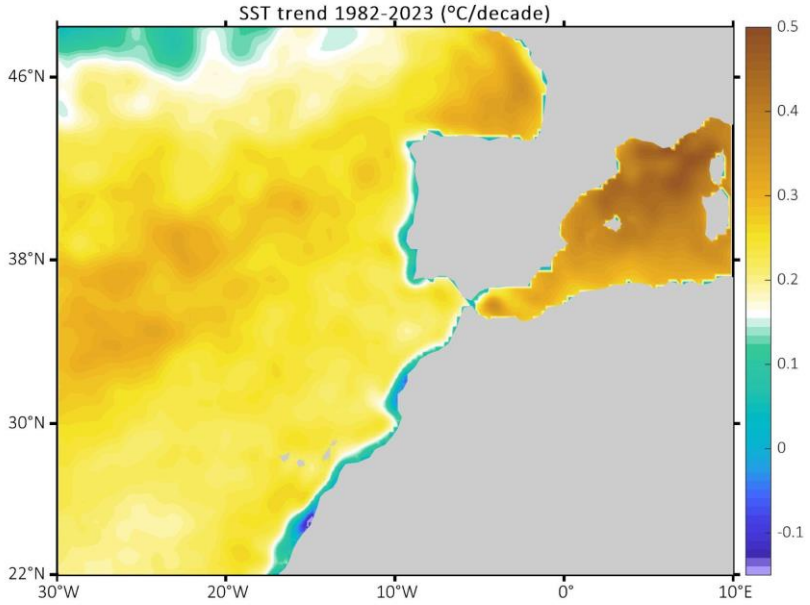



*Figura 8. Tendencias de temperatura superficial del mar a partir de NOAA OI SST V2 High Resolution Dataset para el periodo 1982-2023. Las tendencias se indican en la escala de color. Como referencia, el color blanco indica la tendencia de calentamiento global media de las aguas superficiales (0.15°C/década) para el periodo 1980-2020.*

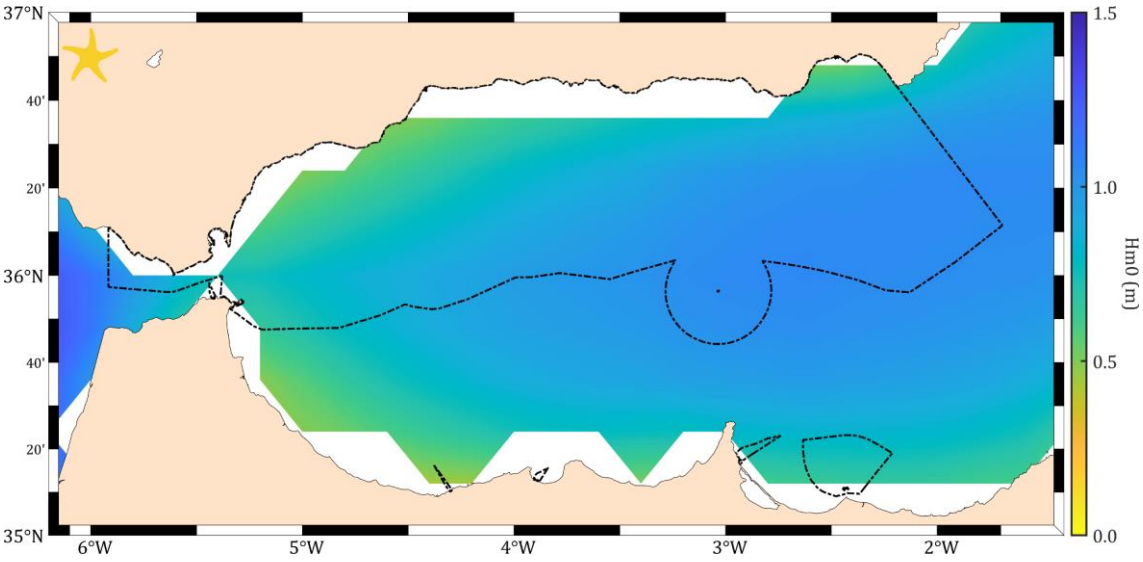


## 2.2.2 Oleaje

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.

Para el análisis del oleaje en la demarcación Estrecho-Alborán se han utilizado principalmente dos fuentes de datos: datos in-situ de dos boyas meteo-ocenaográficas pertenecientes a Puertos del Estado (https://www.puertos.es/es-es/oceanografia/Paginas/portus.aspx) – boya de Alborán (36.27°N, 5.034°W) y la de Cabo de Gata (36.57°N, 2.34°W) – para la realización de rosas de oleaje y datos de satélite de Copernicus, concretamente el producto de reanálisis global del oleaje disponible desde 1993 (*Global Ocean Waves Reanalysis:* https://data.marine.copernicus.eu/product/GLOBAL_MULTIYEAR_WAV_001_032), para la elaboración de mapas de altura y periodo de ola.

La Figura 9muestra la altura media anual y el periodo medio anual del oleaje en la demarcación Estrecho-Alborán. La altura media anual de ola significante en la  es del orden de decenas de centímetros, por debajo de 1 m en condiciones de buen tiempo (Figura 10 y Figura 11). 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 (Camiñas, 2008).



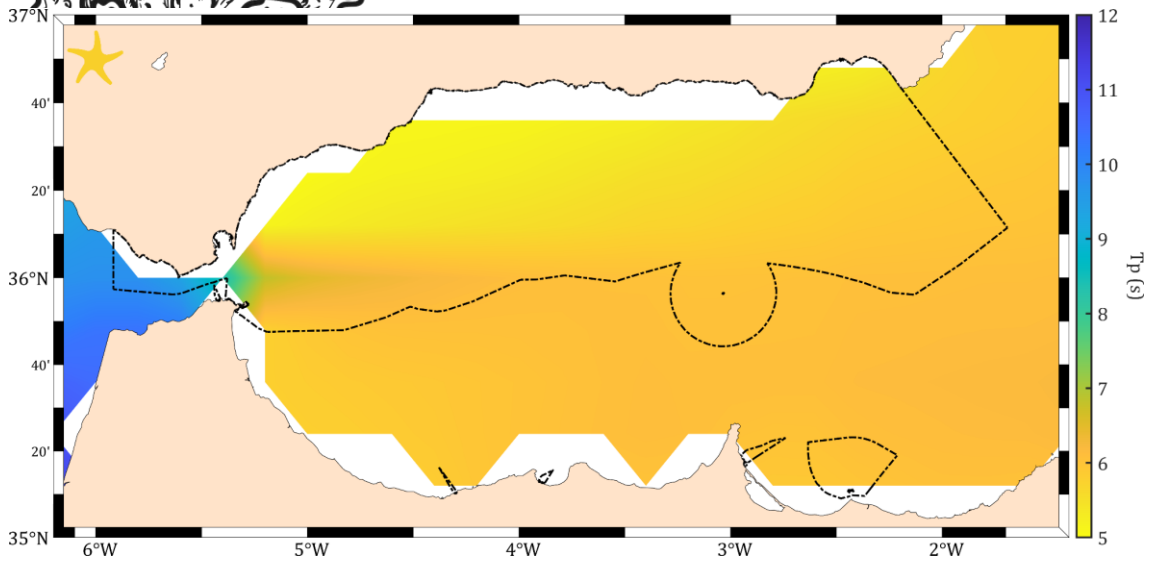



*Figura 9. Altura significante de oleaje (m) en la superficie del mar [superior] y periodo del oleaje (s) en el máximo de densidad espectral en la superficie del mar [inferior] en la demarcación Estrecho-Alborán para el periodo comprendido entre enero 1993 y abril 2023. GLOBAL_REANALYSIS_WAV_001_032. E.U. Copernicus Marine Service Information (CMEMS). Marine Data Store (MDS). DOI: 10.48670/moi-00022 (Accedido el 08-mar-2024).*

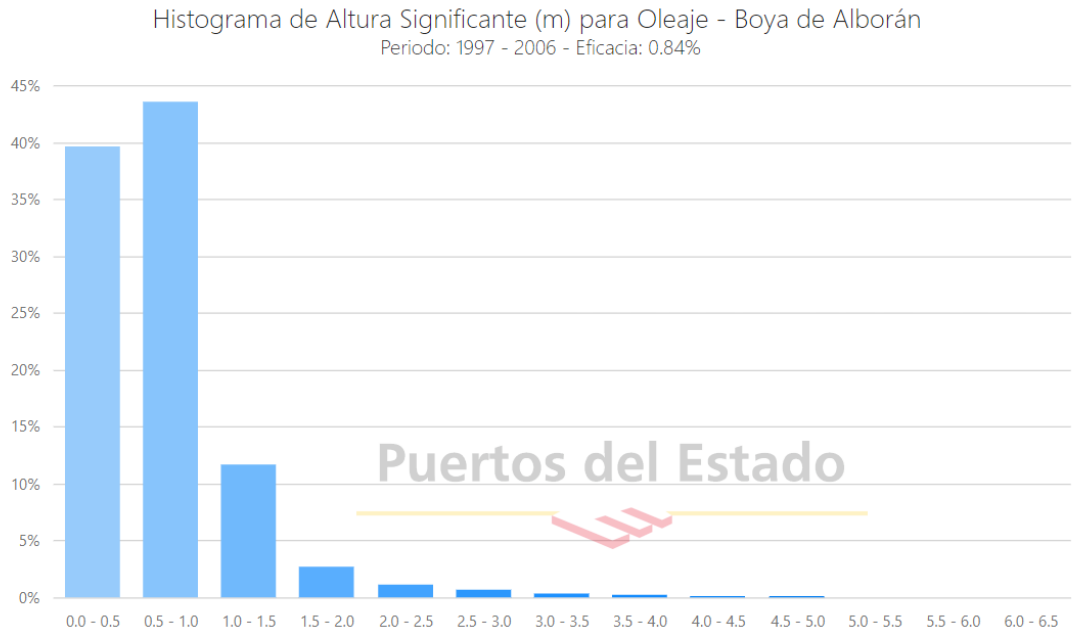



*Figura 10. Histograma de altura significante de ola (m) para la boya de Alborán de Puertos del Estado. Los datos se corresponden con el régimen de oleaje en el océano abierto para el periodo comprendido entre 1997-2006. Fuente: Puertos del Estado.*

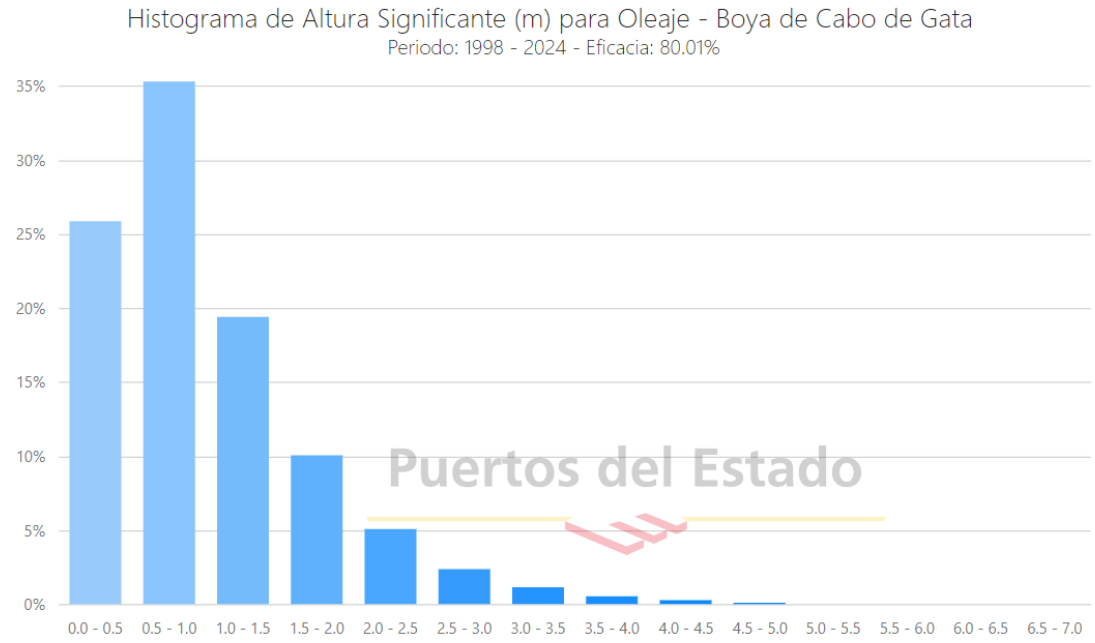



*Figura 11. . Histograma de altura significante de ola (m) para la boya de Cabo de Gata de Puertos del Estado. Los datos se corresponden con el régimen de oleaje en el océano abierto para el periodo comprendido entre 1998-2024. Fuente: Puertos del Estado.*

Las rosas de oleaje representan la altura y dirección del oleaje asociadas a su probabilidad de ocurrencia (Figura 12). En la boya de Alborán, localizada cerca del Estrecho de Gibraltar, las olas más frecuentes son las comprendidas en el rango 90-135°, con especial incidencia las de dirección 110°. No obstante, en la boya de Cabo de Gata, se observan olas dominantes tanto desde este (rango 45-110°) como desde el oeste (rango 270-225°). El campo de oleaje en la demarcación Estrecho-Alborán tiene una marcada componente zonal (Figura 12), condicionada por la propia geografía de la cuenca.

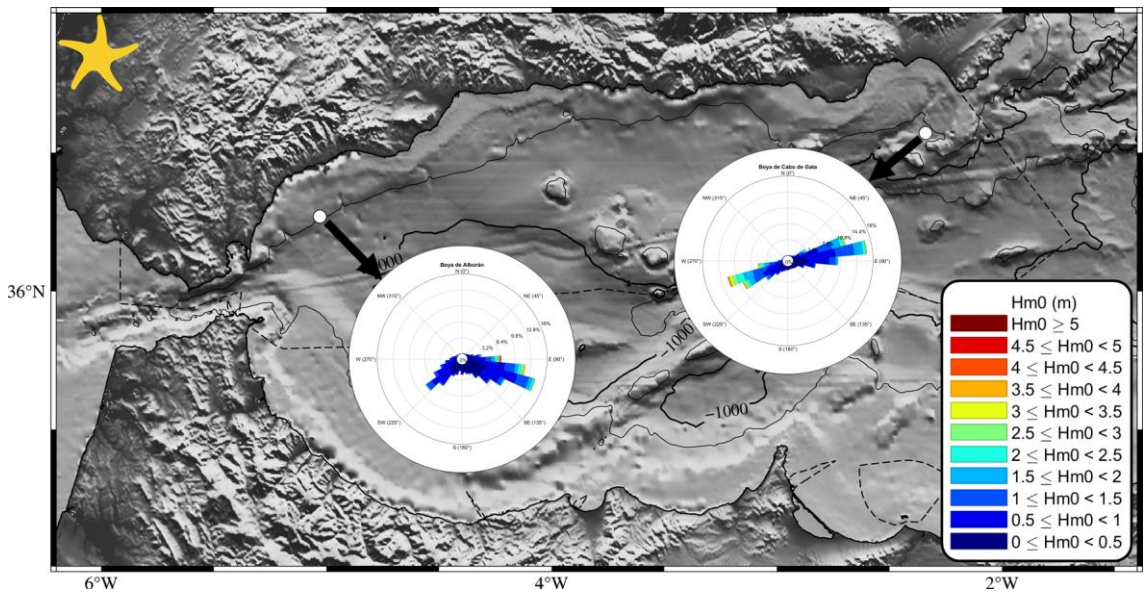



*Figura 12. Diagrama de rosa de la altura significante de ola y dirección media de procedencia del oleaje para la boyas de Alborán y Cabo de Gata (Datos de Puertos del Estado). Datos del 1997-2006.*

## 2.3 Hidrografía y Circulación

### 2.3.1 Aguas superficiales: Propiedades termohalinas y estacionalidad

El Mediterráneo es una cuenca de concentración, en la que la evaporación excede los aportes de agua dulce debido a las precipitaciones (Figura X4) y el aporte de los ríos. Las aguas atlánticas que se internan en el Mediterráneo a través del estrecho de Gibraltar, por superficie, son transformadas en aguas más densas, frías y saladas que, eventualmente, abandonan la cuenca cruzando Gibraltar por el fondo. Una vez dentro de la cuenca, las aguas atlánticas (*Atlantic Water* o AW) sufren un aumento de su salinidad en su viaje a lo largo del Mediterráneo por la elevada evaporación neta y por su mezcla con las aguas circundantes. Sin embargo, el aumento de temperatura que experimentan estas aguas, especialmente en verano, compensa el efecto de la salinidad sobre la ensidad de las aguas, de tal forma que estas aguas permanecen en capas superificiales y siguen recibiendo el nombre de Aguas Atlánticas, a pesar de hallarse en zonas muy alejadas del Atlántico y de haber sufrido una intensa modificación. Sin embargo, en localizaciones concretas de la cuenca Mediterránea, estas aguas superficiales son enfriadas durante los meses invernales debido a la incidencia de vientos continentales intensos, fríos y secos que soplan sobre la parte septentrional del mar Mediterráneo. Esta pérdida de calor de las aguas superficiales, unido al aumento de salinidad que ya hemos comentado, da lugar a un aumento de la densidad, que provoca su mezcla con las aguas locales presentes a mayor profundidad y su hundimiento hasta su profundidad de equilibrio. Dependiendo de la densidad alcanzada (y, por lo tanto, de su profundidad de equilibrio), este proceso puede dar lugar a la formación de aguas intermedias y profundas que propiamente pueden ser denominadas aguas mediterráneas. Todas estas aguas mediterráneas, intermedias y profundas, salen finalmente a través del estrecho de Gibraltar por debajo de la Corriente Atlántica entrante.

El mar de Alborán constituye, por lo tanto, la primera cuenca del Mediterráneo occidental invadida por las aguas atlánticas tras cruzar el estrecho de Gibraltar, por superficie, y la última que cruzan las aguas mediteráneas relativamente densas que abandonan el Mediterráneo adentrándose en el océano Atlántico.

Las Aguas Atlánticas que entran a través de Gibraltar están limitadas por la propia topografía del fondo, con una profundidad máxima de unos 300 m en el Umbral de Camarinal. Este hecho hace que las aguas que entran procedentes del Atlántico sean Aguas Superficiales Atlánticas mezcladas con la parte superior de la termoclina principal formada por Agua Central del Atlántico Oriental. Estas masas de agua se mezclan intensamente en el estrecho formando una capa homogénea de baja salinidad que recibe el nombre de Agua Atlántica.

Ya en el interior del Mar de Alborán, la capa superficial de Agua Atlántica tiene un espesor variable, dependiendo de la dinámica de cada zona, que varía entre 50 y 200 m (Vargas-Yañez et al., 2019), y presenta unas propiedades muy poco modificadas con respecto a las aguas superficiales del golfo de Cádiz, con salinidades relativamente bajas (~36,5 g/kg).

La salinidad presenta un ciclo estacional de poca amplitud, con valores mínimos en verano y comienzos de otoño, y máximos en invierno (Vargas-Yáñez, M.; García-Martínez, M.; Moya, F.; Balbín, R.; López-Jurado, J.; Serra, M.; Zunino, P.; Pascual, J.; Salat, J. Temperature and Salinity Mean Valuesand Trends

in theWestern Mediterranean: The RADMED Project. Prog. Ocean. **2017**, 157, 27–46). En cuanto a la temperatura, a partir de la primavera hasta los meses de verano, en las capas superficiales se produce la formación de una termoclina a profundidades de entre 20 y 40 m. A partir de otoño la temperatura superficial empieza a disminuir al mismo tiempo que la capa de mezcla aumenta su espesor a medida que el calor acumulado en la superficie penetra hacia el interior del mar.

### 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 junto con el balance de calor neto negativo del Mediterráneo.. Estos dos factores (déficit de agua dulce y de calor) producen un intercambio de agua en el Estrecho de Gibraltar. El flujo de entrada es del orden de 1 Sv (1 Sv = $10^6$ $m^3/s$) y es en torno a un 5 % superior al flujo de salinda, de tal forma que se compensa el déficit provocado por la evaporación neta del Medietráneo. Por otra parte, la temperatura del Agua Atlántica entrante es superior a la de las aguas mediterráneas salientes, de tal forma que este intercambio compensa el déficit o pérdida de calor que se produce a través de la superficie del mar y que puede cifrase en unos 5 $W/m^2$.

Por debajo del Agua Atlántica se encuentran las masas de agua propiamente medieterráneas. Las primeras de estas aguas que encontramos son las Aguas Intermedias dentro de las cuales podemos distinguir las Aguas Occidentales Intermedias y las Aguas Levantinas Intermedias. El Agua Levantina Intermedia se forma por convección en invierno, como ya se ha explicado, en las aguas situadas en el Mediterráneo Oriental, al sur de la Isla de Rodas y frente a las costas de Siria, Turquía, etc. Estas aguas fluyen en profundidades intermedias de entre 200 y 600 u 800 m hasta el Mediterráneo Occidental. Cuando llegan al Mar de Alborán tienen una temperatura de entre 13,1 ºC y 13,3 ºC y una salinidad en torno a 38,5 g/kg. Por encima de esta capa se encuentra el Agua Occidental Intermedia. Se trata de un agua muy fría, pero poco salada, debido a que se forma en aguas de plataforma continental con influencia de aportes continentales y lejos de la influencia de las aguas levantinas. Su temperatura es inferior a los 13 ºC y su salinidad oscila entre 37,7 y 38,1 g/kg y se situa por encima del Agua Levantina Intermedia, entre 100 y 300 m de profundidad (Vargas-Yáñez, M., Zunino, P., Schroeder, K., López-Jurado, J.L., Plaza, F., Serra, M., Castro, C., García-Martínez, M.C., Moya, F., Salat, J., 2012b. Extreme Western Intermediate Water formation in Winter 2010. J. Mar. Syst. http://dx.doi.org/10.1016/j.jmarsys.2012.05.010).

Por debajo de estas aguas intermedias y hasta el fondo del mar encontramos el Agua profunda del Mediterráneo Occidental y el Agua Densa del Tirreno. Estas masas de agua tienen temperaturas potenciales de entre 12,7 ºC y 13 ºC y una salinidad en torno a 38,4 g/kg.

Aunque hemos dado unos rangos de profundidad para cada una de las masas de agua que se encuentran en el Mar de Alborán y Estrecho de Gibraltar, hay que señalar que estso rangos se ven modificados por la propia circulación y dinámica de este mar.

En las Figura 13 y Figura 14 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.

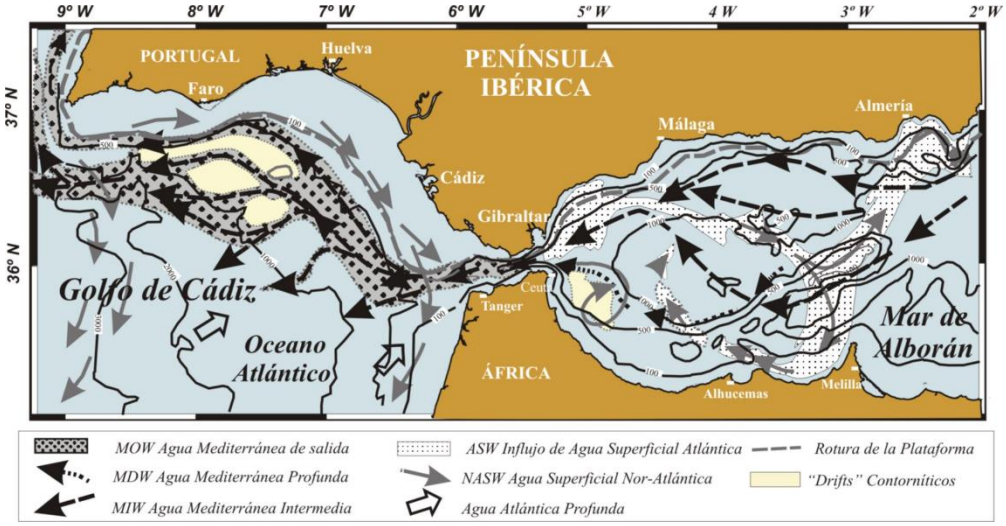



*Figura 13. Esquema básico de circulación entre las masas de agua atlántica y mediterránea. Fuente: Hernández-Molina* et al.*, 2002.*

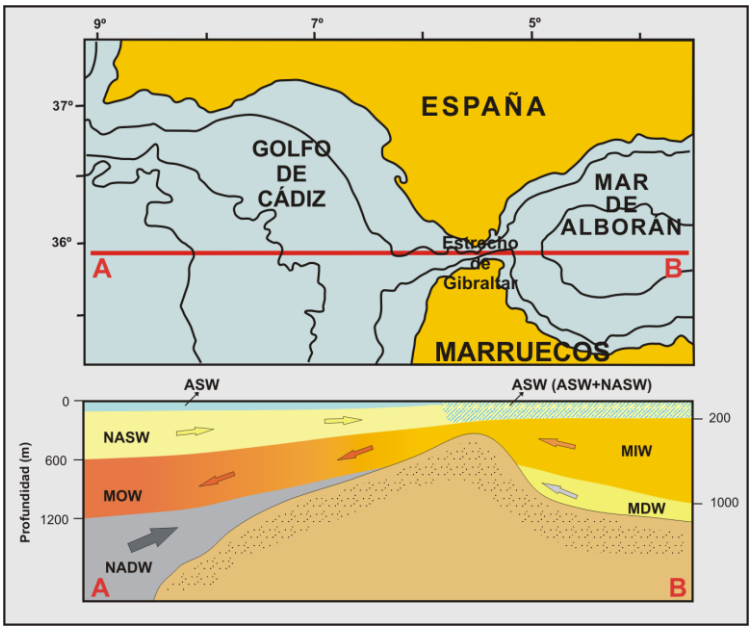



*Figura 14. Distribución de las masas de agua que se presentan a uno y otro lado del estrecho de Gibraltar. ASW: Agua Superficial Atlántica; NASW: Agua Superficial Noratlántica; MOW: Vena de Agua Mediterránea; NADW: Agua Profunda Noratlántica; MIW: Agua Mediterránea Intermedia; MDW: Agua Mediterránea Profunda. Fuente: Hernández-Molina, 1993.*

## 2.3.3 Circulación

### 2.3.3.1 Dinámica General

Las aguas atlánticas que cruzan el estrecho de Gibraltar por superficie, integradas en la corriente Atlántica, se adentran en la demarcación Estrecho-Alborán hacia el noreste para luego ser transportadas hacia el sudeste, alcanzando la cosat africana a la altura del Cabo Tres Forcas. Desde aquí, una parte de esta agua recircula hacia el oeste describiendo un giro anticiclónico, mientas que otra parte continua hacia el nordeste, hasta alcanzar nuevamente las costas españolas a la altura de Cabo de Gata. Nuevamente la corriente vira hacia el sudeste hasta las costas argelinas a la altura de Orán, con una rama que recircula describiendo un segundo giro anticiclónico, y otra que continua hacia el este, a lo largo de la costa argelina y recibiendo el nombre de Corriente Argelina.

La parte del segundo giro anticiclónico que se extiende desde Cabo de Gata hasta Orán, forma un importante frente de salinidad y temperatura entre las aguas que alimentan la coriente atlántica, de baja salinidad, y aquellas aguas que tras recircular por todo el Mediterráneo Occidental han sido severamente modificadas. Este frente recibe el nombre de Frente Almería-Orán y se ha descrito frecuentemente como una zona de convergencia caracterizada por procesos de afloramiento y de subducción que se alternan (Tintore, J.; La Violette, P.E.; Blade, I.; Cruzado, A. A Study of an Intense Density Front in the Eastern Alboran Sea: The Almeria–Oran Front. J. Phys. Oceanogr. **1988**, 18, 1384–1397).

Otras zonas caracterizadas por frecuentes procesos de afloramiento que alteran el espesor de la capa de Agua Atlántica y elevan las aguas intermedias y profundas hacia la superficie, son los giros ciclónicos que se generan entre Punta Europa (Gibraltar) y Punta de Calaburras (Fuengirola), así como frente a la Bahía de Málaga (Vargas-Yáñez et al., 2019). Además, hay que tener en cuenta los intensos procesos de mezcla que se producen en el propio Estrecho de Gibraltar, los cuales alteran intensamente las propiedades, tanto de las Aguas Atlánticas que circulan en superficie hacia el interior del Mediterráneo, como las aguas mediterráneas salientes (Nicolas M. Gonzalez, Robin Waldman, Gianmaria Sannino, Hervé Giordani, Samuel Somot. Understanding tidal mixing at the Strait of Gibraltar: a high-resolution model approach. Progress in Oceanography, 2023, 212, pp.102980. 10.1016/j.pocean.2023.102980; García-Lafuente et al., Journal of Marine Systems 117–118 (2013) 31–42).

No obstante, hay que señalar que este es el esquema de circulación más frecuente en el Mar de Alborán, pero este esquema tiene una importancia variabilidad estacional e inter-anual con situaciones en las que desaparece alguno, o los dos giros anticiclónicos, o incluso coexisten tres giros (Vélez-Belchi, P., J. Tintoré, M. Vargas-Yáñez, J. C. Gascard, 2005. Observation of a Western Alboran Gyre migration event. Progress in Oceanografïa, 66, No. 2-4, 190-210; Vargas-Yáñez, M.; Plaza, F.; Garcıa-Lafuente, J.; Sarhan, T.; Vargas, J.M.; Vélez-Belchi, P. About the seasonal variability of the Alboran Se circulation. J. Mar. Syst. **2002**, 35, 229–248;

La circulación de las aguas intermedias y profundas es menos conocida (Vargas-Yáñez et al., 2021; Capítulo 4 en Alboran Sea - Ecosystems and Marine Resources; J. C. Báez et al. (eds.), Springer, https://doi.org/10.1007/978-3-030-65516-7_4). Mientras que las aguas intermedias están menos condicionadas por la topografía del fondo y fluyen principalmente en la zona central y norte del Mar de Alborán, debido al efecto de la fuerza de Coriolis. Por el contrario, las aguas profundas, al extenderse

hasta el fondo del mar, sí se ven muy afectadas por la topografía. Por ello el agua profunda fluye en dirección SW hasta el talud de Marruecos encauzada por el Canal de Alborán, para luego ascender por el mecanismo conocido como aspiración de Bernoulli (Kinder & Bryden, 1990; Kinder & Parrilla, 1987). Este flujo de salida está formado, como ya se ha dicho, por Aguas intermedias occidental y levantina, y por agua profunda del Mediterráneo Occidental y Agua densa del Tirreno. Aún en la zona oriental del Estrecho de Gibraltar pueden observarse las características distintivas de estas masas de agua, sin embargo, a medida que progresan hacia el oeste, las intensas mezclan homogenizan todas estas masas de agua (Naranjo et al., 2015) en lo que podríamos traducir como "desbordamiento" de agua Mediterránea, del inglés "Mediterranean overflow wáter, MOW".

***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 *jet* o "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 14, Izq.). No obstante este esquema presenta una alta variabilidad temporal (Vargas-Yánez, *et al*., 2002).

El giro anticiclónico occidental (*Western Anticyclonic Gyre* o WAG) (Figura 15) 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). El WAG 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).

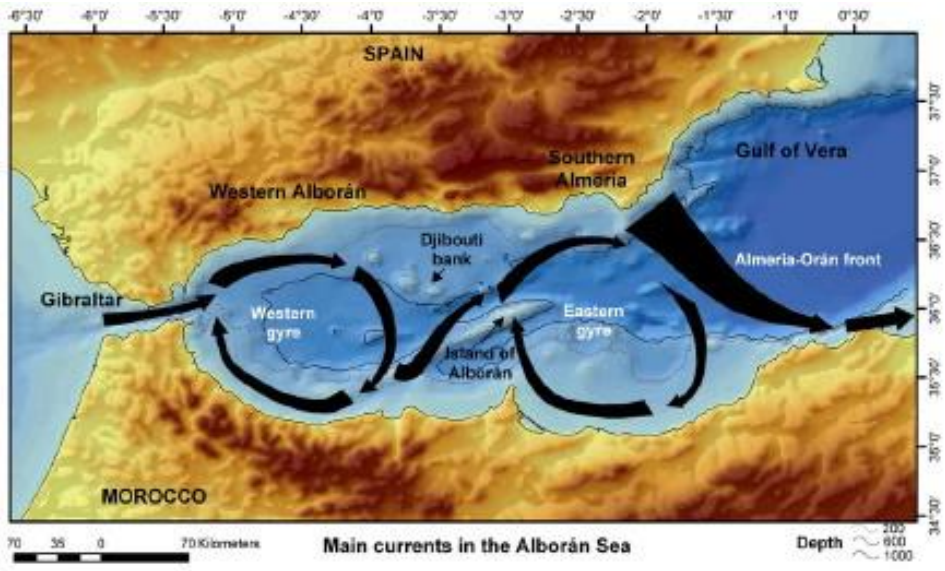



*Figura 15. Localización y descripción de los giros occidental y oriental presentes en el mar de Alborán.*

El segundo giro anticiclónico, el giro anticiclónico oriental (*Estern Anticyclonic Gyre* o EAG) (Figura 2.12), que ocupa la parte oriental de Alborán es más fluctuante y depende del giro anticiclónico occidental, de modo que cuando este está bien desarrollado, el EAG 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-Yánez *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 2.11), 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.

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-Yánez *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 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; García-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), lo que genera un vacío en la costa que induce el ascenso de aguas subsuperficiales más frías y con mayor contenido en 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 16).

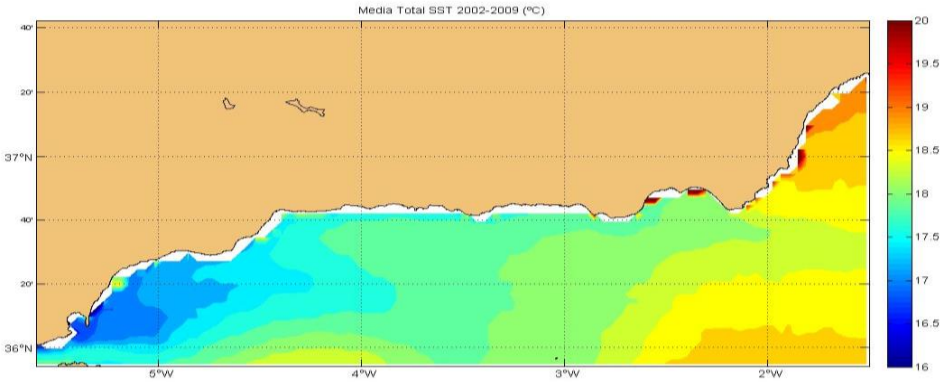



*Figura 16. Temperatura superficial promediada para el período 2002-2009 en la mitad norte del mar de Alborán. Destaca el gradiente creciente de temperatura de oeste a este, que ilustra cómo el sector norte de la cuenca occidental de Alborán es a menudo afectado por afloramientos inducidos por la corriente 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 geostrófico 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).

## 2.3.4 Nivel del mar, mareas y tendencias

### 2.3.4.1 Nivel del mar

El nivel del mar está constantemente en cambio debido a una variedad de factores como las mareas, la presión atmosférica, el viento, los movimientos tectónicos, la circulación oceánica y el deshielo de los casquetes polares (Vargas-Yáñez et al., 2021). Uno de los efectos del cambio climático es el aumento del nivel del mar, causado por el deshielo de los polos y glaciares, así como por la expansión térmica. Se espera que el deshielo de las masas de hielo polar tenga un impacto cada vez mayor y los efectos de las tormentas intensas también se vean exacerbados por este aumento. Las medidas del nivel del mar tienen diversas aplicaciones científicas, comerciales y prácticas, como la cartografía náutica y terrestre, la navegación marítima y la ingeniería costera (García et al., 2012). Actualmente, se utilizan mareógrafos y altimetría por satélite para realizar estas mediciones. Los mareógrafos miden cambios relativos en el nivel del mar con respecto a un punto de referencia local, lo que requiere una referencia fija para comparar mediciones (Pons, J.M., 2009). En contraste, la altimetría por satélite proporciona valores globales con una referencia única.

La variación del nivel del mar se compone de varias componentes, incluyendo cambios en la circulación oceánica, distribución de masa, efectos gravitacionales, volumen de hielo y agua terrestres, ajuste isostático post-glacial (GIA) y cambios estéricos debido a la densidad del agua (Peltier, 1998; Cha et al., 2023; Jordà et al., 2013). Estos factores interactúan de manera compleja y pueden variar a nivel regional.

Los estudios recientes han demostrado un aumento constante en el nivel medio del mar a lo largo de diferentes períodos. Globalmente, se ha observado un aumento de aproximadamente 1,7 ± 0,3 mm/año durante el siglo XX y de 3,1 ± 0,4 mm/año entre 1993 y 2008 (Church et al., 2006; Freeden et al., 2015). Además, reconstrucciones históricas sugieren un aumento del nivel del mar de 28 cm entre

1700 y 2000, con proyecciones que indican un aumento de hasta 34 cm para el período 1990-2090 (Jevrejeva et al., 2008).

En 1988, se creó el panel IPCC para estudiar el cambio climático. El último informe (IPCC, 2021) muestra que el nivel del mar aumentó 0,2 m entre 1901 y 2018, con tendencias de 1,3 mm/año entre 1901 y 1971, 1,9 mm/año entre 1971 y 2006, y 3,7 mm/año entre 2006 y 2018. Los informes describen diferentes escenarios en función del aumento de temperatura. El rango de aumento del nivel del mar hasta 2100, oscila entre 0,5 - 1,0 m para 2100. Extendido hasta 2300, este último escenario podría resultar en un aumento de 2 a 7 m respecto a 1900.

En España, varias instituciones mantienen redes de mareógrafos para sus propios fines y para contribuir a estudios científicos. Estas redes, han permitido la realización de estudios para determinar las variaciones a largo plazo del nivel del mar en las costas españolas y en los factores que contribuyen a ello a escala local y regional en distintos periodos. Recientemente, Vargas-Yáñez et al. (2023) analizaron datos del nivel del mar de 17 mareógrafos en tres áreas: norte y oeste de la Península Ibérica, Islas Canarias y sur y este de la península Ibérica e Islas Baleares. El promedio global fue de 1,58 ± 0,19 mm/año. Para 1993-2019, la subida fue de 2,8 ± 0,5 mm/año según mareógrafos y 2,5 ± 0,7 mm/año mediante altimetría. La comparación con 1948-2019 indica una aceleración clara en la subida del nivel del mar.

Los resultados de todos estos estudios muestran aumentos significativos en el nivel del mar, superiores a las tendencias reportadas por el IPCC. Mientras el IPCC establece una subida global de 1,3 mm/año (1901-1971), 1,9 mm/año (1971-2006) y 3,7 mm/año (2006-2018), estos estudios indican valores mayores, con variaciones regionales debido a factores como meteorología y orientación costera.

### 2.3.4.2 Mareas

Los mareógrafos actualmente activos en la demarcación de Alborán se muestran en la Figura 17. En algunas de las ubicaciones, hay varios mareógrafos pertenecientes a distintas instituciones.



*Figura 17. Localización de los mareógrafos de la demarcación Estrecho-Alborán. En esta demarcación hay 3 mareógrafos pertenecientes al IEO (azul), 8 a Puertos del Estado (verde) y 2 al Instituto Geológico Nacional (rojo).*

Las mareas son cambios en el nivel del mar producidos por la fuerza de atracción gravitacional ejercida por la Luna, y en menor medida por el Sol, influenciadas por factores fijos como la topografía y variables como fenómenos meteorológicos. Cambios en la presión atmosférica y vientos pueden afectar el nivel del mar, aumentándolo o disminuyéndolo según la dirección del viento.

En esta demarcación, las mareas son semidiurnas, lo que implica que cada día lunar (24 horas y 50 minutos) se producen dos pleamares y dos bajamares. En el mar Mediterráneo las mareas presentan poca amplitud debido al reducido tamaño de la cuenca, que no permite la formación de mareas mayores, y porque las mareas del golfo de Cádiz apenas se adentran en esta región y pierden energía a medida que penetran. De hecho, en muchas ocasiones, las condiciones meteorológicas ejercen una influencia mayor sobre el nivel del mar que la propia onda de marea. Dependiendo de los vientos, en algunas zonas se han llegado a experimentar avances del mar de más de 10 m sobre su nivel natural de mareas vivas. De todos modos y a pesar de lo mencionado, en el mar de Alborán se producen las mayores mareas de todo el Mediterráneo occidental (Camiñas, 2008).

En la zona del 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 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).

Las horas y alturas astronómicas de las pleamares y bajamares de todos los días del año, para diferentes puertos de la DMESAL, vienen dadas en el Anuario de Mareas (https://armada.defensa.gob.es/ArmadaPortal/page/Portal/ArmadaEspannola/cienciaihm1/prefLang-es/ (útlimo acceso el 16/04/2024)). Las mencionadas alturas están referidas al cero hidrográfico o nivel de la mayor bajamar teórica. El intervalo lunitidal caracteriza las mareas, y se define como la diferencia horaria entre el tránsito de la Luna sobre el meridiano local y la bajamar, y tiene unos valores de 1h 38 min en Algeciras, 1h 26 min en Tarifa y 1h 42 min en Ceuta.

### 2.3.4.3 Tendencias

Vargas-Yáñez et al. (2021) consideraron los periodos 1940-2018 y 1990-2018. Para el periodo comprendido entre la década de 1940-2018, todos los mareógrafos de esta demarcación registraron una subida del nivel del mar, experimentando Ceuta la menor subida con 0,68 ± 0,15 mm/año y Tarifa la mayor con 1,22 ± 0,19 mm/año. Para este periodo, las componentes del viento fueron nulas en todos

los mareógrafos, mientras que la presión atmosférica presentó una tendencia de 0,02 ± 0,01 hPa/año. En lo que respecta al periodo 1990-2018, todos los mareógrafos registraron subidas significativas del nivel del mar, oscilando entre los 1,5 ± 0,5 mm/año de Ceuta y los 4,6 ± 0,6 mm/año en Málaga, siendo este último valor prácticamente el triple que el registro de Ceuta.

Los resultados obtenidos por Vargas-Yáñez et al. (2023) para los periodos 1948-2019 y 1993-2019 en los mareógrafos de la DMESAL, éstos se recogen en la Figura 18, que muestra la evolución temporal del nivel del mar (en negro) y la tendencia lineal corregida por el efecto del GIA (en rojo).

En lo que respecta al periodo 1948-2019, todos los mareógrafos registraron subidas del nivel medio del mar, oscilando entre los 0,89 ± 0,15 mm/año en Ceuta y los 1,40 ± 0,19 mm/año en Málaga. En lo que respecta a la presión atmosférica, la contribución no fue demasiado significativa y tomó el valor 0,02 ± 0,01 dbar/año en todos los mareógrafos. La única localización y componente del viento para la que se presenta valor significativo, es la componente meridional en Málaga, que tomó un valor de -0,01 ± 0,00 m/(s·año). En todas las localizaciones, la componente termostérica presentó valores positivos, los cuales se compensaron con valores negativos de la componente halostérica.

Para el periodo 1993-2019, la subida del nivel del mar registrada por mareógrafos también presentó diferencias importantes entre mareógrafos cercanos, entre 1,9 ± 0,9 mm/año en Ceuta y 4,7 mm/año en Tarifa y Ceuta. Los resultados obtenidos por altimetría, al igual que en las demarcaciones anteriores,

difirieron bastante de las subidas registradas por los mareógrafos excepto en Algeciras, donde ambos resultados fueron prácticamente idénticos. En el resto de localizaciones, y de acuerdo con la altimetría,

la tendencia en la subida del nivel del mar estuvo comprendida entre los 2,4 ± 0,4 mm/año en Algeciras Ceuta y los 4,1 ± 0,4 mm/año en Málaga. Las componentes termostérica y halostérica fueron positivas

en todas las localizaciones y tomaron valores de 2,4 ± 0,7 mm/año y 1,5 ± 1,2 mm/año respectivamente excepto en Málaga, donde no se encuentra un valor significativo para la componente halostérica.

En los estudios de Vargas-Yáñez et al. (2023) y Vargas-Yáñez et al. (2021) no se proporcionan un valor para la subida del nivel del mar en esta demarcación, sino que lo proporcionan para las costas del Mediterráneo y el sur de la Península Ibérica de forma conjunta.

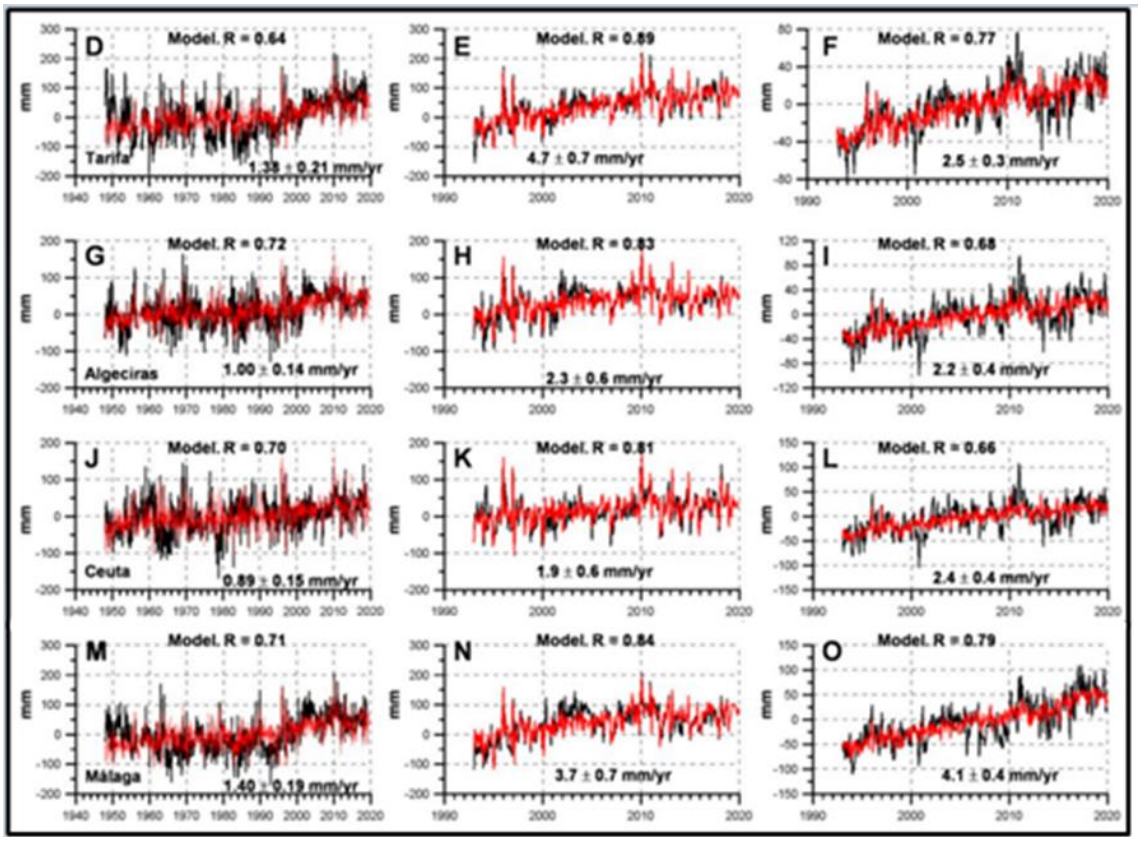



*Figura 18. Series temporales de las anomalías del nivel del mar en: Tarifa (D-F), Algeciras (G-I), Ceuta (J-L) y Málaga (M-O). Las columnas izquierda, central y derecha corresponden a los datos de mareógrafos para el periodo 1948-2019, datos de mareógrafo para el periodo 1993-2019 y datos de altimetría para el periodo 1993-2019 respectivamente. Fuente: Vargas-Yáñez et al. (2023).*

## 2.4. Ciclos biogeoquímicos

### 2.4.1. Generalidades sobre la distribución y mecanismos de control del oxígeno y nutrientes inorgánicos disueltos, efectos del Cambio Global

La distribución de oxígeno disuelto ($O_2$) y nutrientes inorgánicos disueltos (NUT) (nitrato, fosfato y silicato) en los océanos y costas está gobernada por la interacción de procesos físicos, químicos y biológicos (Figura 19) que les afectan en sentido opuesto. Es por ello que, habitualmente, se correlacionan y distribuyen de manera inversa en el océano, tanto en la columna de agua como horizontalmente. Además, la contribución de estos procesos al control de la variabilidad de estas propiedades no conservativas del océano no es homogénea en tiempo y espacio, variando de manera estacional y local.

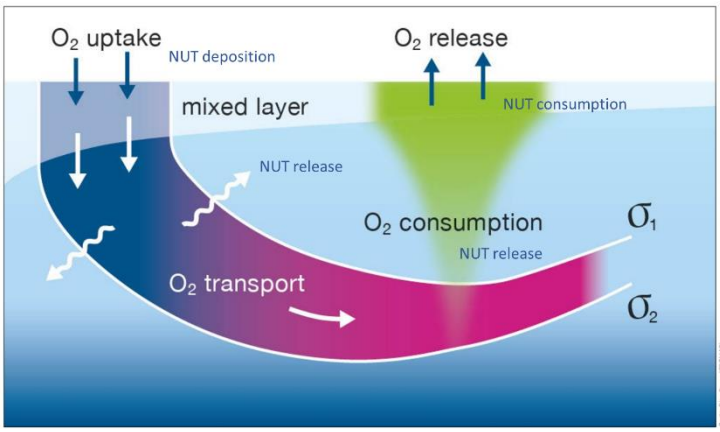



**Figura 19**. Esquema de los procesos físicos y biológicos que afectan a la producción, el consumo y el transporte de O2 y NUT en el océano. En la capa fótica asociada con la capa de mezcla se capta O2 de la atmósfera, sobre todo a latitudes altas donde las aguas frías disuelven más O2.

En la capa fótica, los procesos de mezcla invernal introducen NUT que el fitoplancton convertirá en materia orgánica en primavera/verano (nube verde) dando lugar a una producción de $O_2$ y un consumo de NUT estacional. La deposición atmosférica introduce NUT en la capa fótica. El transporte de $O_2$ (y NUT) en el océano está asociado al movimiento de masas de agua por niveles de densidad ($\sigma_1$-$\sigma_2$) donde el $O_2$ disminuye (NUT aumentan) desde zonas polares a ecuatoriales (paso de azul a rosa) principalmente por remineralización de la materia orgánica (nube verde) que cae desde la capa fótica, proceso que produce una regeneración de los NUT. Figura adaptada de Gregoire et al. (2023).

La capa superficial del océano está normalmente saturada en $O_2$, debido al intercambio aire-agua. Las aguas más frías de altas latitudes son capaces de almacenar más $O_2$ que las aguas más calientes y salinas de latitudes ecuatoriales. A su vez, procesos biológicos como las proliferaciones de fitoplancton de primavera y verano provocan una sobresaturación de $O_2$ superficial y/o en el llamado máximo de clorofila profundo. Esta producción de materia orgánica se da en la capa fótica ya que la producción primaria está limitada por la irradiancia y la disponibilidad de NUT, principalmente nitrógeno en forma de nitrato y fósforo en forma de fosfato, mientras que el silicio, en forma de silicato, es requerido específicamente por organismos con esqueletos silíceos como las diatomeas.

El principal mecanismo físico de introducción de NUT en la capa fótica del océano abierto es la convección invernal vertical que da lugar a una capa de mezcla profunda que alcanza niveles donde las concentraciones de NUT son mayores, enriqueciéndose así las capas más superficiales (Figura 19). Así mismo, procesos locales de advección horizontal, procesos de meso-escala y los afloramientos costeros introducen aguas enriquecidas en NUT en la capa fótica. La deposición atmosférica de NUT, además de los aportes fluviales, son fuentes de NUT con relevancia en el océano costero (Figura 20).

Una vez que las masas de agua se hunden y dejan de tener contacto directo con la atmósfera, los procesos biológicos de remineralización de materia orgánica van disminuyendo sus niveles de $O_2$ y aumentando las concentraciones de NUT (Figura 19). Durante esta circulación aislada del intercambio con la atmósfera, las zonas de mayor actividad heterotrófica y de mayor tiempo de residencia (menor velocidad) dan lugar a mínimos de $O_2$ a niveles intermedios, entre 500 y 1000 metros de profundidad en todos los océanos. Este mínimo de $O_2$ se ve acentuado en zonas de alta productividad biológica, donde la mayor cantidad de materia orgánica producida que sedimenta y se remineraliza en la columna de agua da lugar a las llamadas zonas de mínimo o con déficit de $O_2$, pudiendo llegar a niveles subóxicos o anóxicos. A mayores profundidades, la presencia de aguas densas formadas en zonas polares y subpolares, con valores de $O_2$ preformados mayores por su baja temperatura, provoca que el $O_2$ aumente hacia el fondo en el océano global.

Procesos costeros específicos como el aporte de NUT por escorrentía y/o por actividades humanas no controladas, e.d., vertidos de aguas no depuradas con alto contenido en fosfatos o nitratos procedentes de actividades industriales o agricultura, pueden dar lugar a proliferaciones masivas de fitoplancton que al morir y descomponerse provocan situaciones de anoxia, siendo un riesgo para la vida marina. Estos procesos de eutrofización provocan una pérdida de $O_2$ del océano costero. Además, a nivel global se ha identificado una expansión de las zonas de déficit de $O_2$ y una disminución de la solubilidad del $O_2$ debido al calentamiento general del océano (Breitburg et al., 2018). En realidad, el calentamiento, la desoxigenación y, como veremos, la acidificación oceánica, son las tres principales consecuencias del Cambio Global en el océano que provocan un gran estrés y riesgo sobre los ciclos biogeoquímicos, los ecosistemas marinos y los servicios y recursos asociados (IPCC, 2019).

Los eventos de eutrofización ocurren en el llamado continuo tierra-océano, la zona de transición y conexión entre ríos, estuarios, costa y el océano abierto donde existen procesos físicos y biogeoquímicos intensos de interacción entre los distintos compartimentos con escala de variación estacional, afectando al ciclo de carbono tanto orgánico e como inorgánico (Figura 20**)** y obviamente a los de NUT y $O_2$. Por ejemplo, los procesos de acoplamiento bento-pelágico pueden provocar un aumento estacional y local de los NUT debido a la descomposición de materia orgánica sedimentada. Además, estos NUT pueden ser introducidos en la zona más costera somera por afloramiento, favoreciendo el desarrollo de los productores primarios.

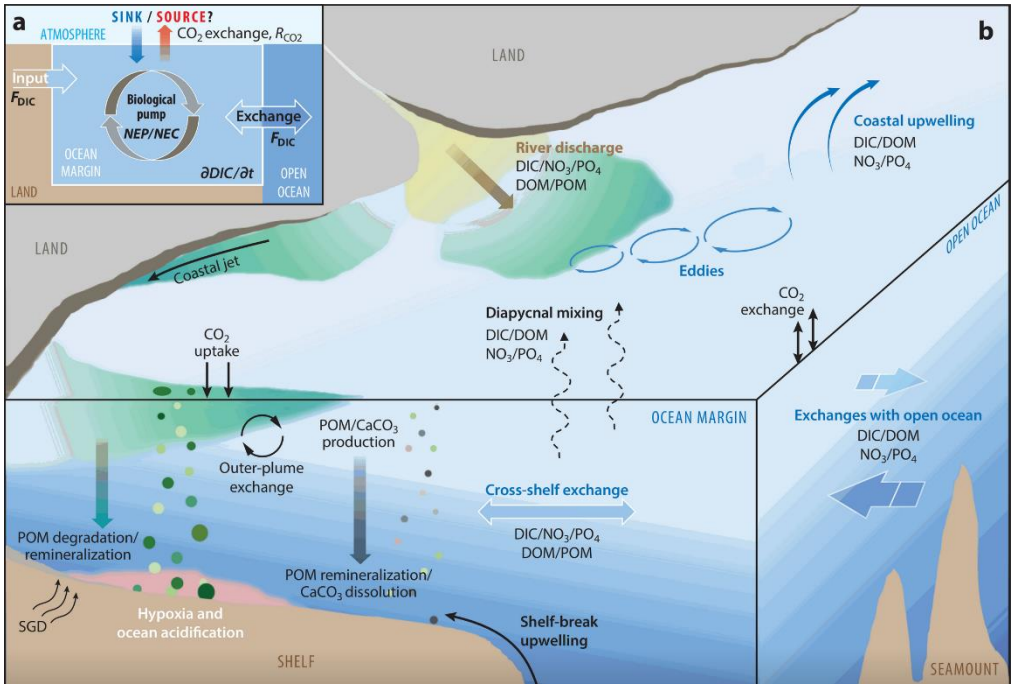



*Figura 20. Esquema de los procesos físicos y biogeoquímicos principales que afectan al ciclo de carbono orgánico e inorgánico y NUT en el continuo tierra-océano. Figura adaptada de Dai et al. (2022).*

## 2.4.2. Generalidades sobre el sistema del dióxido de carbono ($CO_2$) en agua de mar, sus mecanismos de control y los efectos del Cambio Global, la acidificación oceánica

El dióxido de carbono ($CO_2$) es uno de los productos de las actividades industriales 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 aproximadamente el 30 % del $CO_2$ antropogénico emitido a la atmósfera desde la revolución industrial (Friedlingstein et al., 2023) y probablemente absorberán aproximadamente el 85 % de las emisiones de $CO_2$ antropogénico en escalas temporales de varios miles de años (Archer et al., 2009). Además del $CO_2$, el océano absorbe un 90 % del exceso de calor en la atmósfera (Johnson et al., 2023), actuando como un importante mitigador del Cambio Global, cuyas consecuencias directas son el aumento de la temperatura del océano, la reducción del $O_2$ (desoxigenación), y la alteración del estado químico del océano conocido como acidificación oceánica, dando lugar a la conocida triple amenaza sobre los ecosistemas marinos (Gruber, 2011).

Cuando la presión parcial de $CO_2$ en la atmósfera ($pCO_2atm$) es mayor que la presión parcial de $CO_2$ en el agua de mar ($pCO_2sw$), el $CO_2$ gas de la atmósfera se difunde hacia la superficie del océano y se disuelve rápidamente pasando a ácido carbónico que, puesto que es un ácido débil, se disocia en iones bicarbonato ($HCO_3^-$) y carbonato ($CO_3^{2-}$) (Figura 21**)**, la suma de estas

especies con una contribución de 1 %, 90 % y 10 %, respectivamente, es el carbono inorgánico total disuelto (DIC) que es una de las variables medibles del sistema del $CO_2$ en agua de mar. Otra de las mismas, es el pH, o la cantidad de protones en el agua de mar que representa el grado de acidez/basicidad de la misma. La alcalinidad total (TA) compensa el exceso de cationes fuertes en agua de mar, siendo la suma de las distintas especies de ácidos débiles que pueden compensar un exceso de protones en el medio, siendo otra variable medible del sistema del $CO_2$ en agua de mar. El sistema del $CO_2$ en agua de mar, junto con el de borato y otras especies menores, provoca que el océano sea una enorme disolución tampón, donde las variaciones de pH están muy acotadas, entre 7.1 y 8.4 (Figura 22). Estas cuatro variables medibles del sistema del $CO_2$ en agua de mar, $pCO_2$, pH, TA y DIC están intrínsecamente relacionadas termodinámicamente, por ello, un aumento de la $pCO_2$ debido, por ejemplo, a la absorción oceánica de $CO_2$ de la atmósfera, provoca un aumento del DIC y una reducción del pH, aunque la TA no cambia (Figura 22**,** línea azul). Este es el llamado proceso de acidificación oceánica, lento, global y a largo término, ya que el aumento de DIC proviene de la captura por parte del océano del exceso de $CO_2$ vertido a la atmósfera por actividades humanas. Los procesos de eutrofización costera (Figura 20) también provocan una acidificación local, rápida y puntual, ya que se deriva de un aumento del DIC debido a la descomposición de materia orgánica (Figura 22**,** línea naranja clara). Ambos procesos de acidificación provocan una disminución de la concentración de ión carbonato, reduciendo así los estados de saturación de los minerales de carbonato de calcio, como el aragonito y la calcita, lo que pone en riesgo el desarrollo de organismos calcificantes, los ecosistemas y las comunidades humanas dependientes (e.g., Doney et al., 2020).

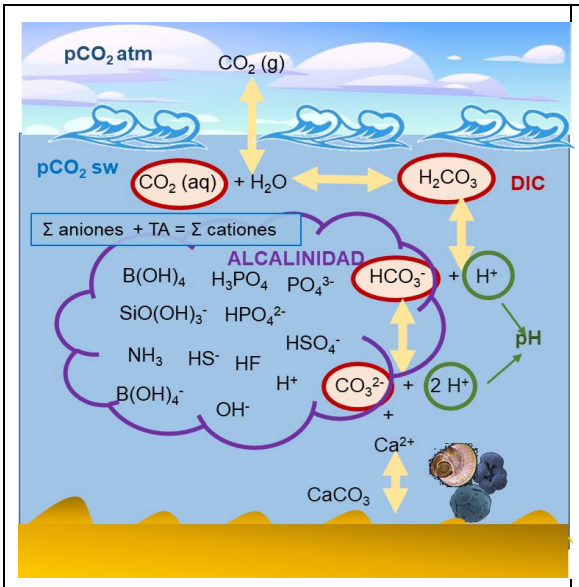



*Figura 21. Esquema de los equilibrios, especies químicas y variables medibles del sistema del $CO_2$ en agua de mar. Especies del DIC en rojo, especies de la TA en lila, y pH en verde.*

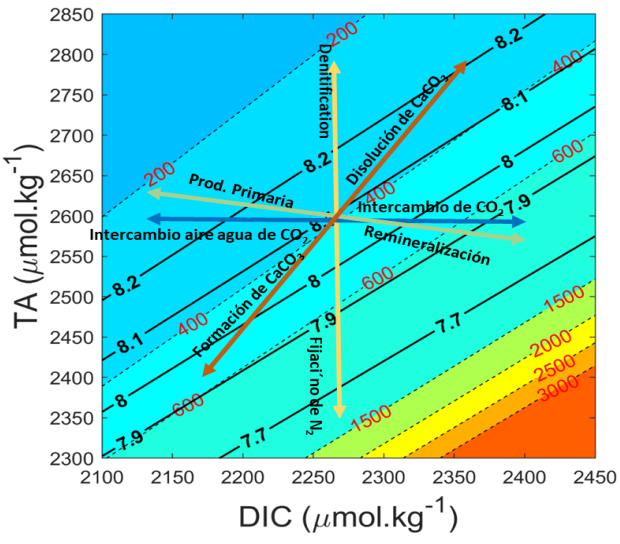



*Figura 22. Diagrama de relación entre TA y DIC, donde las isolíneas sólidas son los correspondientes valores de pH y los colores y líneas punteadas los valores de $pCO_2$ (en μatm). Las flechas indican procesos físicos y biológicos que afectan al sistema del $CO_2$ en agua de mar.*

La variabilidad en la columna de agua del DIC está intrínsecamente asociada a tres tipos de bombas, la física o bomba de solubilidad y dos bombas biológicas, la del carbono orgánico o de tejidos blandos y la del carbonato o de tejidos duros (Figura 23). La circulación termohalina hunde aguas frías y densas que transportan una mayor concentración de DIC capturado desde la atmósfera, así como una mayor contribución de la señal antropogénica en el DIC. A esta bomba de solubilidad, se suma la contribución al *pool* de DIC de la remineralización de la materia orgánica que cae desde superficie. Los procesos de síntesis de carbonato cálcico en la formación de esqueletos de diversos organismos provocan una disminución de la TA lo que conlleva un aumento de $pCO_2$ (Figura 22, línea naranja oscuro) promoviendo así una liberación de $CO_2$ hacia la atmósfera mientras que el carbonato cálcico producido sedimenta y únicamente se disuelve en condiciones de subsaturación con respecto al ion carbonato.

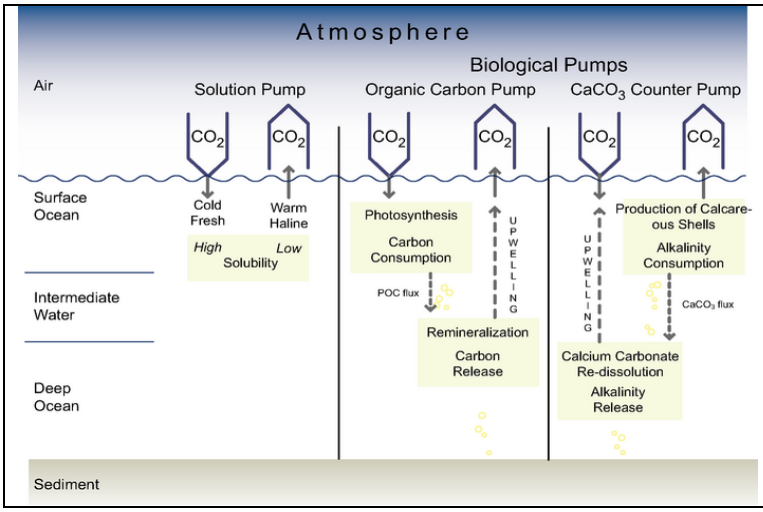



*Figura 23. . Esquema representativo de las tres principales bombas que regulan la distribución de DIC en el océano: la bomba de solubilidad, y las dos bombas biológicas, la de tejidos blandos orgánicos y la de carbonatos. Figura adaptada de Heinze et al. (1991).*

En la capa superficial, es la variabilidad de $pCO_2$ la que marca si una zona es fuente o sumidero de $CO_2$ hacia la atmósfera. En océano abierto la variación estacional de la temperatura es el principal factor de control del $pCO_2$ (Takahashi et al., 2002), mientras que en zonas costeras otros procesos biogeoquímicos pueden alterar la magnitud y dirección de los flujos de $CO_2$ aire agua (Figura 20).

La compleja físico-química del $CO_2$ en agua de mar es todavía una asignatura pendiente en oceanografía química quedando cuestiones muy específicas por resolver, como la metrología y referenciación de cada una de las variables medibles del sistema del $CO_2$ en agua de mar, en especial el pH y la TA, y la parametrización de las constantes de equilibrio a distintas condiciones de salinidad, temperatura y presión que permiten una reducción de las incertidumbres en las variables calculadas.

## 2.4.3. Peculiaridades en la distribución, variabilidad e impacto del Cambio Global en el $O_2$, NUT y sistema del $CO_2$ en agua de mar de la demarcación Estrecho de Gibraltar y Mar de Alborán

Al contrario que en otras demarcaciones, en la demarcación Estrecho-Alborán, debido a su reducido tamaño y relativa menor disponibilidad de datos, no se puede utilizar ninguna de las versiones del *World Ocean Atlas* 2023 (WOA23) (Reagan et al., 2023) que ofrece la NOAA para describir de manera general la distribución de variables biogeoquímicas inorgánicas. Utilizamos los datos de biogeoquímica inorgánica recopilados gracias a una iniciativa todavía sin finalizar por carencia de financiación del grupo INOCEN (IP M. Álvarez) del IEO-CSIC, CARIMED (*Carbon, tracers and ancillary data in the Mediterranean Sea*), donde se localizan y formatean datos de secciones hidrográficas que incluyen medidas de variables del sistema del $CO_2$ en agua de mar, realizando el mismo control de calidad que en GLODAP, cuyos datos en la demarcación Estrecho y Alborán se presentan en la **Figura 1.3A.** El agua atlántica (MAW, *Modified Atlantic Water)* que fluye en superficie hacia el interior del Mar Mediterráneo gana salinidad por evaporación, aunque en esta zona ese gradiente con la longitud todavía no es tan evidente. Esta agua está empobrecida en NUT y contribuye a mantener la oligotrofia del Mar Mediterráneo (Huertas et al., 2012). El agua intermedia proveniente del Mediterráneo oriental (EIW, *Eastern Intermediate Water*) se identifica como un máximo de salinidad, un mínimo de $O_2$ y una concentración de NUT intermedia. El agua intermedia invernal (WIW, *Winter Intermediate Water*) se forma en la cuenca oeste por enfriamiento invernal, y se puede identificar como un mínimo de salinidad y temperatura, sin unas características biogeoquímicas distintivas. El agua de fondo del Mar Mediterráneo oeste (WMDW; *Western Mediterranean Deep Water*) se forma por convección invernal profunda en el Golfo de León y el Mar de Liguria, proceso introduce $O_2$, NUT y carbono hacia profundidad. Desde 2005, las propiedades termohalinas de esta masas de agua han cambiado debido a fuertes procesos de convección invernal dando lugar a una forma de gancho en el fondo de los diagramas de Temperatura-Salinidad. En la demarcación Estrecho-Alborán se puede observar la evolución longitudinal del AOU (*Apparent Oxygen Utilization*, la cual elimina en cierta manera la variación por solubilidad del $O_2$, quedando las componentes debidas a la bomba biológica y a la circulación) en las aguas más salinas, con valores menores (más $O_2$) hacia el este. En aguas superficiales e intermedias se aprecia mejor el gradiente longitudinal en la relación AOU y salinidad donde aguas al este de 3.5ºW están más ventiladas y presentan menor AOU, mientras que al oeste de 3.5ºW las aguas presentan mayor AOU (mayor consumo de $O_2$). Esta distribución está relacionada con la separación de los dos giros anticiclónicos localizados en esta demarcación. La relación entre nitrato y fosfato, al contrario que en la levantino-balear, sí sigue el ratio de Redfield (17:1). Los valores de TA en esta demarcación son mucho mayores que los encontrados en el Atlántico y siguen una relación lineal con la salinidad. También existe una relación lineal entre el DIC y la salinidad, encontrándose los mayores valores tanto de TA como de DIC en EIW. Los valores de pH son altos en comparación con el Atlántico y aumentan hacia el este.

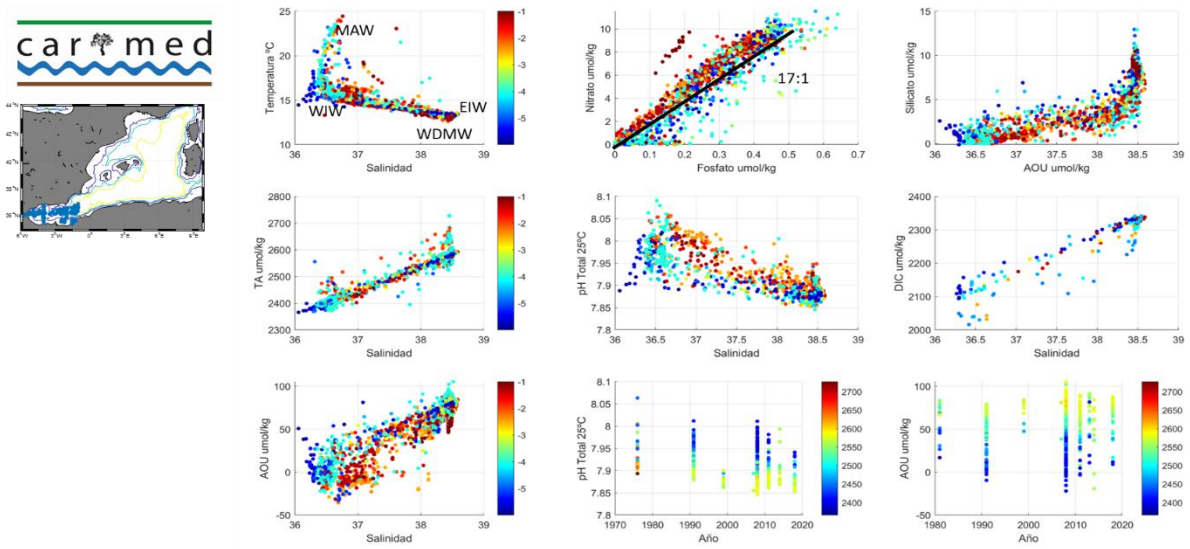



*Figura 24. Relación entre propiedades termohalinas, NUT, $O_2$ y variables del sistema del $CO_2$ en agua de mar, en función de la longitud (eje Z). En la fila inferior se muestra la evolución temporal entre 70 y 700 metros del pH y el AOU, usando como variable Z la TA. Se destacan algunas masas de agua: MAW (*Modified Atlantic Water*), EIW (*Eastern Intermediate Water*), WIW (*Winter Intermediate Water*) y WMDW (*Western Mediterranean Deep Water*). Fuente CARIMED, elaboración de INOCEN lab.*

No existe una clara evolución temporal de pH o de AOU en las aguas entre 50 y 700 metros, aunque se puede apreciar una tendencia negativa en el pH en aguas con valores entorno 2550 µmol/kg de TA (color verde-amarillo) al igual que un ligero aumento de AOU (Figura 24**)**. Al igual que en la cuenca levantino-balear, las tasas de acidificación oceánica se basan principalmente en estimaciones del carbono antropogénico (con métodos que en el Mar Mediterráneo son cuestionables) para calcular el descenso total de pH desde la época preindustrial y no en series temporales continuadas o usando una evaluación temporal y regional de datos consistentes (ver la revisión en Álvarez et al., 2023). De aquí la relevancia de mantener las series temporales existentes, y además hacer públicos los datos como pretende CARIMED.

Las tasas de acidificación basadas en datos de series temporales como GIFT (*Gibraltar Fixed Time Series*) sostenida en el Estrecho de Gibraltar desde el 2005 por el ICMAN-CSIC indican que las aguas centrales se están acidificando -0.002 unidades de pH/año (Amaya-Vías et al., 2023), valores similares a los obtenidos en otras estaciones del Mediterráneo occidental (ver la revisión de Hassoun et al., 2022).

Al igual que en la demarcación levantino-balear, en cuanto a datos de $pCO_2$ superficial, existen pocos trabajos publicados. Uno de los pocos trabajos basado en datos de los años 1990s afirma que la cuenca oeste está en equilibrio con la atmósfera (D'Ortenzio et al., 2008). Mientras que datos de $pCO_2$ disponibles públicamente (Figura 25) indican un posible cambio, comportándose la cuenca como una fuente de $CO_2$ hacia la atmósfera. En la evolución estacional por mes se comprueba como es en la época estival cuando los valores son más elevados y la cuenca es una fuente. El calentamiento global y la mayor frecuencia de olas de calor favorecerá esta situación. La Figura 25 muestra la inexistencia de datos de $pCO_2$ cerca de la costa marroquí. Esta situación en una constante en todo el Mar Mediterráneo. Disponer de datos en las costas de los países de África del Norte y de Medio Este, los llamados países MENA (*Middle East and North African*) es muy complicado debido la situación socio-política que se agrava con el paso de los años.

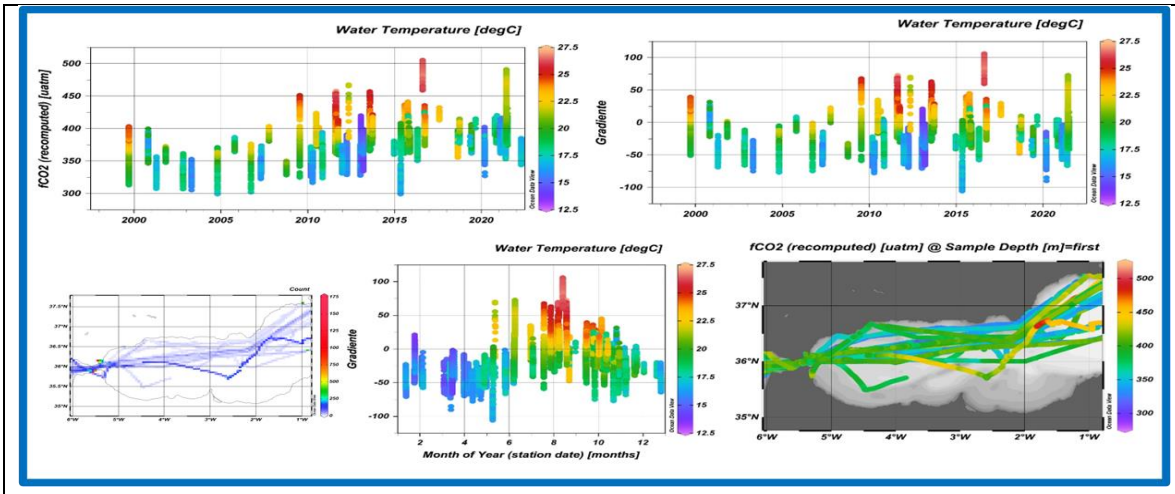



*Figura 25. Fila superior, evolución temporal de $pCO_2$ en superficie y gradiente aire-agua de $CO_2$ (positivo indica una fuente hacia la atmósfera); fila inferior, densidad de datos, evolución mensual del gradiente y distribución horizontal de $pCO_2$ en la superficie del océano. Fuente SOCATv2023.*

03



# CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICAS

# 3. CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICAS

## 3.1 Hábitats

### 3.1.1 Ecosistema pelágico

La demarcación del Estrecho y Alborán presenta una gran biodiversidad, dado que conviven especies de origen mediterráneo y de origen atlántico; siendo además una de las zonas con mayor abundancia y productividad planctónicas del Mediterráneo (Mercado et al. 2007, Yebra et al. 2017, García-Martínez et al. 2019a, Gómez-Jakobsen et al. 2019, Vargas-Yáñez et al. 2019), que sustentan a pesquerías de pequeños peces pelágicos de interés comercial.

El Mar de Alborán se caracteriza por un alto hidrodinamismo, debido a la entrada de un chorro de agua atlántica a través del Estrecho de Gibraltar que da lugar a dos giros anticiclónicos oligotróficos que ocupan el oeste y el este de la cuenca. Así mismo, en la zona noroeste de la cuenca se producen de forma recurrente afloramientos de agua mediterránea profunda mediados por vientos de poniente que generan un gradiente de productividad planctónica costero-oceánico, así como oeste-este. El régimen hidrológico del mar de Alborán determina claramente la distribución de la biomasa planctónica y controla los patrones horizontales y verticales de la productividad del plancton en esta cuenca (Mercado et al. 2014; Yebra et al. 2018, 2020, Vargas-Yáñez et al. 2019, 2023, Fernández de Puelles et al. 2023).

La biomasa y la diversidad del plancton varían a lo largo del año de forma cíclica y dentro del proceso de sucesión. 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 (Camiñas 1983, Jghab et al. 2019).

#### 3.1.1.1 Fitoplancton

Las diatomeas son en general el grupo dominante del microplancton, aunque en otoño-invierno el grupo de los flagelados (<10 µm) es el más abundante. Los dinoflagelados son en general muy poco abundantes y sólo son mayoritarios en el 6,5% de las muestras (Mercado et al. 2007, 2011, García-Martínez et al. 2019a, Vargas-Yáñez et al. 2019). En las zonas más oligotróficas del interior del giro anticiclónico oeste la importancia del microplancton protista en términos de biomasa se reduce en relación con el picoplancton aunque sigue siendo un 60-70% de su biomasa total (Mercado et al. 2014). La contribución relativa de organismos autótrofos (diatomeas, crisofíceas y haptofitas) y heterótrofos (ciliados y radiolarios) disminuye hacia el este. Sin embargo, la abundancia relativa de dinoflagelados incrementa siguiendo este gradiente oeste-este (Mercado et al. 2023).

La abundancia de fitoplancton es alta en comparación con los valores descritos en la bibliografía para áreas adyacentes. El máximo de clorofila a, a la profundidad del máximo de clorofila, se observa en abril, mientras la menor biomasa del fitoplancton corresponde al invierno, 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 (García-Martínez et al. 2019b). En base a la distribución de la clorofila superficial, como indicador de biomasa

de fitoplancton (estimada a partir de imágenes de satélite), se pueden diferenciar seis zonas de productividad contrastante en el mar de Alborán en relación con los procesos hidrológicos (Figura 26, Cortés et al. 2012, Mercado et al. 2016).

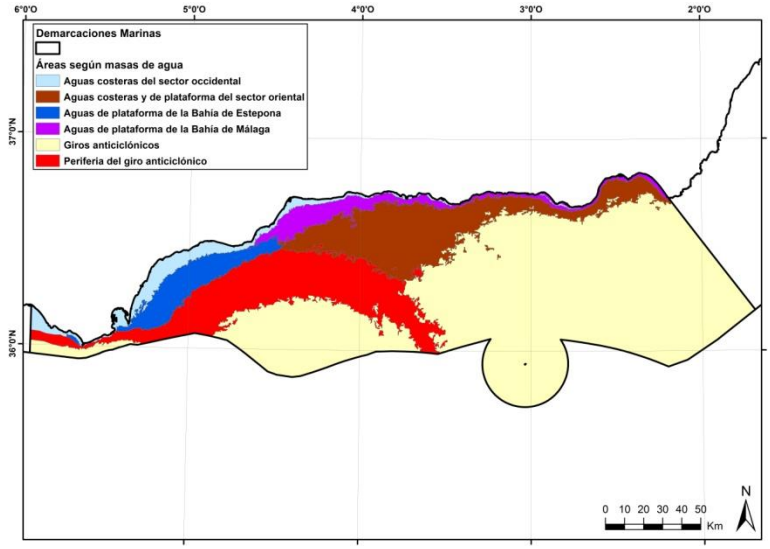



*Figura 26. Áreas de productividad planctónica contrastante en la demarcación del Estrecho y Alborán.*

Las zonas con una mayor concentración de fitoplancton se localizan en la cuenca oriental, afectadas por el chorro de agua atlántica y la zona de afloramiento, mostrando una diferenciación oeste-este. En ambos lados de la cuenca, la productividad disminuye desde la costa hacia las aguas oceánicas, dominadas por los giros anticiclónicos oligotróficos. La productividad de fitoplancton depende de la composición de las comunidades (Mercado et al. 2008, 2012). Por ejemplo, comunidades dominadas por el género *Chaetoceros* presentaron valores de producción primaria tres veces mayores que las comunidades dominadas por *Leptocylindrus* y *Pseudo-nitzschia*. Por otro lado, la producción de las comunidades dominadas por flagelados <10 µm fue similar o incluso mayor que la de las comunidades dominadas por diatomeas. De igual modo, el gradiente de productividad decreciente desde la costa hacia el centro de los giro oligotróficos se relaciona con cambios en la composición taxonómica de las diatomeas (Mercado et al. 2014).

La variabilidad interanual de las comunidades fitoplanctónicas en el área de afloramiento del mar de Alborán es más significativa que la variabilidad estacional (Mercado et al., 2005). 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. Estos cambios interanuales podrían estar conectados con patrones generales de cambio en eventos climáticos (frecuencia e intensidad de los vientos locales) (Vargas-Yáñez et al. 2023), y en la circulación a través del estrecho de Gibraltar (Mercado et al., 2007). Recientemente, se ha

detectado una disminución del 10-20% en la clorofila superficial de las Demarcaciones mediterráneas en las dos últimas décadas (Gómez-Jakobsen et al. 2022), que estaría ocasionada por un aumento de la temperatura superficial, que aumenta la estratificación y reduce la fertilización de las capas superiores mediante mezcla vertical, y por cambios locales en la circulación atmosférica que reduce la frecuencia de los episodios de afloramiento producidos por vientos de poniente en la zona oeste de la demarcación del Estrecho y Alborán.

### 3.1.1.2 Zooplancton

En el mar de Alborán, las poblaciones de zooplancton, pelágicas y neríticas, presentan una gran diversidad, conviven especies atlánticas y mediterráneas; lo que sumado a la elevada producción primaria de la zona conlleva que la biomasa de zooplancton sea muy elevada en comparación con las cuencas adyacentes (Yebra et al. 2020, 2022).

La abundancia del mesozooplancton se caracteriza por un máximo en verano y un mínimo en primavera. La composición del zooplancton del noroeste del mar Alborán muestra una dominancia de copépodos y cladóceros, siendo el plancton gelatinoso (apendicularias, sifonóforos y doliólidos) los que ocupan el tercer lugar en abundancia (Sampaio de Souza et al. 2005, Fernández de Puelles et al. 2023). Existe una estacionalidad con predominio de copépodos en invierno, primavera y otoño y de cladóceros en verano. El incremento de la concentración de cladóceros en verano es notable, llegando a representar un 40-60% de la comunidad, debido principalmente a la proliferación de la especie *Penillia arvirostris* y del género *Podon sp*., desplazando a los copépodos a un segundo lugar. En la última década, en la Bahía de Málaga se han detectado cambios en la composición de las comunidades de mesozooplancton, con un aumento de la abundancia relativa de cladóceros en otoño (Yebra et al. 2022). Este incremento es debido al aumento de temperatura del mar, producido por el cambio climático, que favorece la dominancia de los cladóceros con respecto a los copépodos, tanto en verano como en otoño dada su preferencia por las temperaturas elevadas. De igual modo, las altas temperaturas registradas en verano en la última década están propiciando una mayor intensidad de las floraciones masivas de plancton gelatinoso (doliólidos y salpas), que llegan a nuestras playas en forma de arribazones.

La abundancia del fitoplancton es el principal factor modulador de la productividad del zooplancton en estas aguas (Yebra et al. 2017). Así mismo se observó que los cambios interanuales en la abundancia del zooplancton se relacionan con cambios en la abundancia de dinoflagelados (Mercado et al. 2007). Por tanto, al igual que ocurre con el microplancton, la composición y el metabolismo del mesozooplancton en el mar de Alborán siguen un gradiente desde la costa hacia los giros oligotróficos (Yebra et al. 2018). De igual modo, los cambios interanuales e interestacionales en las condiciones climáticas e hidrológicas tienen un impacto indirecto en las poblaciones de larvas de pequeños peces pelágicos como la sardina o el boquerón (Cortés 2006, García 2006, Mercado et al. 2007, Vargas-Yáñez et al. 2020), dado que se alimentan principalmente de nauplios de copépodos (Yebra et al. 2019).





## 3.1.2 Hábitats bentónicos

### 3.1.2.1 Sustratos blandos

#### 3.1.2.1.1 Zona supralitoral

En la demarcación del Estrecho y Alborán (ESAL), el intermareal representa una franja muy estrecha debido a un rango de marea normalmente inferior a 2 m (estrecho de Gibraltar) y 1 m (mar de Alborán), y está muy expuesta a los impactos humanos debido a la intensa presión turística y la alta densidad de población costera. En general, muy pocos estudios han abordado las comunidades intermareales, y básicamente se centran en la zona occidental (ver referencias en Rueda et al. 2021).

En el piso supralitoral sedimentario son característicos los crustáceos anfípodos detritívoros como *Talitrus saltator*, que caracterizan el hábitat **Sedimentos supralitorales desprovistos de vegetación** (Código de Lista patrón de hábitats marinos presentes en España - LPRE 010201) (Templado et al. 2012). Éste puede intercalarse con un hábitat intermedio entre los sustratos sedimentarios y los duros, denominado como **Cantos (callaos) supralitorales** (LPRE 01020101), que suelen darse en determinadas calas expuestas a la acción del oleaje (Templado et al. 2012, Rueda et al. 2021). Aunque los cantos rodados están expuestos a la luz solar, la parte inferior semienterrada mantiene la humedad y retiene la materia orgánica que favorece la presencia de gasterópodos (*Paludinella globularis, Leucophytia bidentata*, *Pseudomelampus exiguus*), colémbolos (*Anurida maritima*), así como pseudoescorpiones. Este hábitat se ha detectado mayoritariamente en el estrecho de Gibraltar y en el paraje de los Baños del Carmen (Málaga) (Gofas et al. 2011, Rueda et al. 2021).

#### 3.1.2.1.2 Zona mediolitoral

Uno de los hábitats mediolitorales sedimentarios más singulares y escasos en ESAL son las lagunas litorales (**Marismas costeras**, LPRE 020205), siendo una de las más importantes las lagunas de Adra (Albufera Honda y Albufera). Algunas de estas lagunas han sido transformadas en estanques salinos, como las del Parque Natural Cabo de Gata-Níjar. Algunas de estas lagunas costeras albergan gasterópodos (*Hydrobia acuta, Aplysia punctata, Philine quadripartita* y *Haminoea orteai*), bivalvos (*Abra segmentum*, *Scrobicularia plana* y *Cerastoderma glaucum*), crustáceos decápodos (*Palaemon serratus*) y branquiópodos (*Artemia salina*, *A. parthenogenetica* y la introducida *A. franciscana*), estos últimos representan la base de la alimentación del flamenco rosa (*Phoenicopterus roseus*) (Rueda et al. 2021). También hay lagunas aisladas del mar y su fauna es principalmente dulceacuícola, con peces eurihalinos como *Aphanius iberus*, *Anguilla anguilla*, *Atherina boyeri* y *Chelon labrosus*. Lamentablemente, las lagunas costeras de ESAL están sometidas a una fuerte presión, principalmente debido a los vertidos urbanos y agrícolas.

En las playas, el hábitat más común es **Arena y arena fangosa mediolitoral** (LPRE 020202) dominado superiormente por isópodos (*Eurydice*) y anfípodos (*Haustorius, Bathyporeia, Urothoe, Leucothoe*), a veces con una zonación poco definida. En la parte más baja y en arenas gruesas se encuentra el bivalvo *Donacilla cornea*, mientras que, en arenas fangosas, más adecuadas para la construcción de galerías, habitan decápodos excavadores (*Upogebia pusilla* y *Gilvossius tyrrhenus*) y anfípodos (*Corophium* y *Monocorophium*). En la provincia de Almería y en las Islas Chafarinas, ambas zonas con gran presencia

de *Posidonia oceanica*, se da el hábitat **Arribazones de hojas y restos de *Posidonia oceanica* y otras fanerógamas litorales** (LPRE 02020703), que alberga numerosas especies detritívoras como anfípodos (*Orchestia*), isópodos, insectos y oligoquetos (*Pontodrilus litoralis*) (García Raso et al. 1992).

### 3.1.2.1.3 Zona infralitoral

Los hábitats sedimentarios infralitorales (MSFD BBHT "Marine Strategy Framework Directive, Benthic Broad Habitat Type"-Arena infralitoral) con vegetación (**Praderas de fanerógamas y algas verdes rizomatosas**, LPRE 030513) son mucho más escasos en ESAL que aquellos sin vegetación, y están principalmente configurados por algunas macroalgas (ej. *Caulerpa prolifera*) y pequeñas fanerógamas como *Zostera marina, Nanozostera noltei* y *Cymodocea nodosa*. La comunidad asociada a *N. noltei* (**Praderas mediterráneas de *Zostera noltii***, LPRE 030504) es la menos estudiada y está presente tanto en lagunas costeras y marismas como zonas marinas (bahía de Algeciras, cabo de Gata). La diversidad faunística asociada a estas praderas marinas es mayor que en otros lugares de su área de distribución, debido a la confluencia biogeográfica de especies del norte de Europa, el Mediterráneo, las costas occidentales de África o especies endémicas del sur de España (Luque y Templado 2004, García Raso et al. 2010, Rueda et al. 2021).

Las **Praderas mediterráneas de *Zostera marina*** (LPRE 030502) eran comunes en ESAL hasta hace una década, sobre todo en áreas marinas protegidas como el Paraje Natural Acantilados de Maro-Cerro Gordo, pero sufrieron un fuerte declive y quedaron reducidas actualmente a pequeñas manchas en zonas muy concretas de la costa de Granada y Almería, pudiendo considerarse casi extinguida (Urra et al. 2008, Rueda et al. 2009b, 2021). Las praderas más estudiadas se situaban entre la costa de Málaga y Granada, localizadas a mayores profundidades (5-17 m) que las de otras zonas de la península Ibérica (1-10 m), y con mayores riquezas de especies (Luque y Templado 2004, Rueda et al. 2009a, 2021). Las causas de la desaparición de *Z. marina* en el mar de Alborán no se conocen con exactitud, pero la pesca de arrastre ilegal o el dragado, el calentamiento global y el cambio climático son algunos de los factores que han contribuido a su desaparición.

Las **Praderas mediterráneas de *Cymodocea nodosa* de zonas abiertas profundas, sobre arenas** (LPRE 030509) están más desarrolladas en la parte oriental de ESAL, especialmente en el Parque Natural Cabo de Gata-Níjar (García Raso et al. 1992, Luque y Templado 2004, Rueda et al. 2021). En la parte occidental, *Cymodocea* es más irregular e incluso puede asentarse en fondos duros, como ocurre en la Zona Especial de Conservación (ZEC) Calahonda (Málaga) (García Raso et al. 2010). Se han documentado unas 200 especies en praderas profundas de ESAL (Luque y Templado 2004), incluyendo peces (*Symphodus cinereus, Bothus podas* y *Syngnathus abaster*), gasterópodos (*Rissoa monodonta*, *R. membranacea*, *Gibbula leucophaea, Smaragdia viridis* y *Tricolia tenuis*) (Marina et al. 2012) y decápodos, (*Hippolyte niezabitowskii, H. holthuisi* y *H. inermis*) (García Raso et al. 2006). En las praderas poco profundas, la riqueza específica es menor, con decápodos (*Hippolyte leptocerus, H. garciarasoi*) o gasterópodos (*Tritia donovani, T. cuvierii* y *Smaragdia viridis*) (Mateo-Ramírez y García Raso 2012). Los equinodermos pueden ser abundantes, pero suelen ser los típicos de fondos blandos (*Ophiura ophiura, Astropecten* spp., *Echinocardium mediterraneum*) (Luque y Templado 2004) o de los fondos duros vecinos (*Holothuria* spp.).





Las **Praderas de Caulerpa prolifera** (LPRE 0305130201) se asientan preferentemente en fondos más fangosos y resguardados que las de *Cymodocea* o *Zostera* y, a veces, se presentan como praderas compuestas con estas últimas. Las praderas más conocidas se encuentran en la bahía de Algeciras (Sánchez-Moyano et al. 2001, 2007, Sánchez-Moyano y García-Asencio 2009) y también en ensenadas o puertos protegidos alrededor de cabo de Gata (Luque y Templado 2004). Las especies dominantes en las frondes incluyen moluscos (*Anomia ephippium, Pusillina radiata, Jujubinus striatus, Oxynoe olivacea, Lobiger serradifalci*), y crustáceos (anfípodos, decápodos, isópodos), mientras que en la endofauna aparecen otras especies de moluscos (*Loripes orbiculatus, Abra alba, Ascobulla fragilis*), y poliquetos (*Notomastus latericeus, Capitella capitata, Exogone verugera, Neanthes acuminata, Aphelochaeta filiformis*). Recientemente, se ha observado la llegada de otra especie del género *Caulerpa* (*C. cylindracea*) con una alta capacidad invasora, tanto sobre hábitats sedimentarios como rocosos.

Los hábitats sedimentarios infralitorales sin vegetación son muy abundantes en ESAL. Los hábitats más comunes son los configurados por arenas finas bien calibradas litorales (MSFD BBHT-Arena infralitoral), la arena y grava detrítica-bioclástica costera (MSFD BHT-Sedimento grueso infralitoral e Sedimento mixto infralitoral), y los fangos terrígenos costeros (MSFD BHT-Fango infralitoral) en zonas de menor corriente y normalmente bajo la influencia de ríos o instalaciones acuícolas que suministran el fango.

El hábitat **Arenas finas infralitorales bien calibradas** (LPRE 03040220) se localiza entre 1 y 20 m de profundidad, con zonas más fangosas frente a las desembocaduras, puertos y zonas más profundas (MAPAMA 2019, Rueda et al. 2021). La mayor parte de los estudios se han realizado en el área del estrecho de Gibraltar, así como en las costas de Málaga, Granada y Almería (ver referencias en Rueda et al. 2021). La riqueza de especies es menor en la franja de 1-3 m de profundidad debido a la alta inestabilidad propiciada por el oleaje, que favorece un fondo de arena de grano medio. En esta franja son muy abundantes algunos bivalvos de interés comercial como las coquinas (*Donax trunculus, D. semistriatus* y *D. vittatus*), además de gasterópodos (*Tritia grana, Sinum bifasciatum* - especie de afinidad africana) y crustáceos decápodos (*Philocheras trispinosus, Philocheras monacanthus, Liocarcinus vernalis, Portumnus latipes*) (García Muñoz et al. 2008, Gofas et al. 2011, Rueda et al. 2021). A partir de los 5 m la comunidad es más rica, pero con dominancia de pocas especies como el bivalvo comercial *Chamelea gallina* (chirla), junto con *Acanthocardia tuberculata* (corruco), *Spisula subtruncata, Donax venustus* y *Tellina tenuis*. Los bivalvos *Callista chione* y *Glycymeris nummaria* son más abundantes entre 15 y 20 m de profundidad. La mayoría de los gasterópodos son carroñeros (*Tritia reticulata, Tritia pygmaea*) o carnívoros (*Bela zonata*, *Euspira* spp.). El cangrejo ermitaño *Diogenes pugilator* es el decápodo dominante junto con los cangrejos *Atelecyclus undecimdentatus* y *Liocarcinus depurator*, así como equinodermos excavadores (*Echinocardium cordatum, E. mediterraneum, Ophiura ophiura, Astropecten* spp.). En la práctica, los principales impactos y el estado ambiental de este hábitat están relacionados con el marisqueo, el arrastre ilegal y a las regeneraciones de las playas.

Los **Fondos con fangos y fangos arenosos infralitorales** (LPRE 030403) se dan en bahías o ensenadas bajo la influencia de río que aportan sedimentos finos terrígenos y cubren amplias zonas de la plataforma continental (ej. bahía de Málaga). El porcentaje de fango es alto y la mayor parte es de origen inorgánico, teniendo habitualmente un porcentaje de materia orgánica moderado. Las especies características son moluscos (*Tritia elata, Basisulcata lepida, Spisula subtruncata, Chamelea striatula*), crustáceos (*Anapagurus breviaculeatus, A. petiti, Pagurus excavatus, P. cuanensis* y *P. prideaux*) y equinodermos (*Acrocnida brachiata*) (García Raso et al. 2010, Gofas et al. 2011, Rueda et al. 2021).





### 3.1.2.1.4 Zona circalitoral y batial

Existen pocos hábitats sedimentarios circalitorales con vegetación en ESAL, siendo el más representativo los **Fondos de rodolitos y cascajo infralitorales y circalitorales dominados por invertebrados** (LPRE 03040513) (Gofas et al. 2014a, de la Torriente, 2014, Rueda et al. 2021). Los **Fondos de maërl** (LPRE 03040504) o de rodolitos (MSFD BBHT-Sedimento grueso circalitoral) se definen por la presencia de algas rojas calcáreas de vida libre y morfología redondeada sobre el sedimento subyacente, y constituye un hábitat muy vulnerable, debido al lento crecimiento de sus componentes, el bajo potencial reproductivo y el largo tiempo de regeneración. La mejor y más extensa representación de este hábitat en ESAL se encuentra en la plataforma insular de la isla de Alborán, entre 25 y 100 m de profundidad, cubriendo más de un tercio de ésta (Gofas et al. 2014a), y también en la plataforma de la cima del Seco de los Olivos entre 76 y 100 m de profundidad (de la Torriente et al. 2014). Su presencia en la costa peninsular es muy escasa y dispersa a lo largo del litoral andaluz, ya que requiere de fondos planos barridos por la corriente con arenas gruesas y gravas, y aguas transparentes alejadas del aporte de ríos.

Los rodolitos son importantes bioconstrucciones y configuran un hábitat complejo y heterogéneo, incrementando la estructura tridimensional frente a otros hábitats sedimentarios que favorece una gran riqueza y diversidad de especies (de la Torriente et al. 2014, Gofas et al. 2014a). Las principales especies que componen los rodolitos son *Lithophyllum racemus, Lithothamnion corallioides Lithothamnion philippi* y *Phymatolithon calcareum* (Gofas et al. 2014a). Estos fondos albergan una interesante fauna de esponjas (*Bubaris vermiculata, Diplastrella bistellata, Crambe tailliezi, Eurypon* y *Axinella*), antozoos (*Alcyonium coralloides, Alcyonium* sp., *Paralcyonium spinulosum, Eunicella filiformis* y *Eunicella* spp.), equinodermos (*Ophiactis balli, Chaetaster longipes, Hacelia attenuata, Genocidaris maculata*), moluscos (*Hiatella arctica, Gregariella semigranata, Modiolula phaseolina, Callochiton septemvalvis, Bolma rugosa*), crustáceos decápodos (*Scyllarus pygmaeus, Paguristes eremita, Dardanus arrosor, Ebalia* spp., *Parthenopoides massena*) y briozoos (*Reteporella grimaldii, Omalosecosa ramulosa*). Los peces demersales más característicos asociados a este hábitat alrededor del Parque Natural Cabo de Gata-Níjar y en la plataforma de la isla de Alborán son *Scorpaena notata, S. scrofa* y *Chelidonichthys lastoviza* (Luque y Templado 2004, Ramos Esplá y Luque 2008, Gofas et al. 2014a). Un importante impacto antropogénico sobre los fondos de rodolitos mediterráneos se debe a la pesca de arrastre (Barberá et al. 2003, Bordehore et al. 2003, y sus referencias).

Entre los hábitats circalitorales y batiales sin vegetación, se encuentran los fondos con arenas y gravas bioclásticas (**Fondos detríticos infralitorales y circalitorales dominados por invertebrados**, LPRE 03040514, MSFD BBHT-Sedimento grueso circalitoral y Sedimento grueso circalitoral profundo); **Fondos detríticos batiales**, LPRE 04020311, MSFD BBHT-Sedimento batial superior o sedimento batial inferior), que suelen tener un mayor contenido de fango y materia orgánica que en el piso infralitoral. Este hábitat está bastante extendido en zonas con fuertes corrientes como el estrecho de Gibraltar (Manjón-Cabeza y García Raso 1998, Rueda et al. 2000, García Raso y Manjón-Cabeza 2002) y ciertas zonas de la costa de Málaga (Urra et al. 2013a, b, c) y Granada (Marina et al. 2015), y presenta una elevada riqueza de especies gracias a la heterogeneidad generada por los bioclastos de mayor tamaño. La fauna en la zona circalitoral somera está compuesta por moluscos bivalvos (*Digitaria digitaria, Gouldia minima, Nucula hanleyi, Lembulus pella, Laevicardium crassum, Parvicardium scabrum, Pitar rudis, Timoclea ovata*) y gasterópodos (*Calyptraea chinensis, Euspira nitida, Crassopleura maravignae, Fusinus pulchellus, Bolinus brandari*) (Rueda et al. 2000, Rueda y Salas 2003, Urra et al. 2011), así como

crustáceos (*Paguristes eremita, Anapagurus hyndmanni, A. alboranensis, Diogenes pugilator, Dardanus arrosor*) (García-Muñoz et al. 2008, 2014, Marina et al. 2015), y equinodermos (*Astropecten* spp., *Ophiocten affinis, Amphiura* spp., *Astropecten bispinosus*) (Marina et al. 2015).

Los fondos con arenas y gravas bioclásticas más profundos, compuestos en gran medida por conchas subfósiles, han sido menos estudiados y la mayor información se refiere a zonas concretas de la plataforma de la isla de Alborán y del Seco de los Olivos (de la Torriente et al. 2014, Gofas et al. 2014a), así como en zonas concretas de la plataforma andaluza (Marina et al. 2015, Rueda et al. 2021). La fauna incluye grandes foraminíferos bentónicos (*Miniacina miniacea*), esponjas (*Axinella spatula, A. salicina, A. alborana* y Rhizaxinella elongata) (Sitjà y Maldonado 2014), numerosos cnidarios (*Eunicella filiformis, Caryophyllia* spp., *Leptogorgia sarmentosa, Veretillum cynomorium, Pennatula rubra*), anélidos (*Hyalinoecia tubicola, Lanice conchilega*, serpúlidos), gasterópdos (*Anatoma aspera, Clelandella miliaris, Calyptraea chinensis, Fusinus pulchellus, Orania fusulus, Xenophora crispa, Schilderia achatidea*) y bivalvos (*Bathyarca pectunculoides, Parvamussium fenestratum, Neopycnodonte cochlear, Arca tetragona* y *Parvicardium minimum*), junto a decápodos, equinodermos, briozoos y urocordados.

En el piso batial, la fauna bentónica asociada a arenas y gravas bioclásticas gruesas incluye muchos organismos suspensívoros que se aprovechan del alto hidrodinamismo, como algunos pequeños corales solitarios (*Caryophyllia* spp.) y actiniarios (*Actinauge richardi*), pequeñas gorgonias (*Bebryce mollis, Swiftia dubia*), poliquetos sedentarios (*Serpula vermicularis* sobre bioclastos) y móviles (*Hyalinoecia tubicola*), moluscos (*Limopsis aurita, Xenophora crispa, Fusiturris similis, Antalis panorma, Bathyarca* spp.), decápodos (*Ebalia nux, Cymonomus granulatus*) y equinodermos (*Leptometra phalangium, Cidaris cidaris*). En algunas zonas se han detectado densas agregaciones del crionideo *Leptometra phalangium* (Banco de Djibouti) que conforman los **Fondos detríticos batiales con campos de *Leptometra phalangium*** (LPRE 0402031106), donde se ha registrado una gran biodiversidad (Gofas et al. 2014b, Pedrouzo et al. 2014).

En los fondos arenosos batiales (**Fondos sedimentarios batiales no fangosos**, LPRE 040203, MSFD BBHT-Sedimento batial superior o sedimento batial inferior) la fauna se caracteriza por la esponja *Thenea muricata*, algunos moluscos (*Callumbonella suturalis, Euspira fusca, Parvicardium minimum*), crustáceos (*Parapenaeus longirostris, Solenocera membranacea, Plesionika edwardsii, Philocheras echinulatus, Processa nouveli, Ergasticus clouei*) y equinodermos (*Ophiura ophiura, Ophiocten abyssicolum, Luidia sarsii, Parastichopus regalis, P. tremulus*) (Salas 1996, García Raso 1996, Gofas et al. 2011, Ciércoles et al. 2018, Rueda et al. 2021).

Los **Fondos fangosos y fangos arenosos circalitorales y batiales** (LPRE 030403, MSFD BBHT-Fango circalitoral, Fango circalitoral profundo y Sedimento batial superior o sedimento batial inferior) y los **Fangos batiales** (LPRE 040202, MSFD BBHT-Sedimento batial superior o sedimento batial inferior) son los hábitats con más extensión en ESAL, sobre todo en el talud continental. Las especies características son pequeños cnidarios (*Epizoanthus arenaceus*), moluscos (*Tritia ovoidea, Alvania testae, Sorgenfreispira brachystoma, Turritella communis, T. mediterránea, Bivetiella similis, Saccella commutata*, etc.), anélidos (*Spiochaetopterus* cf. *costarum*, *Sternaspis scutata, Ditrupa arietina*), decápodos (*Goneplax rhomboides, Alpheus glaber, Inachus dorsettensis, Plesionika heterocarpus, Philocheras bispinosus, Anapagurus alboranensis, Galathea* spp.) y equinodermos (*Astropecten irregularis, Paraleptopentacta tergestina, Ophiocten affinis, Amphiura* spp., *Oestergrenia digitata, Ocnus planci*) (Marina et al. 2015, Moya-Urbano et al. 2016, Rueda et al. 2021). En estos tipos de

fondos, algunas especies conforman hábitats más complejos si ocurren a alta densidad como son los pennatuláceos (*Pennatula rubra, Pteroides griseum, Veretillum cynomorium, Cavernularia pusilla*) (**Fango circalitoral con pennatuláceos y fauna excavadora acompañante**, LPRE 03040303), alcionáceos (*Alcyonium palmatum, Paralcyonum spinulosum*) (**Fangos terrígenos costeros infralitorales y circalitorales con *Alcyonium palmatum* y *Parastichopus regalis***, LPRE 0304030902) y algunas gorgonias (*Spinimuricea* cf. *atlantica*) que proporcionan sustrato duro y alimento para otros invertebrados (*Armina maculata* se alimenta de *V. cynomorium*) (Gofas et al. 2011, Rueda et al. 2021). No obstante, las especies sésiles han disminuido durante décadas debido a la actividad del arrastre de fondo, pero a veces muestran una mayor abundancia cerca de los fondos rocosos, donde están protegidas de dicha pesca (Gofas et al. 2014a).

Los fondos fangosos batiales presentan diferentes ceriántidos (*Cerianthus* spp., *Arachnanthus oligopodus*), coral bambú (*Isidella elongata*) y pennatuláceos (*Virgularia mirabilis, Kophobelemnon stelliferum*, *K.* cf. *leuckarti*, *Funiculina quadrangularis*). Si estas especies ocurren en alta densidad pueden conformar hábitats específicos como **Fangos batiales con dominancia de ceriantarios** (LPRE 04020207), **Fangos batiales compactos con *Isidella elongata*** (LPRE 04020206) (muy restringido al Seco de los Olivos, Cabliers y Djibouti y zonas muy profundas) y **Fangos batiales con pennatuláceos** (LPRE 04020202). Otras especies acompañantes son los poliquetos (*Sabella* sp., *Spiochaetopterus* sp.), moluscos (*Abra longicallus, Kelliella miliaris, Nucula sulcata, Cuspidaria* spp., *Aporrhais serresiana, Buccinum humphreysianum, Galeodea rugosa*), decápodos (*Nephrops norvegicus, Monodaeus couchii, Goneplax rhomboides, Pagurus alatus, Plesionika* spp.) y equinodermos (*Mesothuria intestinalis, Hymenodiscus coronatus, Brissopsis lyrifera, Mesothuria intestinalis, Molpadia musculus, Ophiocten abyssicolum*) (Salas 1996, García Raso 1996, Gofas et al. 2011, Ciércoles et al. 2018, Rueda et al. 2021).

Los hábitats ligados a escapes de fluidos (**Estructuras producidas por escape de gases**, LPRE 040201, MSFD BBHT-Roca y arrecife biogénico batial superior o batial inferior), como son los volcanes de fango y los campos de pockmarks, ocurren en zonas muy concretas del piso batial (Rueda et al. 2021). Los principales volcanes de fango y pockmarks se localizan principalmente en la cuenca occidental de Alborán, y sus comunidades han sido poco estudiadas, destacando las especies de bivalvos quimiosimbióticos (*Acharax* sp., *Myrtea* sp., *Lucinoma* sp.) y poliquetos siboglínidos (*Lamellibrachia* sp., *Siboglinum* sp.) (Rueda et al. 2021).

### 3.1.2.2 Sustratos rocosos

### 3.1.2.3 Zona supralitoral

La extensión del piso supralitoral rocoso en ESAL coincide con el de las costas rocosas, incluyendo sustratos artificiales como muelles y espigones, las cuales presentan un gradiente vertical pequeño debido a la estrecha zona de salpicadura del oleaje, excepto en el área del estrecho de Gibraltar.

El hábitat **Roca supralitoral** (LPRE 010101) incluye a otros tipos de hábitats como **Roca supralitoral inferior de líquenes incrustantes (*Verrucaria*), cianobacterias, *Melarhaphe neritoides* y *Echinolittorina punctata*** (LPRE 0101010301), caracterizado por diversos líquenes (*Verrucaria amphibia, V. maura, Lichina pygmaea*), algas cianobacterias (*Staneria sublitoralis, Chroococcidiopsis fissuratum, Entophysalis deusta, E. granulosa*) (De la Rosa 2012), moluscos gasterópodos que ramonean las cianofíceas (*Melarhaphe neritoides* y *Echinolittorina punctata* - especie termófila que se

encuentra en África occidental y en las zonas más cálidas del Mediterráneo) y el isópodo detritívoro *Ligia italica*.

Tras episodios de viento y tormentas, las cavidades y grietas del sustrato se llenan de agua y forman las denominadas charcas supralitorales (**Charcas con algas verdes (*Enteromorpha* spp., *Cladophora* spp.) en roca supralitoral**, LPRE 01010101), colonizadas por algunas especies macro-fitobentónicas adaptadas a estas condiciones como cianobacterias (*Lyngbya* spp.) y algas filamentosas verdes (*Chaetomorpha aerea, Ulva compressa*).

**3.1.2.2.2. Zona mediolitoral**

El piso mediolitoral corresponde a la zona intermareal constantemente expuesta a la acción de las olas. En ESAL, la influencia de las mareas sigue siendo notable en el Estrecho, pero se desvanece a medida que nos alejamos (mareas que no superan los 50 cm). Las comunidades se organizan en forma de cinturones u horizontes, normalmente bien delimitadas y estructuradas por organismos sésiles, principalmente algas y percebes, cuya composición y extensión dependen en gran medida del grado de acción del oleaje.

En la **Roca mediolitoral moderadamente expuesta** (LPRE 020102) se desarrollan hábitats donde las algas rojas son el principal componente florístico. En este primer cinturón de algas, presente en zonas bien conservadas como las islas Chafarinas, aparecen especies como *Rissoella verruculosa*, junto a *Nemalion helminthoides, Rivularia bullata, R. atra, Ralfsia verrucosa, Mesospora macrocarpa*, y varias especies efímeras y estacionales como *Bangia atropurpurea* y *Pyropia leucosticta* (Templado et al. 2006). En zonas con condiciones más desfavorables sometidas a eutrofización, se desarrolla un cinturón muy denso de *Huismaniella nigrescens*, asociado a otras especies oportunistas como *Cladophora laetevirens* o *Ulva* spp.

En lo referente a la fauna, el cinturón superior del litoral medio (**Roca mediolitoral moderadamente expuesta con gasterópodos y cirrípedos**, LPRE 02010211) se caracteriza por abundantes cirrípedos (*Microeuraphia depressa, Chthamalus montagui, C. stellatus*), moluscos (*Patella rustica, P. ferruginea* - especie en peligro de extinción, *Phorcus articulatus, P. turbinatus*) y el cangrejo de gran movilidad *Pachygrapsus marmoratus*. Por debajo del horizonte de cirrípedos, hay un turf algal donde destaca la coralinácea *Ellisolandia elongata* (**Horizonte de *Corallina elongata* sobre roca mediolitoral moderadamente expuesta**, LPRE 02010227), mostrando una riqueza de especies que aumenta drásticamente en las partes medias y bajas (Guerra-García et al. 2011), y que incluye especies de cirrípedos (*Perforatus perforatus, Amphibalanus amphitrite*), decápodos (*P. transversus*, *P. maurus*), moluscos (*Siphonaria pectinata, Lepidochitona caprearum, Mytilus galloprovincialis, Perna perna, Patella caerulea, P. depressa* - en la parte occidental de la costa malagueña y en el Estrecho, *Cymbula safiana* - especie predominantemente de África occidental) y cnidarios (*Actinia equina*). En los niveles inferiores, la fauna es muy diversa entre el turf de algas con muchas especies de moluscos (*Skeneopsis planorbis, Nodulus spiralis, Pisinna glabrata, Tricolia miniata, Cassiella abylensis* - especie endémica del Estrecho) (Gofas et al. 2011), pequeños crustáceos como los isópodos (*Sphaeroma serratum, Cymodoce, Dynamene*), y crustáceos decápodos (*Clibanarius erythropus*). En la zona intermareal, los huecos bajo rocas sueltas y las fisuras constituyen un refugio contra la desecación y la depredación para otras especies como decápodos (*Porcellana latycheles, Xantho poressa, Eriphia verrucosa, Pilumnus hirtellus, Athanas nitescens*), muchos moluscos (*Steromphala racketti, Ocinebrina edwardsii,*

*Columbella rustica, Striarca lactea, Cardita calyculata*), poliquetos (principalmente serpúlidos) e invertebrados sésiles, como tunicados coloniales o esponjas.

En la **Roca mediolitoral protegida** (LPRE 020103) se desarrolla una comunidad de biotipos cespitosos muy densa. Entre las especies más frecuentes se encuentran las algas rojas *Huismaniella nigrescens, Gelidium latifolium, G. pusillum, Chondracanthus acicularis* y *Caulacanthus ustulatus*, así como diversas especies de *Polysiphonia* y *Ceramium*. A medida que aumenta la intensidad del hidrodinamismo, estas algas comienzan a dominar más que las algas calcáreas, mientras que *Ellisolandia elongata* domina claramente en las superficies verticales muy expuestas. Además de estas especies, es frecuente la presencia de *Lithophyllum incrustans* y *Mesophyllum alternans*.

En las charcas más grandes de la zona eulitoral que permanecen llenas de agua (**Charcos mediolitorales**, LPRE 02010401), la vegetación es mucho más diversa, ampliando la cobertura de la vegetación infralitoral. Pueden aparecer especies como *Halopteris scoparia, Padina pavonica, Dictyota dichotoma, Plocamium coccineum, Gelidium* spp. y *Ellisolandia elongata*, y a veces especies de fucales como *Cystoseira compressa, C. tamariscifolia, Sargassum vulgare*.

En el nivel bajo del piso intermareal y en zonas muy concretas, se pueden dar los llamados arrecifes de vermétidos (**Arrecife biógeno de *Dendropoma petraeum* sobre roca mediolitoral moderadamente expuesta**, LPRE 02010223) formados por el gasterópodo sésil *Dendropoma lebeche* (antes conocido como *D. petraeum*) cuyos densos agregados son rellenados y cementados por el alga calcárea incrustante *Neogoniolithon brassica-florida*. Este hábitat se encuentra bien representado en el Estrecho, Almería y en las islas Chafarinas (Guallart y Calvo 2006, Guallart y Afán 2013). Las grietas y oquedades del arrecife proporcionan refugio a poliquetos, gasterópodos (*Fossarus ambiguus*), bivalvos (*Lasaea adansoni, Leiosolenus aristatus*), sipuncúlidos (*Phascolosoma stephensoni*) e incluso peces (*Coryphoblennius galerita*) (Moreno 2006).

### 3.1.2.4 Zona infralitoral

Los hábitats del **Piso infralitoral rocoso y otros sustratos duros** (LPRE 0301, MSFD BBHT-Roca infralitoral y arrecife biogénico) son muy heterogéneos en ESAL, dependiendo de la exposición a la acción del oleaje (mayor en el Estrecho), de la pendiente y orientación del sustrato, y de la intensidad de la luz que disminuye progresivamente a medida que aumenta la profundidad (Templado et al. 2012). Los hábitats infralitorales rocosos son más comunes en el estrecho de Gibraltar y algunos sectores del litoral de Málaga (Calahonda-Calaburras, Nerja-Maro), Granada (Almuñecar, Calahonda) y Almería (Roquetas, cabo de Gata), a veces caracterizados por la presencia de numerosos acantilados en la línea de costa donde la plataforma es muy estrecha (Rueda et al. 2021). Las comunidades fotófilas están dominadas, tanto fisonómicamente como en biomasa, por macrófitos, mientras que en las comunidades esciáfilas tiende a predominar el componente animal y el sustrato está ocupado por especies sésiles.

La comunidad de algas fotófilas es característica de zonas poco profundas; sin embargo, en condiciones adecuadas de transparencia del agua, puede alcanzar los 30 m de profundidad o más. La llegada del alga asiática invasora *Rugulopteryx okamurae* en 2015 (Altamirano et al. 2016, Ocaña et al. 2016) ha causado una transformación drástica de los hábitats rocosos fotófilos de ESAL, especialmente los fondos duros infralitorales presentes en Ceuta y a lo largo de la cuenca norte del mar de Alborán (García Gómez et al. 2020, Martín-Arjona et al. 2024). Esta especie es la principal, y en ocasiones casi única,





representante de las "nuevas comunidades" algales presentes en la demarcación, con coberturas cercanas al 100% en muchos casos y con valores de biomasa muy elevados. Esta especie, junto a otras macroalgas invasoras conspicuas como *Asparagopsis taxiformis, A. armata* y *Caulerpa cylindracea*, representan uno de los factores causantes de la pérdida de biodiversidad autóctona de las comunidades marinas originales de ESAL.

En función del grado de hidrodinamismo, es posible diferenciar entre hábitats con comunidades algales de zonas expuestas o protegidas. Las primeras se establecen en los niveles superiores a poca profundidad donde la acción del oleaje es importante. Esta comunidad está representada por bosques dispersos y de pequeño tamaño de especies de Fucales pertenecientes principalmente al género *Cystoseira*, que proporcionan un hábitat comparable a un bosque en miniatura (Luque y Templado 2004, Templado et al. 2012) como en el caso de *C. tamariscifolia* (**Roca infralitoral superficial de modo batido bien iluminada, con *Cystoseira tamariscifolia***, LPRE 0301022103). En la isla de Alborán (Templado et al. 2006) y en las islas Chafarinas, los bosques de *C. tamariscifolia* todavía pueden observarse formando un cinturón continuo. Entre los factores que pueden haber causado este declive se encuentra la contaminación, ya que *Cystoseira* spp. es muy sensibles a la eutrofización, el sobrepastoreo por erizos de mar, y la competencia con especies exóticas de marcado carácter invasor como *Asparagopsis* spp. (Ballesteros y Pinedo 2004) y, especialmente, *R. okamurae* (García Gómez et al. 2020, Martín-Arjona et al. 2024). En la isla de Alborán, *C. tamariscifolia* es sustituida por *C. nodicaulis* entre los 3-4 m de profundidad y hasta algo más de 10 m. De acuerdo al grado de cobertura, la capa basal de las comunidades incrustantes *de C. tamariscifolia* suele estar formada por *Mesophyllum alternans* o *Lithophyllum incrustans* (Gofas et al. 2014a). Además, están presentes otras especies como *Ellisolandia elongata, Jania rubens, Hypnea musciformis, Osmundea pinnatifida, Laurencia* spp., *Gelidium* spp. o *Valonia utricularis*. En zonas más protegidas de la acción del oleaje de la isla de Alborán, *Cystoseira tamariscifolia* es sustituida por especies como *C. compressa* y *Gelidium latifolium*, a veces acompañadas por *C. balearica, C. sauvageauana, C. elegans* o *C. foeniculacea* (Gofas et al. 2014a). Cuando se reduce la disponibilidad de luz, se desarrolla una cubierta de algas esciáfilas (**Roca infralitoral superficial de modo batido, escasamente iluminada con *Plocamium cartilagineum/Schottera nicaeensis/Valonia utricularis***, LPRE 0301022301), como *Hildenbrandia crouaniorum, Plocamium coccineum, Pterocladiella capillacea, Peyssonnelia rubra, Cladophora pellucida, Bryopsis plumosa, B. cupressina, Valonia utricularis* y *Codium* spp.

En zonas de modo calmo no expuestas directamente al oleaje o zonas abiertas a partir de los 3 m de profundidad, aparecen comunidades dominadas por especies del género *Cystoseira* (**Roca infralitoral de modo calmo, bien iluminada, con fucales**, LPRE 03010305) o, en su lugar, por comunidades de algas fotófilas arbustivas como *Halopteris* sp., *Cladostephus spongiosus*, *Dictyota* spp., *Padina pavonica, Halopithys incurva*, entre otras. Sin embargo, la llegada de *R. okamurae* ha modificado sustancialmente estos hábitats y, actualmente, las comunidades de *Cystoseira* prácticamente han desaparecido de las costas septentrionales de ESAL, quedando restringidas a zonas puntuales del litoral de Granada (cabo Sacratif) y Almería (Garrofa).

En las zonas con una limitación importante de luz se desarrolla la comunidad de algas hemiesciáfilas (**Roca infralitoral superficial protegida escasamente iluminada**, LPRE 03010310), denominada comunidad pre-coralígena, que constituye una transición entre las zonas infralitoral y circalitoral. En estos ambientes sombríos, *Cystoseira usneoides* forma importantes bosques en ciertas zonas del mar de Alborán; sin embargo, *Asparagopsis* spp. representa los elementos más importantes y abundantes.

En la isla de Alborán, los bosques de *C. usneoides* mantienen altos niveles de cobertura y desarrollo, apareciendo también las especies *Halopteris filicina, Dictyopteris polypodioides, Zonaria tournefortii, Sphaerococcus coronopifolius, Plocamiun cartilagineum, Codium bursa*, entre otras.

A nivel faunístico, hay que resaltar que el hábitat estructurado por macroalgas está configurado por dos estratos diferentes, el sedimento y la fronda de las algas, y las especies asociadas utilizan estos microhábitats de forma selectiva. Entre la fauna más característica de las comunidades algales se encuentran los erizos de mar *Paracentrotus lividus* y *Arbacia lixula* (**Roca infralitoral expuesta dominada por *Paracentrotus lividus***, LPRE 03010115), que pueden llegar a modificar el hábitat y favorecer a otras especies formadoras de hábitats como las anémonas *Anemonia sulcata* o *Aiptasia mutabilis* (**Blanquizales en roca infralitoral superior protegida con *Anemonia sulcata***, LPRE 0301030904).

Las comunidades de invertebrados asociadas a estos hábitats se han estudiado principalmente en los fondos dominados por *Halopteris scoparia* y *Ellisolandia elongata* en la parte noroccidental de la demarcación. El hábitat configurado por *H. scoparia* (**Roca infralitoral de modo calmo, bien iluminada, sin fucales con *Halopteris scoparia/Cladostephus spongiosus***, LPRE 301030705) da cobijo a una asombrosa diversidad de pequeños animales, sobre todo moluscos (unas 200 especies, entre otras *Rissoa guerinii, Bittium reticulatum, Nodulus contortus, Eatonina fulgida, Musculus costulatus*), crustáceos (unas 100 especies de peracáridos, sobre todo anfípodos como *Chondrochelia dubia, Tanais dulongii, Cumella limicola* y *Nannastacus unguiculatus*; 35 especies de decápodos, como *Hippolyte leptocerus, Pilumnus hirtellus, Sirpus zariquieyi, Acanthonyx lunulatus, Athanas nitescens*) y poliquetos (más de 80 especies, como *Syllis prolifera, Salvatoria vieitezi, Exogone naidina, Sphaerosyllis hystrix* y *Amphiglena mediterranea*) (Sánchez-Moyano y García-Gómez 1998, Conradi y López-González 1999, López y Viéitez 1999, Sánchez-Moyano et al. 2002, Castellanos et al. 2003, López y Gallego 2006, Urra et al. 2013a, Mateo-Ramírez et al. 2018, Rueda et al. 2021). En los hábitats dominados por la pequeña alga coralinácea *Ellisolandia elongata* (**Roca infralitoral superior moderadamente expuesta con *Corallina***, LPRE 0301021501) la fauna es menos diversa (Guerra-García et al. 2009a) y está caracterizada por los capréllidos *Caprella hirsuta, C. penantis* y *C. grandimana*; los anfípodos *Protohyale schmidti, Hyale stebbingi, Jassa marmorata, Stenothoe monoculoides* y *Ampithoe* spp., así como el isópodo *Ischyromene lacazei* y el tanaidáceo *Tanais dulongii* (Guerra-García e Izquierdo 2010, Izquierdo y Guerra-García 2011).

Existen varios estudios sobre la fauna asociada a algas invasoras en ESAL, como *Asparagopsis armata* (Pacios et al. 2011, Soler-Hurtado y Guerra-García 2011), *Asparagopsis taxiformis* (Navarro-Barranco et al. 2018) y *Rugulopteryx okamurae* (Navarro-Barranco et al. 2019). Estos estudios muestran resultados desiguales en función de la especie de alga invasora. En el caso de *A. armata*, los estudios sugieren que la riqueza de especies de crustáceos es comparable a la de las especies nativas de algas intermareales, con cambios en la abundancia de algunas especies. En el caso de *A. taxiformis*, la asociación de crustáceos peracáridos se mostró empobrecida (tanto en abundancia como en riqueza de especies) en comparación con la asociada a la especie nativa simpátrica *H. scoparia*. Por último, *R. okamurae* mostró valores más elevados de riqueza, abundancia y diversidad de peracáridos y moluscos que la especie nativa *Dictyota dichotoma*.

Uno de los hábitats fotófilos más singulares sobre sustrato rocoso es el conformado por la angiosperma mediterránea *Posidonia oceanica* (**Praderas de *Posidonia oceanica***, LPRE 030512). Las praderas de esta angiosperma son las de mayor tamaño en ESAL y presentan un amplio rango batimétrico (de 0 a más

de 30 m de profundidad), encontrándose las más extensas en el Parque Natural Cabo de Gata-Níjar y en varias ZECs cercanas, como la ZEC Fondos Marinos de Punta Entinas-Sabinar y la ZEC Fondos Marinos del Levante Almeriense. Existen otras praderas de *Posidonia* más pequeñas en la ZEC Acantilados de Maro-Cerro Gordo (Granada y Málaga), ZEC Calahonda, ZEC El Saladillo-Punta de Baños y ZEC Bahía de Estepona (Málaga). Estas praderas son las más occidentales del Mediterráneo, estando caracterizadas por su morfología irregular, escasa profundidad (0-5 m), fenología con hojas cortas (29-45 cm en primavera) y un estrato de rizomas lleno de sedimentos (García Raso et al. 2010, Urra et al. 2013b).

Las praderas de *Posidonia* constituyen un ecosistema complejo en el que el estrato foliar y el entramado de rizomas presentan características y fauna asociada muy diferentes, con una comunidad asociada más compleja y diversa que la asociada a las angiospermas *Z. marina* o *C. nodosa* (Luque y Templado 2004). Las praderas de *Posidonia* destacan por su elevada riqueza de especies, como poliquetos (240 especies, San Martín et al. 1990, Luque y Templado 2004, Torres Gávila 2008), moluscos (más de 200 especies, García Raso et al. 1992, Luque y Templado 2004, Urra et al. 2013b), anfípodos (más de 70 especies, Luque y Templado 2004), decápodos (más de 50 especies, García Raso 1990, García Raso et al. 1992, Luque y Templado 2004, Mateo-Ramírez et al. 2015) y equinodermos (25 especies, Luque y Templado 2004).

En el estrato foliar de *Posidonia*, los organismos más comunes son los briozoos incrustantes (*Electra posidoniae, Patinella radiata*), y los hidroozoos (géneros *Sertularia*, *Campanularia* y *Aglaophenia*), así como tunicados coloniales, poliquetos serpúlidos, actinarios, gasterópodos, crustáceos, equinodermos y peces muy pequeños (*Opeatogenys gracilis* y *Apletodon incognitus*). En el estrato de rizomas la macrofauna frecuente son briozoos (*Schizobrachiella sanguinea, Schizoporella errata, Reteporella grimaldii, Schizomavella mamillata*), esponjas (*Chondrosia reniformis, Phorbas fictitius* y *Crambe crambe*), tunicados (*Didemnum fulgens, Pseudodistoma obscurum, Phallusia mammillata* y *Pycnoclavella communis*), y anélidos (*Salmacina* spp., *Protula intestinum, Bispira volutacornis* y *Sabella spallanzanii*), así como cnidarios, bivalvos, quitones, gasterópodos, equinodermos y decápodos. Una de las especies más característica de estas praderas es el bivalvo *Pinna nobilis*, el cual ha experimentado una gran regresión en los últimos años, a diferencia de su congénere *Pinna rudis*, de menor tamaño y que suele vivir principalmente en sustratos duros.

Asociada principalmente a los rizomas de *Posidonia* se encuentra *Mesophyllum alternans*, un alga coralina con rosetas bastante grandes (hasta 20 cm) y que proporciona una compleja red de cavidades. Esto favorece la presencia de una rica y variada comunidad animal y, por tanto, aumenta la biodiversidad y el valor del hábitat de la pradera de *Posidonia* en ESAL (Hergueta y Salas 1986, García Raso y Fernández Muñoz 1987, Fernández Muñoz y García Raso 1987, López de la Rosa y García Raso 1992, García Raso et al. 1996). La fauna está compuesta por esponjas (*Sycon* spp., *Cliona viridis, Leuconia* sp.), poliquetos (*Platynereis dumerilii, Ceratonereis costae* y *Syllis gracilis*), picnogónidos (*Achelia langi* y *Tanystylum conirostre*), equinodermos (*Amphipholis squamata*), moluscos (*Alvania nestaresi, Chauvetia mamillata, Hiatella arctica, Striarca lactea*) y decápodos (*Alpheus dentipes, Pilumnus hirtellus, Pisidia longimana, Athanas nitescens, Cestopagurus timidus*) (Luque y Templado 2004).

A mayor profundidad se desarrolla otro hábitat con vegetación como es la **Roca infralitoral y circalitoral dominada por laminariales** (LPRE 03020102, MSFD BBHT-Roca infralitoral y arrecife biogénico y Roca circalitoral y arrecife biogénico) conformada por grandes algas pardas (quelpos) como *Laminaria ochroleuca* y *Saccorhiza polyschides*. Estas algas están ampliamente distribuidas a lo largo de las costas





atlánticas, habiéndose observado en algunos puntos de la demarcación como el estrecho de Gibraltar y la plataforma de la isla de Alborán. El paisaje submarino dominado por estas grandes algas forma una comunidad bien estructurada y estratificada con una elevada biodiversidad asociada que puede penetrar hasta la zona circalitoral. Bajo el dosel de estas grandes laminariales proliferan las pequeñas laminarias *Phyllariopsis purpurascens* y *P. brevipes*, junto con *Cystoseira usneoides*.

Sorprendentemente, a pesar de la aparente gran diversidad biológica de este complejo hábitat, la comunidad asociada no ha sido estudiada en detalle (Luque y Templado 2004, Templado et al. 2006). Entre las especies animales asociadas a este hábitat destacan el briozoo *Membranipora membranacea* (exclusivo de las láminas de Laminariales), la anémona *Alicia mirabilis*, la lapa *Patella pellucida* y las ascidias (*Botryllus*), junto al erizo de mar *Sphaerechinus granularis*. El estrato basal se compone de algas rojas incrustantes y especies esciáfilas, dominadas por esponjas (*Crambe crambe, Oscarella lobularis*, *Dysidea* spp., *Axinella damicornis* o *Aplysina aerophoba*) y ascidias (*Rhopalaea neapolitana, Phallusia mammillata, Aplidium elegans, Polycarpa mamillaris*), junto a varias gorgonias (*Eunicella verrucosa, E. gazella, E. labiata, Leptogorgia sarmentosa*), gusanos serpúlidos (*Serpula vermicularis, Protula intestinum*), gasterópodos (*Calliostoma zizyphinum* y *Bolma rugosa*), octocorales (*Alcyonium acaule, Parerythropodium coralloides*), hidrozoos (*Nemertesia antennina, Aglaophenia*) y briozoos (*Myriapora truncata, Frondipora verrucosa, Pentapora fascialis, Bugula spiralis*) (Ramos-Esplá y Bayle-Sempere 1991, Maldonado 1993, Luque y Templado 2004, Templado et al. 2006, Rueda et al. 2021).

En condiciones de luz tenue se desarrollan los hábitats dominados por invertebrados sésiles (**Roca infralitoral de modo calmo, escasamente iluminada, dominada por invertebrados**, LPRE 03010416). En éstas, las bioconcreciones calcáreas se desarrollan por algas esciáfilas y otros invertebrados formadores de hábitat, dando lugar a formaciones de alta complejidad estructural que, a su vez, albergan una amplia variedad de especies sésiles y móviles (Ballesteros 2006). Esta comunidad pre-coralígena está bien representada en zonas concretas de ESAL con alto hidrodinamismo y, en algunos casos, surgencias de aguas frías y ricas en nutrientes (estrecho de Gibraltar, islas Chafarinas, isla de Alborán, costa de Granada, "Laja del Almirante" en la ZEC Calahonda de Málaga), siendo más extensas en el piso circalitoral (Giakoumi et al. 2013, Rueda et al. 2021), aunque también pueden encontrarse bajo grietas, salientes o entradas de cuevas submarinas del infralitoral.

Este hábitat alberga algas coralinas esciáfilas (géneros *Mesophyllum* y *Lithophyllum*), briozoos (*Pentapora fascialis, Myriapora truncata*), poliquetos (*Salmacina dysteri*), esponjas (*Oscarella lobularis, Crambe crambe, Chondrosia reniformis, Clathrina* spp., *Axinella* spp., *Ircinia* spp.), cnidarios (*Astroides calycularis, Dendrophyllia ramea, Aglaophenia pluma, Clavularia crassa, Eunicella* spp.), equinodermos (*Holothuria sanctori, Arbacia lixula*) o ascidias (*Aplidium conicum, Didemnae* spp., *Halocynthia papillosa*), entre otros (Cebrián y Ballesteros 2004, Franzosini y Limam 2004, Sánchez-Tocino et al. 2009, García Raso et al. 2010, Rueda et al. 2021). Excepcionalmente, también se dan especies de gran porte como la gorgonia *Ellisella paraplexauroides* alrededor de las islas Chafarinas (Maldonado et al. 2013), así como especies protegidas como ciertos moluscos (*Luria lurida, Naria spurca*), decápodos (*Scyllarides latus, Scyllarus arctus, Palinurus elephas*) y equinodermos (*Echinaster sepositus, Ophidiaster ophidianus*) (Templado et al. 2004, Rueda et al. 2021).

Uno de los hábitats esciáfilos más conspicuos y emblemáticos en los fondos duros someros de la demarcación está dominado y estructurado por el coral naranja *Astroides calycularis* (**Roca infralitoral de modo calmo, escasamente iluminada, dominada por invertebrados con *Astroides calycularis***, LPRE 0301041610), estando considerado como una facies del coralígeno del piso infralitoral. Esta especie,

incluida en el Catálogo Español y Andaluz de Especies Amenazadas (LESRPE y LAESPE), forma microarrecifes de gran singularidad por su marcado carácter termófilo y por constituir en sí mismos hábitats muy especiales para otras especies. El coral naranja puede llegar a cubrir grandes superficies en lugares donde las condiciones son favorables, principalmente en paredes umbrías, extraplomos y entradas de grietas y cuevas, llegando a representar la especie dominante en el recubrimiento del sustrato. En ESAL y durante los muestreos llevados a cabo durante este ciclo, este hábitat se ha observado a lo largo y ancho de la demarcación, fundamentalmente en los sectores de Tarifa, Nerja-Almuñécar, Calahonda-Castell de Ferro, Ceuta y las islas Chafarinas.

Además de su papel como reservorio de biodiversidad, el hábitat pre-coralígeno también es valioso desde un punto de vista estético, conformando lugares de alto interés para actividades como el buceo recreativo y el esnórquel (o snorkel), que sumadas a otras fuentes de perturbación humana como la contaminación costera, el cambio climático o las artes de pesca, pueden impactar negativamente sobre estas comunidades debido a la alta fragilidad y bajo ritmo de crecimiento de los organismos calcáreos (Ballesteros 2006).

Las cuevas marinas (**Cuevas y túneles infralitorales y circalitoraleres**, LPRE 0303) representan otro hábitat del piso infralitoral rocoso singular y sensible presente en la demarcación ESAL. Se han descrito cuevas marinas en distintas zonas de la demarcación; sin embargo, las mejor estudiadas se encuentran principalmente en la costa de Granada (Navarro-Barranco 2015). Éstas son generalmente pequeñas y poco profundas, aunque también se han descrito cuevas marinas más profundas (por debajo de los 30 m de profundidad) y más largas (aproximadamente 100 m de longitud) (Navarro-Barranco et al. 2015). Los estudios ecológicos han señalado la lentitud de la colonización, la singularidad de su composición de especies y la elevada estabilidad de las condiciones ambientales en las cuevas marinas, lo que respalda la actual consideración de las mismas como hábitats muy valiosos y sensibles a la perturbación humana. La principal fuente humana de impactos que tienen las cuevas marinas se debe al buceo, las infraestructuras costeras y el cambio global, pero hasta ahora no se han realizado estudios específicos en este ámbito.

En las cuevas marinas predominan los invertebrados sésiles como las esponjas (*Dysidea avara, Sarcotragus* spp*., Petrosia ficiformis, Chondrosia reniformis*), cnidarios (*Astroides calycularis, Parazoanthus axinellae, gorgonias*) y briozoos (*Adeonella calveti* y *Pentapora fascialis*), así como crustáceos (*Hemimysis margalefi, Stenopus spinosus, Palaemon serratus, Lysmata seticaudata, Dromia personata*), moluscos (*Naria spurca, Luria lurida, Peltodoris atromaculata, Berthella ocellata*) o peces (*Apogon imberbis, Thorogobius ephippiatus, Phycis phycis* y *Conger conger*). Algunas de estas especies no son exclusivas de hábitats de cuevas, encontrándose también en otros ambientes esciáfilos (grietas, salientes, coralígeno). En la parte más interna de las cuevas se dan especies altamente especializadas, principalmente esponjas incrustantes y briozoos, braquiópodos (*Novocrania anomala, Megathiris detruncata*) o poliquetos serpúlidos (Navarro-Barranco et al. 2015).

### 3.1.2.5 Zona circalitoral y batial

Los hábitats rocosos circalitorales de ESAL (**Roca circalitoral dominada por invertebrados**, LPRE 030202, MSFD BHT-Roca circalitoral y arrecife biogénico y Roca circalitoral profunda y arrecife biogénico) se caracterizan por presentar un componente florístico restringido a la capa basal y compuesto por especies de algas calcáreas rojas (*Mesophyllum alternans, Lithophyllum incrustans, L. stictaeforme*), así como otras especies de talos más blandos (*Peyssonnelia* spp., *Phyllophora crispa,*





*Flabellia petiolata, Codium* spp., *Zonaria tournefortii*, entre otras). Este hábitat se caracteriza también por la presencia de diferentes macro-invertebrados sésiles y filtradores con esqueletos calcáreos, los cuales prosperan en condiciones de luz tenue en crestas rocosas, paredes, salientes y grietas, albergando alta biodiversidad y una red trófica compleja (Rueda et al. 2021). Recientemente, se ha documentado la presencia de grandes cantidades de talos a la deriva del alga invasora *R. okamurae* que se entrelazan con escleractinias y gorgonias, pudiendo causar un impacto negativo sobre éstas (Rueda et al. 2023).

Este hábitat ha sido estudiado en detalle en áreas como la isla de Alborán (Gofas et al. 2014a, Sitjà y Maldonado 2014) donde se desarrolla en grandes áreas de la plataforma (30-100 m de profundidad), principalmente en el flanco sur y en el afloramiento suroeste, y en las áreas más someras del Seco de los Olivos (aproximadamente 100 m de profundidad) (de la Torriente et al. 2014). Puede estar dominado por gorgonias (*Eunicella verrucosa, Paramuricea clavata* y *Leptogorgia sarmentosa*) y otros antozoos (*Savalia savaglia, Antipathella subpinnata, Alcyonium acaule, Dendrophyllia ramea*), conformando **Bosques de gorgonias en roca circalitoral dominada por invertebrados** (LPRE 03020206) (de la Torriente et al. 2014, Gofas et al. 2014a). También puede estar dominado por esponjas (**Roca circalitoral vertical dominada por invertebrados con esponjas y anémonas**, LPRE 03020204) las cuales son un componente importante de la comunidad coralígena, con una gran cantidad de esponjas incrustantes, ramificadas y masivas compartiendo hábitat con los octocorales. Las esponjas comunes incluyen (*Dysidea fragilis, Sarcotragus pipetta, Hexadella racovitzai, Penares helleri, Crambe tailliezi, Caminus vulcani, Dercitus plicatus, Craniella cranium*, así como especies de los géneros *Axinella, Suberites, Calthropella, Erylus, Haliclona, Spongosorites* y *Phorbas*) (Maldonado 1992, 1993, Sitjà y Maldonado 2014).

En el piso circalitoral más profundo, los hábitats muestran una composición faunística diferente, pudiendo estar dominado por gorgonias (*Viminella flagellum, Acanthogorgia hirsuta, Acanthogorgia armata, Callogorgia verticillata, Swiftia*) y escleractinias (*Caryophyllia* spp., *Dendrophyllia cornigera*), o por esponjas de gran porte (*Asconema setubalense, Phakellia robusta, Pachastrella monilifera, Phakellia ventilabrum, Poecillastra compressa*) junto con una gran variedad de esponjas erectas de pequeño tamaño con morfología de "chupa-chups" (*Podospongia lovenii, Rhizaxinella elongata, Rhizaxinella gracilis, Crella pyrula*) o ramificadas (*Axinella vellerea, Axinella pumila, Stelligera stuposa y Stelligera rigida*) (Maldonado 1992, 1993, Sitjà y Maldonado 2014).

Uno de los hábitats más emblemáticos del piso circalitoral rocoso lo conforma el coral rojo *Corallium rubrum* (**Roca circalitoral no concrecionada dominada por invertebrados con *Corallium rubrum***, LPRE 0302022309), incluido en listados de protección y ocasionalmente presente en cuevas a tan solo 20 m de profundidad, pero más común en la parte más profunda del circalitoral, alcanzando sus densidades máximas bajo salientes rocosos por debajo de los 100 m de profundidad.

Los hábitats rocosos del piso batial (MSFD BBHT-Roca y arrecife biogénico batial superior o batial inferior) se distribuyen de forma irregular en la demarcación, quedando restringidos a estructuras prominentes como dorsales (dorsal de Alborán), montes submarinos (Seco de los Olivos, Cabliers, Djibouti), montículos de coral, cañones (Guadiaro y Carchuna) y crestas (Muñoz et al. 2008, Würtz 2012, Fink et al. 2013, Rovere y Würtz 2015). Estos hábitats rocosos están principalmente configurados por escleractinias coloniales, así como gorgonias, coral negro y esponjas, los cuales proporcionan una estructura tridimensional donde pueden encontrar refugio y alimento una multitud de especies, considerándose por ello puntos calientes de biodiversidad.





Uno de los hábitats más complejos y sensibles es el estructurado principalmente por escleractinias coloniales (*Madrepora oculata, Desmophyllum pertusum-Lophelia pertusa, Dendrophyllia cornigera*) en zonas expuestas a corrientes constantes con aporte de nutrientes y baja sedimentación (de la Torriente et al. 2014, Gofas et al. 2014a, Rueda et al. 2014, Corbera et al. 2019), configurando **Arrecifes de corales profundos** (LPRE 040303). En algunas ocasiones, otras escleractinias (*Anomocora fecunda, Desmophyllum dianthus, Caryophyllia* spp.) e hidrozoos calcáreos (*Errina aspera*) aparecen como especies acompañantes o conformando hábitats de menor complejidad (**Roca batial con *Errina aspera***, LPRE 04010114; **Roca batial con *Caryophyllia***, no contemplado en LPRE). La comunidad asociada suele estar dominada por esponjas incrustantes y pequeños briozoos, moluscos (*Limopsis angusta, Coralliophila*), braquiópodos (*Megerlia truncata, Terebratula* sp.) y equinodermos (*Ohiothrix* sp.). Otro tipo de hábitat es el configurado por grandes (*Callogorgia verticillata, Viminella flagellum*) y pequeñas gorgonias (*Acanthogorgia hirsuta, Dendrobrachia bonsai, Muriceides lepida, Placogorgia coronata, P. massiliensis, Swiftia dubia* y *Villogorgia bebrycoides*) (**Fondos rocosos profundos con agregaciones de gorgonias**, LPRE 04010101), los cuales muchas veces se encuentran entremezclados con agregaciones de esponjas y/o de antipatarios. En algunas ocasiones, las esponjas dominan y conforman **Fondos rocosos profundos con agregaciones de esponjas** (LPRE 04010103), a veces estructurados por grandes hexactinélidas (*Asconema setubalense*) (**Roca limpia batial con grandes esponjas hexactinélidas (*Asconema setubalense*)**, LPRE 04010106) como en el Seco de los Olivos, Cabliers, Djibouti, y el cañón de Algeciras, o por esponjas de menor porte (*Geodia* sp., *Phakellia robusta, P. ventilabrum, Poecillastra compressa, Pachastrella monilifera*), así como por esponjas incrustantes y esponjas "chupa-chups" (*Podospongia, Crella, Stylocordyla*) (de la Torriente et al. 2014, 2018, Gofas et al. 2014a). Estas pequeñas esponjas pueden ser abundantes en el sustrato formando una densa cobertura bajo esponjas más grandes y gorgonias.

Cuando dominan los corales negros, el hábitat corresponde a **Fondos rocosos profundos con antipatarios** (LPRE 04010102), estando configurado por una o varias especies (*Leiopathes glaberrima, Antipathes dichotoma, Antipathella subpinnata* y *Parantipathes larix*). Algunas especies acompañantes de estos hábitats conformados por gorgonias, esponjas y antipatarios son erizos de mar (*Cidaris cidaris, Gracilechinus acutus*), holoturias (*Holothuria* spp.), ofiuroideos (*Ophiothrix* spp.) y crinoideos (*Leptometra phalangium*), así como diferentes decápodos (*Palinurus mauritanicus, Munida* sp., *P. edwardsii, P. gigliolii*, *P. narval*) (Rueda et al. 2021).

Otro tipo de hábitat lo configuran las agregaciones de la ostra gigante *Neopycnodonte zibrowii* (**Escarpes, paredes y laderas rocosas del mar profundo con *Neopycnodonte zibrowii***, LPRE 04010403) que colonizan paredes verticales y salientes en los bancos de Djibouti (Hebbeln et al. 2009) y Seco de los Olivos (de la Torriente et al. 2014), mientras que las agregaciones más pequeñas de *Neopycnodonte cochlear* se dan a profundidades menores (80-200 m).

## 3.2 Especies

### 3.2.1 Peces y cefalópodos

La demarcación Estrecho-Alborán se caracteriza por una gran diversidad de estructuras y procesos oceanográficos que sugieren una fuerte influencia en los patrones de distribución biológica (Ramírez et al., 2023). Además, la situación geográfica del mar de Alborán favorece la confluencia de fauna de diferentes regiones biogeográficas, lo que se traduce en una biodiversidad relativamente alta en comparación con otras áreas mediterráneas (Gaertner et al. 2007; Templado 2011).

Los peces demersales y bentónicos viven asociados al fondo marino, presentando mayor diversidad de especies que los pelágicos debido a la mayor variedad y complejidad de ambientes de dicho fondo. Su distribución va variando a medida que aumenta la profundidad.

#### 3.2.1.1 Peces pelágicos

La comunidad de peces pelágicos que se encuentra sobre la plataforma continental en la demarcación Estrecho Alborán (ESAL) está compuesta por pequeños y medianos pelágicos. Las especies más representativas de esta comunidad nerítica, por su interés comercial, son el boquerón (*Engraulis encrasicolus*) y la sardina (*Sardina pilchardus*), sin embargo¸ en términos de abundancia sobresalen los pelágicos medianos como el tonino (*Scomber colias*), el jurel atlántico (*Trachurus trachurus*) (Iglesias et al., 2023), además, de otras especies como la alacha (*Sardinella aurita*), la boga (*Boops boops*),el jurel mediterráneo (*Trachurus mediterraneus*), y el jurel azul (*Trachurus picturatus*).

Esta comunidad pelágica se caracteriza principalmente por una gran abundancia de un número limitado de especies. Constituyen un eslabón clave la cadena trófica marina, alimentándose de organismos planctónicos y sirviendo de alimento a depredadores superiores como aves, túnidos o cetáceos. Respecto a su estrategia vital, generalmente son catalogados como estrategas de la r, dado que presentan una vida corta, altas tasas de fecundidad y de crecimiento, lo que les confiere una gran capacidad de resiliencia. Sin embargo, son altamente dependientes del reclutamiento, especialmente los pequeños pelágicos cuya estructura demográfica está basada en muy pocas edades (0, 1 y 2 años en el caso del boquerón, Ventero et al. 2017, y de 0 a 4 años en el caso de la sardina, Iglesias et al., 2023), además de que su esperanza de vida es relativamente corta.

El comportamiento gregario de esta comunidad, formando cardúmenes de día, permite estudiarla mediante el uso de ecosondas científicas. El uso del sonido para el estudio del medio pelágico permite muestrear de una manera sinóptica y poco invasiva grandes áreas marinas en un periodo relativamente corto de tiempo y constituye el método de evaluación de estas poblaciones en el Mediterráneo (Leonori et al, 2021). Los datos recogidos en la campaña de prospección acústica MEDiterranean International Acoustic Surveys (MEDIAS) proporcionan los únicos índices de abundancia independientes de la pesquería de esta comunidad en esta demarcación y aportan información sobre su distribución espacial.

La presencia de pequeños pelágicos está íntimamente ligada a zonas de alta productividad planctónica, como afloramientos costeros o zonas de descargas de ríos (Agostini y Bakun, 2002; Mercado et al.,

2013). En el caso de la demarcación Estrecho Alborán, la zona de influencia de Málaga y Almería constituyen hábitats potenciales para el boquerón (Giannoulaki et al., 2013; Ventero et al., 2022), la sardina (Tugores et al., 2011), y la alacha (Blaya-Valencia et al., 2022). Al igual que pelágicos medianos como jurel mediterráneo y el jurel atlántico (Rodríguez-Castañeda et al., 2022, 2024).

### 3.2.1.2 Peces bentónicos y demersales

En relación a las comunidades de peces demersales y bentónicas de fondos circalitorales y batiales del mar de Alborán, destaca el trabajo de Gil de Sola (1999), con un estudio estacional de la distribución batimétrica y espectros de tamaño de la ictiofauna del mar de Alborán. Se pueden encontrar, asimismo, trabajos relacionados con la actualización de inventarios correspondientes al Mediterráneo ibérico (Lloris *et al*., 2000), u otros con un enfoque sobre varios lugares del Mediterráneo, englobando el mar de Alborán como área de estudio (Gaertner *et al*., 2005; 2007). Posteriormente se encuentran los trabajos de García-Ruiz (2012) y García- Ruiz *et al*. (2015; 2023) centrados en las comunidades, en la diversidad ictiofaunística y en los patrones de distribución de las principales especies ícitas del área de estudio

En la cuenca occidental del mar Mediterráneo se han identificado hasta 40 especies de cefalópodos, distribuidas entre los 10 m de profundidad en el piso infralitoral hasta los 800 m en la zona del talud continental. Las especies de cefalópodos muestran distribuciones variables en función de los rangos de profundidad, algunas prefieren la plataforma continental, otras la zona de transición y otras la pendiente superior del talud (Quetglas, 2000; Sanchez et al, 1998). En el mar de Alborán destaca el trabajo sobre cefalópodos de fondos circalitorales y batiales de González et al. (2002) en los que se analiza el patrón de distribución de dichas especies y su relación con determinados factores ambientales. También el de Ciércoles et al. (2018) sobre moluscos de fondos circalitorales y batiales del mar de Alborán en el que se analizan las comunidades de cefalópodos.

***Fondos Infralitorales***

Los fondos infralitorales de la demarcación suponen aproximadamente unos 460 $Km^2$, de los que el 81% corresponden a fondos blandos siendo los duros minoritarios. La comunidad de peces pelágicos y demersales en el margen norte del mar de Alborán está dominada en número por los individuos de las familias Clupeidae (*Sardina pilchardus*), Engraulidae (*Engraulis encrasicolus*) y Carangidae (*Trachurus trachurus*), y en biomasa por las familias Carangidae (*T. trachurus*), Sparidae (*Pagellus acarne* y *Boops boops*) y Mullidae (*Mullus sp.*), todas ellas con elevados valores de frecuencia en la zona (Hervás 1987). En zonas infralitorales donde predominan los fondos sedimentarios la comunidad de peces asociada está compuesta típicamente por especies de las familias Bothidae (*Bothus podas*, *Arnoglossus thori*), Soleidae (*Buglossidium luteum*), Mullidae (*M. surmuletus*), Torpedinidae (*Torpedo torpedo*, *T. marmorata*), Sparidae (*Lithognathus mormyrus*), Trachinidae (*Trachinus draco*) y diversas especies de la familia Gobiidae entre otras (Calvin Calvo 1995).

El Mediterráneo se presenta como un mar con pocas especies de peces endémicas, ya que la mayor parte de su aporte íctico ha sido recibido del Atlántico y en su parte oriental más recientemente desde el mar Rojo. No obstante, se pueden encontrar endemismos como la *Raja asterias*, *Syngnathus abaster*,





*Gobius strictus*, *Pomatoschistus kneri*, *P. quagga, Pseudaphya ferreri*, *Parablennius incognitus*, *Symphodus rostratus* o *Arnoglossus kessleri* (Hervás 1987).

Los fondos rocosos del piso infralitoral, aunque más escasos que los fondos blandos, presentan una amplia distribución a lo largo de toda la demarcación, aunque existen ciertos sectores (p.e. bahía de Málaga) donde predominan los fondos sedimentarios carentes de sustrato duro representativo. Los núcleos de distribución de los fondos infralitorales rocosos se han localizado en el margen norte de la demarcación, fundamentalmente en los sectores de Tarifa (Cádiz), costa occidental de Málaga, Maro (Málaga)-punta de la Mona (Granada), Calahonda-Castell de Ferro (Granada) y Aguadulce-Almería, así como en Ceuta, la plataforma de la isla de Alborán y las islas Chafarinas en el margen sur.

En aquellos fondos donde predomina el sustrato rocoso aparece una comunidad de peces asociada donde las familias mejor representadas son Labridae, con una gran representación de especies del género *Symphodus*; Sparidae, donde destaca el género *Diplodus* con especies de alto valor comercial; y Serranidae, que incluye especies tan emblemáticas como el mero (*Epinephelus marginatus*). Entre las especies más abundantes y frecuentes de estos fondos se encuentran la castañuela (*Chromis chromis)*, la doncella (*Coris julis*), el fredi (*Thalassoma pavo)* y la vaquita (*Serranus cabrilla)*. Los cefalópodos, aunque también presentes en fondos blandos infralitorales, son especialmente abundantes en aquellos donde aparece sustrato duro que les permite refugiarse y reproducirse, siendo alguna de las especies con carácter más costero *Sepia officinalis*, *Sepia elegans*, *Sepietta obscura*, *Loligo vulgaris*, *Octopus vulgaris* o *Eledone moschata.*

Desde un punto de vista comercial, alguna de las principales especies objetivo de la flota de pesca artesanal y los pescadores recreativos incluyen a *Epinephelus marginatus* (mero), *Epinephelus costae* (falso abadejo), *Scorpaena scrofa* (cabracho), *Sciaena umbra* (corvallo), *Dicentrarchus labrax* (lubina), *Sparus aurata* (dorada), *Diplodus sargus* (sargo), *Mycteroperca rubra* (abade), *M. surmuletus* (salmonete de roca) o la *Phycis phycis* (brótola de roca) y *Octopus vulgaris* (pulpo de roca).

***Fondos blandos circalitorales y batiales***

La campaña MEDITS (co-financiada por IEO y UE, dentro de la DCF) constituye una relevante y consolidada fuente de información sobre especies demersales y bentónicas de fondos circalitorales y batiales Dicha campaña se lleva a cabo desde 1994, sobre fondos blandos arrastrables, entre los 30 y los 800 m de profundidad.

En las campañas MEDITS los peces son las especies que constituyen la mayor parte de las capturas tanto en términos de abundancia (número de ejemplares) (69%) como de biomasa (85%). A lo largo de la serie histórica se han registrado un total de 280 especies ícticas pertenecientes a 3 clases: teleósteos (240 especies pertenecientes a 74 familias); elasmobranquios (39 especies, 14 familias) y holocéfalos (1 especie).

En términos de abundancia, la principal especie capturada es *Capros aper* (teleósteo) con capturas muy elevadas, fundamentalmente, durante los primeros años de campañas y en la zona más occidental, cercana al estrecho de Gibraltar. En términos de biomasa la principal especie es el elasmobranquio *Galeus melastomus*; *Phycis blennoides* (teleósteo) y *Scyliorhinus canicula* (elasmobranquio) son las especies con mayor frecuencia de ocurrencia; ambas especies se consideran euribatas puesto que presentan un amplio un amplio rango de distribución batimétrica.

Se han identificado 4 asociaciones de muestreos (según similitud de las especies capturadas y abundancia de las mismas) relacionadas con la profundidad. Dichas asociaciones coinciden con: Plataforma continental interna (30-100 m), Plataforma continental externa (101-200 m), Talud continental superior (201-500 m) y Talud continental medio (501-800 m). Las especies más representativas de la zona más próxima al litoral, entre los 30-100 m de profundidad, son los teleósteos *Serranus hepatus, Boops boops y Pagellus acarne*. Entre los 101-200 m de profundidad las especies más representativas son *C. aper, S. canicula y M. merluccius*. En el Talud superior (201-500 m) los teleósteos *Coelorhynchus coelorhynchus, P. blennoides y Helicolenus dactylopterus.* Por último, en la zona más profunda, entre los 501-800 m las especies más representativas son *G.melastomus*, y los teleósteos*, Nezumia aequalis y Hoplostethus mediterraneus.*

*M. merluccius* es una de las principales especies demersales del ecosistema del área de estudio siendo una especie altamente explotada en dicha área. Durante la campaña MEDITS ha sido localizada entre los 30 y los 700 m de profundidad, siendo más abundante entre los 100-200 m. Según los datos de dicha campaña, está heterogéneamente distribuida en el área de estudio siendo más abundante en la zona de Almería entre los 100-200 m con ejemplares de pequeño tamaño, por lo que esta constituye una de las zonas de reclutamiento de la especie durante la primavera. En el mar de Alborán esta especie tiene dos picos de reclutamiento, uno en primavera y otro en otoño (Rey y Gil de Sola, 2003).

En cuanto a los índices ecológicos, la riqueza de especies ícticas disminuye con la profundidad siendo mayor en la plataforma continental, seguida del talud superior y por último del talud medio, con valores inferiores a partir de los 700 m de profundidad (García-Ruiz et al., 2015). El intervalo entre los 300 y 500 m se caracteriza por ser un intervalo de transición, ecotono, donde desaparecen determinadas especies, más abundantes en la plataforma, y muestran su presencia aquéllas que son propias del talud continental. La evolución del índice de diversidad de Shannon a lo largo del gradiente batimétrico, obtenido con datos de abundancia, difiere del obtenido con datos de biomasa. El primero es superior en el talud que en la plataforma continental siendo, asimismo, más diverso el talud superior que el talud medio. Con biomasa, a lo largo del gradiente batimétrico, el talud medio es el que presenta menores valores, debido al mayor tamaño de los ejemplares de las principales especies capturadas en dicho intervalo (García-Ruiz, 2015).

Las especies de cefalópodos presentes en los fondos blandos infralitorales y batiales son diversas y abundantes, distribuyéndose atendiendo al componente batimétrico, de forma que a mayor profundidad aparecen especies como *Illex coindetii*, *Neorossia caroli*, *Histioteuthis bonnellii*, *H. reversa*, *Ancistroteuthis lichtensteinii*, *Todarodes sagittatus*, *Brachioteuthis riisei* o *Bathypolypus sponsalis*. También aparece un grupo de especies de amplia distribución batimétrica, pero con mayor abundancia en el borde de la plataforma que son *Sepia orbignyana*, *Sepietta oweniana*, *Rondeletiola minor*, *Rossia macrosoma*, *Abralia veranyi*, *Todaropsis eblanae*, *Octopus salutii*, *Scaergus unicirrhus*, *Pteroctopus tetracirhus* y *Eledone cirrhosa* (González y Sánchez, 2002).

Como consecuencia de esta elevada diversidad de especies se desarrollan una gran variedad de técnicas de pesca, de las cuales la de arrastre de fondo es una de las más utilizadas y la responsable de las mayores capturas de especies demersales y bentónicas en la zona (González et al., 2021). A pesar del carácter multiespecífico de la pesca de arrastre, las principales especies ícticas objetivo de la misma son *Merluccius melurccius* (merluza), *Mullus barbatus* (salmonete de fango) y *M. surmuletus* (salmonete de roca), siendo *Octopus vulgaris* (pulpo de roca) la principal especie objetivo entre los cefalópodos.



### 3.2.2 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. 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 diferenciadas con distintas características que condicionan la presencia de especies. Por un lado, el Estrecho de Gibraltar constituye una importante zona de paso entre el Océano Atlántico y el Mar Mediterráneo, donde se produce la confluencia de las aguas atlánticas superficiales con las mediterráneas más profundas. Por otra parte, el Mar de Alborán se caracteriza por una compleja hidrología con corrientes superficiales atlánticas y aguas mediterráneas profundas, áreas de afloramiento, y una plataforma continental corta, con aguas costeras y profundas relativamente cerca entre ellas.

Los pequeños odontocetos más comunes en la demarcación Estrecho y Alborán son el delfín mular (*Tursiops truncatus*) y el delfín común (*Delphinus delphis*), especies que se alimentan principalmente de peces como los mictófidos o pequeños pelágicos. En el Estrecho de Gibraltar es frecuente también la presencia de orcas (*Orcinus orca*), condicionada por el paso migratorio del atún rojo (*Thunnus thynnus*), su principal presa. Se han definido tres unidades de gestión (UGs) de pequeños odontocetos, dos para el delfín mular, una de ellas la subpoblación presente en el Mar de Alborán (UG05) y la otra aquella residente del Estrecho de Gibraltar (UG06), y una UG para la población de delfín común presente en el Mar de Alborán (UG11). Otras de las principales especies de pequeños odontocetos presentes en la demarcación es el delfín listado (*Stenella coeruleoalba*). Los odontocetos de buceo profundo más frecuentes en la demarcación Estrecho y Gibraltar son el calderón común (*Globicephala melas*) y el zifio de Cuvier (*Ziphius cavirostris*), animales principalmente teutófagos con preferencia por aguas de gran profundidad. Se han designado tres UGs para la evaluación y gestión de estos buceadores profundos, la población de calderón común en el Mar de Alborán y Golfo de Vera (UG14) y la del Estrecho de Gibraltar (UG15), así como la población de zifio de Cuvier del Mar de Alborán y Golfo de Vera (UG17). Otras especies que aparecen en la demarcación son el calderón gris (*Grampus griseus*) y el cachalote (*Physeter macrocephalus*). La presencia de misticetos en esta demarcación corresponde con el paso migratorio del rorcual común (*Balaenoptera physalus*), la cual no se evalúa como UG independiente en esta demarcación.

En el pasado, los cetáceos 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.

En el caso de los pinnípedos, no hay ninguna especie presente en esta demarcación. Hasta hace unos años había registro de la presencia ocasional de algunos ejemplares de foca monje (*Monachus monachus*) que frecuentaban las cercanas islas Chafarinas, pero actualmente ya han desaparecido por completo.

### 3.2.3 Reptiles marinos

Las únicas especies de reptiles marinos que aparecen en aguas europeas son las tortugas marinas. Se trata de animales de gran movilidad cuyas áreas de distribución trascienden los límites de una sola demarcación, con zonas de anidación en playas tropicales y subtropicales del Océano Atlántico y, en el caso de algunas especies, en el Mediterráneo Oriental.





En esta demarcación se encuentran varias especies de tortugas marinas, siendo la tortuga marina común (*Caretta caretta*) y la tortuga laúd (*Dermochelys coriacea*) las más frecuentes. El Mar de Alborán se trata de un área de concentración de tortuga marina común durante todo el año, donde predominan ejemplares de origen atlántico, mientras que la tortuga laúd es más común en la zona del Estrecho de Gibraltar. Ambas especies han sido seleccionadas como indicadoras de su grupo en esta demarcación. Otra especie de tortuga marina que aparece ocasionalmente en la demarcación Estrecho y Alborán es la tortuga verde (*Chelonia mydas*).

La principal amenaza antropogénica a la que se encuentran expuestas las tortugas marinas es la captura accidental en artes de pesca. Otras amenazas incluyen las lesiones por colisiones debidas al tráfico marítimo, la ingestión de desechos marinos, la contaminación, la pérdida del hábitat debido al desarrollo turístico y ocupación de la costa y la industrialización, y otras presiones existentes sobre estas poblaciones fuera del territorio europeo, además del aumento del nivel del mar y el aumento de temperaturas a nivel global que afectan a las playas de anidación y la proporción de sexos en las puestas.

### 3.2.4 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 paíños 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.

### 3.2.5 Especies alóctonas

Las especies alóctonas e invasoras (EAI) introducidas por las actividades humanas son organismos que se mueven a nuevas áreas fuera de su rango de distribución. Una vez introducidas, pueden dispersarse secundariamente por vector humano o por dispersión natural. El continuo incremento de las actividades antropogénicas en el medio marino es crítico por facilitar la introducción y dispersión de las especies alóctonas (Nunes et al., 2014; Campbell et al., 2017), las cuales son consideradas una de las mayores amenazas a la biodiversidad global y a la función ecosistémica (Molnar et al., 2008; Katsanevakis et al., 2014). En el medio marino son numerosos los vectores que facilitan su introducción: aguas de lastre e incrustaciones en embarcaciones, actividades de acuariofilia, acuicultura, apertura de canales interoceánicos, etc. La degradación de los ecosistemas, inducida además por otro tipo de presiones, puede favorecer el asentamiento de las especies alóctonas recién introducidas y potenciar su carácter invasor, al igual que las variaciones ambientales resultantes del actual proceso de cambio climático acelerado (Occhipinti-Ambrogi, 2007).

La determinación del estatus de las especies alóctonas y la certeza de su éxito de establecimiento es un proceso dinámico de investigación que puede conllevar cambios en el estatus y exclusiones en la lista de EAI durante las sucesivas revisiones, por lo que cada evaluación lleva implícita una revisión de dichos conceptos para cada especie. De las EAI registradas en la demarcación marina del Estrecho y Alborán, el 58.59% se clasifica con estatus alóctono (especies con evidencia clara de su origen no nativo y fuertes indicios de un modo de introducción antropogénica). En relación al éxito de establecimiento, el 43.88% corresponde a especies establecidas, con un porcentaje del 14.29% de especies consideradas invasoras. En general, los grupos taxonómicos dominantes de EAI en la demarcación son los crustáceos (23.08%), seguidos por macroalgas (22.12%), anélidos (15.38%) y cordados (13.46%) —entre los cuales los peces suponen un 50%—.

Durante las últimas décadas han llegado especies de manera natural desde los mares adyacentes, o introducidas por actividades humanas desde mares más alejados. Entre las introducciones más destacables en la demarcación marina del Estrecho y Alborán se encuentra el alga invasora *Rugulopteryx okamurae* (E.Y.Dawson) I.K.Hwang, W.J.Lee & H.S.Kim, 2009, cuya llegada ha supuesto en los últimos años un cambio drástico en el fondo del piso infralitoral de la demarcación (García-Gómez et al., 2020), generando un alto impacto ecosistémico y socio-económico. El vector de introducción primaria del alga asiática, procedente del Pacífico noroccidental, se asocia al transporte marítimo por aguas de lastre. Secundariamente, se ha continuado dispersando por corrientes superficiales que cruzan el Estrecho (Mateo-Ramírez et al., 2023) y por transporte accidental en redes de pesca (Báez et al., 2023). Los estudios realizados en el área del Estrecho destacan la alta competitividad de *R. okamurae* (más del 90% de cobertura entre 10 y 20 m de profundidad), la cual es capaz de desplazar a otras macroalgas invasoras previamente establecidas y ocasionar un severo impacto sobre la macrobiota nativa sésil (García-Gómez et al., 2020). La macroalga introducida es una especie formadora de hábitat que puede incrementar la complejidad de éste e influir, por tanto, en la diversidad y abundancia de las comunidades macrofaunales asociadas (Navarro-Barranco et al., 2019). *Rugulopteryx okamurae* contiene sesquiterpenos y otros compuestos bioactivos antiherbívoros (Paula et al., 2011), lo que podría influir en su alto comportamiento invasor.

Por otro lado, cabe destacar la presencia del cangrejo azul *Callinectes sapidus* Rathbun, 1896, especie nativa del Atlántico occidental y considerada una de las especies más invasoras en el Mar Mediterráneo (Streftaris y Zenetos 2006). En España ha colonizado estuarios y lagunas costeras salobres, llegando a expandirse por los fondos someros de fango y arena del litoral. La causa más probable de su introducción es el transporte marítimo por aguas de lastre, junto a la dispersión natural de las larvas con las corrientes superficiales (González-Ortegón et al., 2020; Png-Gonzalez et al., 2021). Además de la gran capacidad de dispersión y la tolerancia a diversos factores ambientales (Nehring, 2011), el cangrejo azul tiene un comportamiento altamente invasor, pudiendo impactar en las comunidades

bentónicas a diferentes escalas tróficas y competir con especies nativas (Mancinelli et al., 2017). En el litoral ibérico puede suponer un problema económico para el sector pesquero local en zonas donde ya se ha establecido, ya que daña las redes de pesca y los cultivos comerciales de almeja (López y Rodon, 2018). No obstante, en la demarcación ya se considera un valioso recurso pesquero que se vende en los mercados locales.

Concretamente, los vectores ligados al tráfico marítimo cobran especial relevancia en la demarcación del Estrecho y Alborán por el flujo continuo entre el Mar Mediterráneo y el Océano Atlántico a través del Estrecho de Gibraltar, suponiendo la introducción del 60% de las especies alóctonas registradas. En la actualidad, un aspecto importante a tener en cuenta es la introducción secundaria por dispersión natural de las especies procedentes del Mar Rojo que llegan al Mar Mediterráneo a través del Canal de Suez y se expanden desde la cuenca oriental, como es el caso del pez corneta *Fistularia commersonii* (Azzurro et al., 2013).

Además de la introducción de especies por actividades humanas, el calentamiento global está modificando las respuestas de las comunidades biológicas marinas a través de cambios en la distribución y abundancia de las especies. El calentamiento del agua y la localización geográfica de la demarcación favorece la llegada natural de especies alóctonas de origen tropical o subtropical, procedentes predominantemente de la costa africana noroccidental, en un proceso conocido como “tropicalización” (Bianchi y Morri, 2003). Paralelamente, el aumento de especies nativas de aguas cálidas se define como “meridionalización” (Bianchi et al., 2018). Un ejemplo de tropicalización en la demarcación es el salmonete barbudo *Pseudupeneus prayensis* (Mercader, 2002), nativo del Atlántico este (desde el sur de Marruecos hasta Angola, incluyendo Cabo Verde), cuyo registro en el Mar Mediterráneo es ocasional, pero cada vez más frecuente (Azzouz et al., 2011). Del proceso de meridionalización podemos resaltar el caso del pez loro *Sparisoma cretense*, autóctono de las aguas cálidas del sur y este del Mediterráneo que se está expandiendo hacia la cuenca occidental (Esposito et al., 2021).

## 3.3 Principales stocks pesqueros

***Pequeños pelágicos***

Las especies con mayor interés económico capturadas por la flota cerco son la sardina (*Sardina pilchardus*) y el boquerón o anchoa (*Engraulis encrasicolus*), que además representan el porcentaje más elevado en las capturas totales de la demarcación. Otras especies con menor interés, pero que en ocasiones también pueden representar un porcentaje elevado de las capturas son el jurel blanco (*Trachurus mediterraneus*), el chicharro (*Trachurus trachurus*), el estornino o tonino (*Scomber colias*), la alacha (*Sardinella aurita*) y la paparda o alcrique (*Scomberesox saurus saurus*).

A lo largo de la serie temporal desde el año 2002 al 2022 las capturas de boquerón y las de sardina han presentado tendencias opuestas (Figura 27).

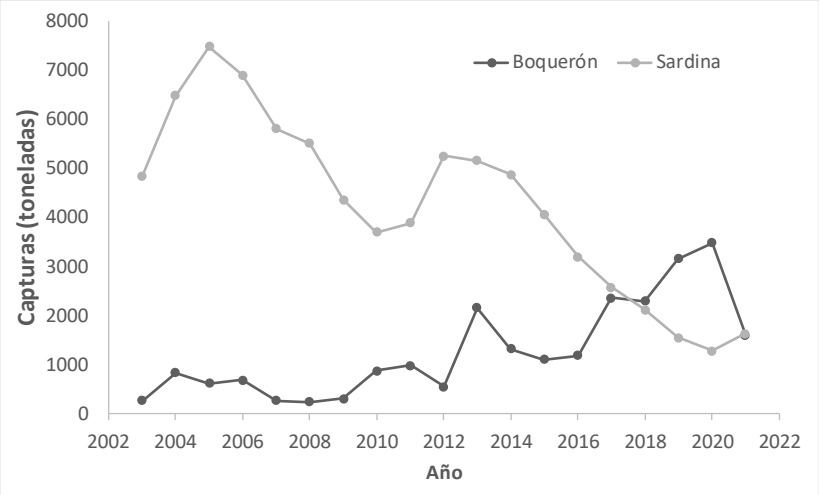



*Figura 27. Serie histórica de desembarcos de sardina y boquerón en el mar de Alborán en el periodo 2002-2022.*

***Especies demersales (o de fondo):***

Se caracterizan por la naturaleza multiespecífica (peces, crustáceos y moluscos) de sus capturas. Existen dos tipos de pesquerías:

1) La pesca artesanal que se dedica a la explotación de especies muy cercanas a la costa. Los métodos más usados son principalmente: los palangres, las redes de enmalle, las trampas (nasas) y las dragas. Las especies capturadas de forma más común por esta flota artesanal son: pulpo (*Octopus vulgaris*), sepia (*Sepia officinalis*), salmonetes (2 especies) , merluza (*Merluccius merluccius*), aligote, besugo blanco o agilote (*Pagellus acarne*), escórparas (varias especies), sargo (*Diplodus sargus*), pargo (*Pagrus pagrus*), marbre (*Lithognathus mormyrus*), lubina (*Dicentrarchus labrax*), congrio (*Conger conger*), dentón, sama o déntol (*Dentex dentex*), chirla (*Chamelea gallina*), corruca (*Acanthocardia tuberculata*), concha fina (*Callista chione*) y coquina (*Donax trunculus*).

2) La pesquería de arrastre es la que proporciona el mayor volumen de las capturas de especies demersales, y se lleva a cabo en fondos entre 50 y 750 metros de profundidad. Las principales especies objetivo dependen de su distribución batimétrica. En la plataforma más somera (de 50 a 100 m de profundidad): el salmonete de fango (*Mullus barbatus*), el pulpo (*Octopus vulgaris*) y el aligote, besugo blanco o agilote (*Pagellus acarne*). En la plataforma más profunda (de 100 a 200 m de profundidad): la merluza (*Merluccius merluccius*), el rape (*Lophius budegassa*) y la pintarroja (*Scyliorhinus canicula*). En

el talud superior (de 200 a 350 m de profundidad): la gamba blanca (*Parapanaeus longirostris*), bacaladilla (*Micromesistius poutassou*) y la cigala (*Nephrops norvegicus*), aunque esta última no representa un volumen tan alto de capturas. Y en talud medio (de 350 m a 750 m profundidad): la gamba roja (*Aristeus antenatus*) y la brótola (*Phycis blennoides*).

La evolución de las capturas de las principales especies objetivo de la flota de arrastre (gamba roja, gamba blanca, merluza y salmonete de fango) en el mar de Alborán (GSA01), y las capturas de gamba roja en la Isla de Alborán (GSA02) se muestra en la Figura 28. En los últimos años de la serie se observa una disminución de las capturas de merluza y un aumento de la gamba blanca en la GSA01.

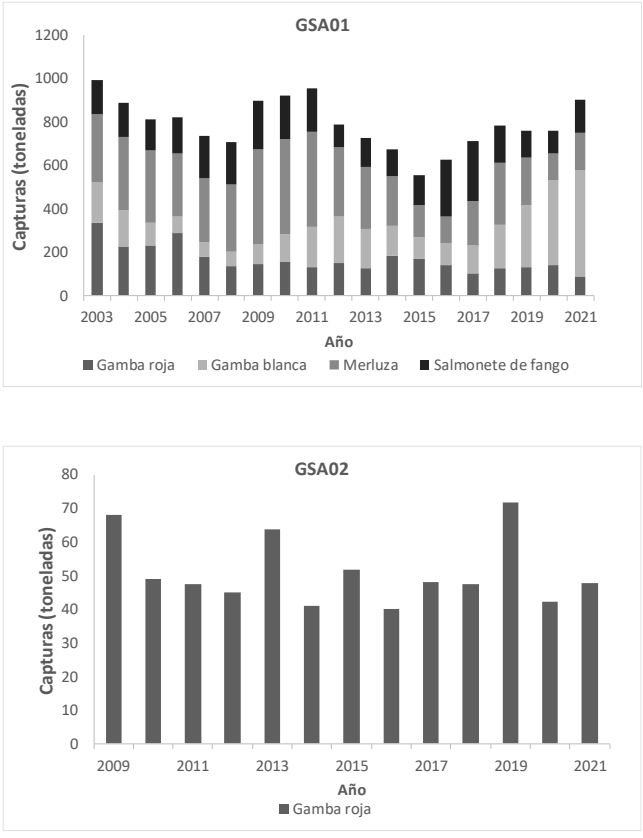



*Figura 28. Serie histórica de desembarcos de las principales especies demersales (gamba roja, gamba blanca, merluza y salmonete de fango) en la GSA01 (mar de Alborán) en el periodo 2002-2022 y de la gamba roja en la GSA01 (Isla de Alborán).*

**Túnidos**: Las principales especies de atunes capturadas en el mar de Alborán, según el volumen de capturas, incluyen el atún rojo (*Thunnus thynnus*) y otros túnidos de pequeño tamaño como la melva (*Auxis rochei*) y el bonito del sur (Sarda sarda). En cuanto a especies afines está el pez espada (*Xiphias glaudius*). Los métodos de pesca más comunes para la pesca de túnidos son el cerco, el palangre de superficie, las almadrabas y otras técnicas tradicionales altamente selectivas, como la línea de mano el curricán, el cebo vivo

## 3.4 Redes tróficas

La **ecología trófica** es la rama de la ecología que se ocupa del estudio de las relaciones depredador-presa en el ecosistema. Una de sus ideas fundacionales es que las relaciones entre distintas especies en el ecosistema conforman su estructura y, en su conjunto, son necesarias para mantener la productividad y la estabilidad del ecosistema. Las relaciones que un depredador establece con sus presas conforman su **nicho trófico**, el cual define el lugar que ocupa dicha especie dentro del ecosistema. Este nicho trófico complementa al nicho ambiental, los cuales definen respectivamente las condiciones necesarias de alimentación y de medio ambiente para la supervivencia de las especies (Elton, 1927).

Las **redes tróficas** son la manera más fácil y directa de definir la estructura de los ecosistemas y, de hecho, en el caso particular de los ecosistemas marinos, esta estructura responde fuertemente al tamaño de los individuos. Los productores primarios, situados en la base de la cadena trófica y que obtienen su energía a partir de fuentes inorgánicas como el sol y los nutrientes, son generalmente de pequeño tamaño y se encuentran en gran abundancia, mientras que los depredadores apicales, en la cúspide, son las especies más grandes y menos abundantes (Figura 29a). Así, los flujos de materia y energía entre todas las especies del ecosistema se podrían estimar al identificar las relaciones depredador-presa que se dan en el mismo; desde los productores primarios, a través de los consumidores secundarios y los mesopredadores, hasta los depredadores apicales (Figura 29b). Por otra parte, a la hora de explicar los patrones de distribución y abundancia de las especies dentro de la comunidad se hace necesario destacar que las relaciones entre especies tienen tanta importancia como los factores ambientales. Por ejemplo, para aquellas especies de interés comercial, conocer cuáles son sus depredadores y presas es esencial para llevar a cabo una gestión pesquera sostenible a nivel del ecosistema.

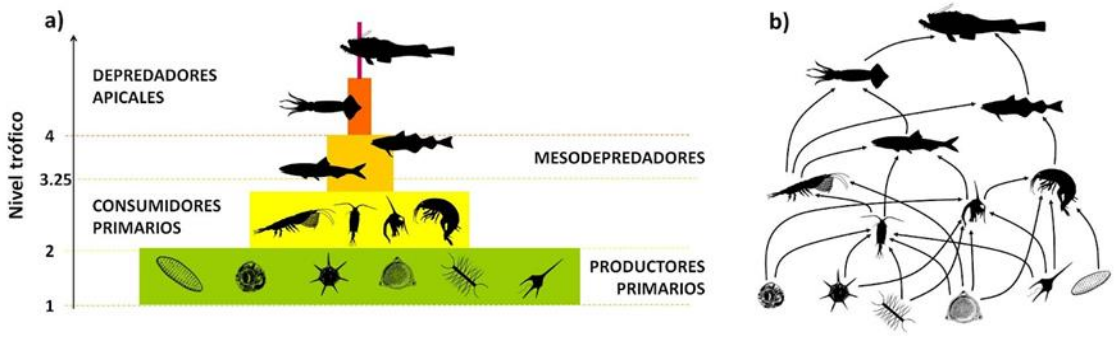



*Figura 29. Ejemplo de pirámide trófica marina – Figura 1b. Ejemplo de red trófica marina*

Las redes tróficas constituyen además canales a través de los cuales se pueden transferir y amplificar distintas presiones, afectando indirectamente a especies sin aparente relación con el impacto. A este fenómeno se le denomina **cascada trófica** y ocurre cuando un cambio en la abundancia de una o varias especies repercute en otras con las que no están directamente relacionadas. Así, conocer la estructura

de las redes tróficas es también esencial para evaluar los posibles efectos de las presiones a nivel de todo el ecosistema, y gestionar estos impactos de forma que se puedan conservar las funciones y servicios que los ecosistemas nos proporcionan. Sin embargo, determinar las relaciones tróficas entre especies no es una tarea sencilla ya que para poder cuantificar detalladamente su dieta es necesario analizar su contenido estomacal o sus heces. Por tanto, es a través del estudio de la alimentación que se pueden estudiar los mecanismos biológicos de interacción entre especies, entre los que destacan la depredación y la competencia, tanto entre especies como dentro de una misma.

Un paso crítico en el estudio de las redes tróficas marinas es el diseño de la estrategia de muestreo. Para diseñar una estrategia de estudio trófico que represente de forma realista la riqueza y diversidad del ecosistema, es preciso contar con unos criterios objetivos que permitan definir los siguientes aspectos: qué especies son más representativas, bien por abundantes o bien por su función en el ecosistema; qué zonas representan mejor la heterogeneidad espacial; y qué frecuencia permite identificar cambios trascendentes en la estructura del ecosistema. Los estudios llevados a cabo para la evaluación de las redes tróficas en la demarcación Estrecho y Mar de Alborán se llevan a cabo durante las campañas MEDITS GSA1-2, que se realizan en primavera desde 1994. La campaña de arrastre demersal se realiza a través de fondos blandos entre 40 y 800 metros de profundidad. En estas campañas se estudia la dieta de un set de 18-20 especies de peces a través del análisis de contenidos estomacales, la metodología clásica en ecología trófica. Se trata de un método muy tedioso que requiere un amplio conocimiento taxonómico de una enorme diversidad de grupos. Este método además se complica para consumidores/depredadores pequeños, ya que sus presas son aún más pequeñas y requieren del uso continuado de microscopía óptica para su identificación. Es por ello que en el equipo se han ido incorporando nuevas metodologías en ecología trófica, como el análisis de isótopos estables (López-López et al., 2017; Preciado et al., 2018), el modelado ecosistémico (López-López, 2017; Corrales et al., 2022), o la metagenómica para caracterizar las dietas de algunas especies. Sin embargo, a pesar que estas metodologías pueden proporcionar información de la dieta de las especies más rápidamente que la microscopía, tienen un coste más elevado lo que impide su aplicación de forma generalizada. Por tanto, la incorporación de estos nuevos métodos requiere de una meditada y cuidadosa calibración entre métodos para asegurar que, independientemente del método usado, los resultados sean equiparables para las distintas especies.

Las redes tróficas marinas de la demarcación Estrecho y Mar de Alborán están fuertemente determinadas por la influencia Atlántica y la entrada de agua superficial a través del Estrecho de Gibraltar. El funcionamiento del Mediterráneo occidental como cuenca de concentración supone un déficit hídrico que fuerza la entrada de agua superficial (AW). Esta influencia atlántica se extiende de Oeste a Este y prolonga su influencia hasta el Cabo de Gata. De esta forma, a pesar de que no hay grandes aportes de aguas continentales en la demarcación, el *chorro atlántico* proporciona nutrientes que dotan de una elevada productividad a los diferentes ecosistemas presentes en la demarcación. Por otra parte, la compleja topografía submarina condiciona la circulación de la masa de agua que penetra por el estrecho y ayuda a distinguir entre diferentes sub-cuencas. La geomorfología y la topografía de la demarcación es compleja con abundantes cañones y cordilleras. Otro aspecto a destacar que determina la naturaleza de los ecosistemas es la estrechez de la plataforma continental, que oscila entre los 2 y los 10 km de anchura y no supera los 150 metros de profundidad.

Los ecosistemas de esta demarcación se caracterizan por un alto grado de productividad, debido fundamentalmente a la entrada de nutrientes provenientes de las masas de aguas Atlánticas. Estos

nutrientes son los responsables de una alta biomasa vegetal en la base de la cadena trófica. La naturaleza de estos sistemas vegetales determina la diferenciación de dos grandes zonas:

- Área occidental e Isla de Alborán: con una fuerte influencia atlántica y presencia de macroalgas con gran desarrollo vertical, como es el caso de las algas laminarias que llegan a producir formaciones de bosques de kelp. La presencia de fuertes y continuos afloramientos generan áreas de gran productividad. Los cetáceos marinos desempeñan un papel importante en el ecosistema.
- Área oriental: en esta zona la influencia atlántica se va diluyendo progresivamente y con ello la elevada productividad. Las formaciones de laminarias y algas de gran desarrollo vertical se van sustituyendo progresivamente por praderas de fanerógamas.

Se trata por tanto de una demarcación con unos ecosistemas muy productivos para el estándar Mediterráneo. Las comunidades que forman sus ecosistemas se caracterizan por una elevada biomasa vegetal y animal con una destacable presencia de invertebrados marinos y una alta diversidad. La confluencia de aguas atlánticas y mediterráneas convierten a la zona de Estrecho-Alborán en una región de ecotono, un espacio de transición entre dos ecosistemas, donde coexisten tanto especies atlánticas como especies propiamente mediterráneas. Esta elevada diversidad específica provoca a su vez una complejidad en las relaciones tróficas y en el flujo de energía a lo largo de sus diferentes niveles tróficos.

En la demarcación Estrecho-Mar de Alborán los depredadores apicales más comunes en las comunidades bento-demersales son el tiburón *Galeus melastomus*, la merluza *Merluccius merluccius*, el rape *Lophius budegassa* y el calamar *Todarodes sagittatus*. Los mesopredadores están bien representados por el salmonete de fango *Mullus barbatus*, los espáridos del género *Pagellus*, los macrúridos, el pulpo *Octopus vulgaris*, la pota *Illex coindetii* y las gambas como como *Parapenaeus longirostris*. Por último, los consumidores primarios están bien representados por *Capros aper* o el pepino de mar *Parastichopus regalis*. Los pequeños peces pelágicos, debido a la falta de aportes continentales en la demarcación, carecen de la relevancia que poseen en la mitad norte de la demarcación levantino-balear. Es importante resaltar que productores primarios alóctonos de naturaleza invasora como *Rugulopteryx okamurae*, están provocando alteraciones significativas en los ecosistemas que colonizan y deben ser considerados, por lo tanto, agentes potenciales de cambios en la estructura trófica de estos.

El estudio de las redes tróficas en la demarcación Estrecho y Mar de Alborán se ha basado en datos provenientes de los fondos sedimentarios de la plataforma continental, y por tanto, el programa de seguimiento tiene el reto de integrar otros hábitats de gran importancia para el ecosistema como son el hábitat pelágico, donde se concentran las mayores biomasas de peces y otros organismos marinos (Belgrano et al., 2013), el hábitat infralitoral, en fondos más someros (< 50 m) y que son los que acumulan un mayor número de presiones antropogénicas por su cercanía a la costa (Halpern et al., 2008), o los fondos rocosos, que presentan una mayor dificultad en la obtención de muestras.

Por otra parte, el enfoque de los estudios de ecología trófica ha estado muy centrado en especies de alto nivel trófico y valor comercial, por lo que la dieta de especies de invertebrados, de gran importancia en el ecosistema, no se ha caracterizado todavía. Por tanto, la base de datos y el seguimiento del ecosistema que se realiza en la actualidad no solo están sesgados hacia el estudio de los peces, sino específicamente hacia aquellos peces de mayor tamaño y estadios adultos, por lo que para implementar una visión realmente ecosistémica se hace necesario que el análisis también incluya

a invertebrados y peces de pequeño tamaño altamente relevantes en las redes tróficas. Otro reto identificado hasta la fecha es la ausencia de una correcta caracterización estacional, ya que las campañas de evaluación de recursos demersales tienen lugar de manera sistemática en primavera. Estos cambios estacionales podrían ser especialmente relevantes en el contexto actual de calentamiento global, donde uno de los impactos apunta a cambios en la fenología de las especies, es decir, adelantos o retrasos en la estacionalidad de momentos clave de sus ciclos de vida, como migraciones o periodo reproductivo, lo que afectaría a sus necesidades nutricionales y potencialmente a su dieta a lo largo del año (Sydeman y Bograd, 2009). Mejorar la caracterización estacional, al menos para algunas de las principales especies del ecosistema, supondría una mejora sustancial en el estudio de las redes tróficas marinas de la demarcación, permitiendo el desarrollo de indicadores como respuesta al calentamiento global, una de las mayores presiones a las que se enfrentan nuestros ecosistemas marinos.

Es importante destacar que el seguimiento y evaluación de las redes tróficas marinas, desarrollado en las últimas décadas, permite trazar la historia ambiental de los ecosistemas marinos en respuesta a las diferentes presiones humanas, en particular a la actividad pesquera. No obstante, dado que las actividades humanas forman parte integral de los ecosistemas, y por ende de las redes tróficas marinas, la definición del buen estado ambiental requiere, más que la referencia a un estado prístino, la incorporación de unos niveles de actividad sostenible, es decir, capaces de mantener una estructura del ecosistema que asegure no solo sus funciones y servicios ecosistémicos, sino también la resiliencia del sistema frente a otros impactos. A día de hoy, no se tiene aún la capacidad para definir dichos niveles umbral en los indicadores de redes tróficas que permitan asegurar dichas funciones y servicios ecosistémicos para las generaciones actuales y futuras. Sin embargo, en base al conocimiento actual, sí es posible evaluar cambios relativos en estos indicadores con respecto a la evaluación inicial y, de esta forma, estimar si los cambios espacio-temporales en los indicadores suponen una mejora, una degradación o un cambio no significativo en las redes tróficas estudiadas.

Uno de los impactos de los que se tiene más evidencias científicas es el debido a la actividad pesquera. La presión pesquera ejerce en la demarcación Estrecho y Alborán un impacto directo en la estructura de las redes tróficas. Ante la situación de sobrepesca en estos caladeros, el Plan Plurianual para las Pesquerías en el Mediterráneo ha establecido una bajada gradual del esfuerzo de pesca y un aumento de las áreas protegidas. Los análisis realizados apuntan a que estas redes tróficas han experimentado una recuperación de la riqueza trófica que ha sido en gran parte debida a una mejora en la base de la red y, por lo tanto, a la evolución de las especies de bajo nivel trófico. Aunque los efectos sobre las redes tróficas de un ecosistema marino bajo niveles de intensidad de explotación pesquera débiles o moderados pueden no ser apreciables, un esfuerzo pesquero intenso generalmente simplifica y debilita la estructura de dichas redes tróficas. La mayor parte de las pesquerías tiene por objetivo especies grandes con niveles tróficos elevados, las cuales generalmente se caracterizan por tener ciclos de vida largos y reproducirse a una edad tardía, por lo que su pesca selectiva suele impedir una tasa de reposición sostenible. De este modo, se erosionan las redes tróficas marinas desde su extremo apical, un proceso que se acentúa en condiciones de sobrepesca, disminuyendo en su conjunto el nivel trófico medio del ecosistema (Figura 30). Asimismo, como consecuencia de este proceso se podrían observar tres tipos de cambios de comportamiento en las pesquerías, que a su vez tendrían nuevas consecuencias en el ecosistema: i) la incorporación secuencial de especies de menor nivel trófico en las pesquerías, ii) la incorporación de especies con alto nivel trófico que no habían sido capturadas previamente y/o iii) la expansión de las pesquerías hacia aguas más profundas o lejanas con la inclusión

de nuevas especies de niveles tróficos elevados. Haciendo un símil en el que ecosistema fuese un edificio cuyas vigas son cada una de sus especies que lo conforman; si cierta especie desaparece o se debilita (por ejemplo, al disminuir su abundancia) el ecosistema se podría tambalear o, incluso, desplomarse. En este caso, las vigas maestras, las que controlan la estructura de todo el ecosistema, serían las denominadas especies clave. Por todo ello, el seguimiento de las medidas recientemente implementadas será imprescindible con el fin de evaluar su eficacia en la recuperación de los ecosistemas sobreexplotados. En este sentido, la monitorización del estado de las redes tróficas de estos ecosistemas puede ser una herramienta muy útil en este propósito.

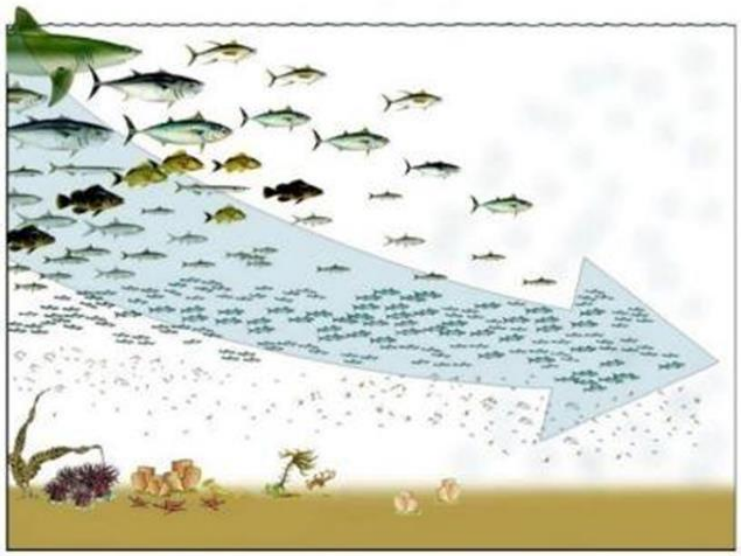


*Figura 30. Representación del proceso de simplificación de redes tróficas como consecuencia de la pesca selectiva de depredadores apicales (Pauly et al., 1998)*

Finalmente, es importante destacar que el estudio de las redes tróficas marinas (Descriptor 4 de la Directiva) está directa o indirectamente relacionado con otros descriptores. Teniendo en cuenta todo lo mencionado con anterioridad queda patente que cualquier cambio en la abundancia y distribución de una especie dada afectará directa o indirectamente a otras especies, y por tanto a la cadena trófica. Existe una clara sinergia con el Descriptor 1 de Biodiversidad. Todo lo que afecte a las especies y el hábitat en el que viven influye directa o indirectamente en las redes tróficas marinas. La relación con el Descriptor 3 (Especies explotadas) queda patente por la relación directa que la presión pesquera ejerce sobre estas poblaciones y su influencia en último término sobre el funcionamiento global de las redes tróficas. La relación con otros descriptores no es tan directa, sin embargo, la introducción de especies alóctonas (Descriptor 2) puede afectar en gran medida a la estructura de una cadena trófica por el posible desplazamiento/sustitución de una especie clave autóctona por una invasora, pudiendo llegar a alterar potencialmente el funcionamiento del ecosistema. Asimismo, el grado de eutrofización de las aguas y la introducción de nutrientes (Descriptor 5) afecta a la abundancia y composición del fitoplancton que representan la base de la cadena trófica. Por su parte, las alteraciones hidrográficas (Descriptor 7), la contaminación (Descriptores 8, 9), basuras marinas (Descriptor 10) y la introducción de ruido (Descriptor 11) aunque de manera más tangencial, pueden en último término influir a través de los efectos cascada ya mencionados en la estructura y funcionamiento de las redes tróficas. La comprensión de esta





complejidad intrínseca de los ecosistemas marinos representa uno de los mayores desafíos científicos, políticos y sociales de los próximos años.

04



# HERRAMIENTAS DE PROTECCIÓN

# 4. HERRAMIENTAS DE PROTECCIÓN

La conservación del mar y de sus ecosistemas más frágiles y singulares es una obligación recogida en la Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar, aprobada en 1982. En muchos casos, no sólo la pérdida y/o la degradación de los hábitats conlleva la necesidad de figuras de protección, sino que ciertos ecosistemas, comunidades o elementos biológicos o geológicos del medio marino, en razón de su rareza, fragilidad, importancia o singularidad, merecen una protección especial.

## 4.1 Especies protegidas

La protección legal de especies animales y vegetales amenazadas y/o en declive se proporciona a través de los denominados "listados de protección". A nivel internacional, los principales listados de protección para especies mediterráneas fueron publicados en los convenios de Barcelona (BOE-A-1999-24061 y sucesivas enmiendas) y de Berna (BOE-A-1986-25961 y sucesivas enmiendas). Además, la Directiva Hábitats (92/43/CEE) representa actualmente una de las principales herramientas internacionales para la protección medio-ambiental, facilitando listados de hábitats (Anexo I) y de especies de interés comunitario (Anexo II), que obliga a que se adopten medidas para restaurarlos y/o mantenerlos en un estado favorable.

A nivel nacional, una de las herramientas legales y administrativas para la conservación de la biodiversidad es el Real Decreto 139/2011 del 4 de febrero de 2011 (y sucesivas enmiendas, Orden TED/339/2023), por el que se desarrolla el Listado de Especies Silvestres en Régimen de Protección Especial y el Catálogo Español de Especies Amenazadas (BOE nº 46, 23 de febrero de 2011). En estos listados se incluyen determinadas especies de algas e invertebrados marinos para las cuales se han establecido diferentes figuras de protección.

En referencia a las especies protegidas de la demarcación marina del Estrecho y Alborán (ESAL), se han publicado recientemente una serie de trabajos científicos en los que se recopila la información sobre el estatus de protección de estas especies (Rueda et al. 2021, Templado et al. 2021) y su presencia en las diferentes Áreas Marinas Protegidas (AMPs) (Mateo-Ramírez et al. 2021 y tabla publicada en Zenodo - https://doi.org/10.5281/zenodo.4475431). Por otra parte, la Consejería de Sostenibilidad, Medio Ambiente y Economía Azul de la Junta de Andalucía desarrolla desde 2004 el "Programa de Gestión Sostenible del Medio Marino Andaluz" con el objetivo de abordar de forma coordinada las actividades encaminadas a la conservación y desarrollo sostenible del litoral y fondos marinos. Este programa ha generado una serie de informes donde se reflejan los resultados obtenidos anualmente para la conservación y desarrollo sostenible del litoral y fondos marinos. (https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal/landing-page-documento/-/asset_publisher/jXKpcWryrKar/content/informes-regionales-sobre-gesti-c3-b3n-sostenible-del-medio-marino-andaluz-2008-2018-/20151).

### 4.1.1 Algas y fanerógamas marinas

En ESAL, las comunidades vegetales se caracterizan por la presencia de una o varias especies dominantes con nichos ecológicos estrechos que poseen un elevado valor, junto con otras (especies subordinadas) con nichos más amplios. Algunas especies presentan un amplio margen de tolerancia a determinadas condiciones ambientales, por lo que presentan una mayor amplitud batimétrica y

pueden observarse como especies comunes en distintas comunidades (Flores-Moya et al. 2021). Entre esta alta diversidad hay registradas más de una veintena de especies que figuran en convenios y/o listas nacionales e internacionales de protección de la flora marina (Tabla 1). Se pueden destacar especies de algas estructurantes como las del género *Cystoseira*, que viven en el mesolitoral inferior y el infralitoral superior de modo batido, las algas coralináceas formadoras de los fondos de rodolitos o maërl como *Phymatolithon calcareum* y *Lithothamnion corallioides*, y las angiospermas marinas *Posidonia oceanica*, *Cymodocea nodosa*, *Zostera marina* y *Nanozostera noltei*.

*Tabla 1 Algas y angiospermas marinas incluidas en convenios, catálogos o listas nacionales e internacionales de protección de flora marina amenazada presentes en la demarcación marina del Estrecho y Alborán.*

| Especies | FIGURAS DE PROTECCIÓN NACIONAL E INTERNACIONAL | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | HD | BC | BeC | BoC | CE | LESRPE | UICN |
| **Algas** | | | | | | | |
| *Cystoseira abies-marina* | | II | | | | X | |
| *Cystoseira amentacea* | | II | I | | | X | |
| *Cystoseira baccata* | | II | | | | X | |
| *Cystoseira brachycarpa* | | II | | | | X | |
| *Cystoseira crinita* | | II | | | | X | |
| *Cystoseira foeniculacea* | | II | | | | X | |
| *Cystoseira humilis* | | II | | | | X | |
| *Cystoseira mediterranea* | | II | I | | | X | |
| *Cystoseira nodicaulis* | | II | | | | X | |
| *Cystoseira sedoides* | | II | I | | | X | |
| *Cystoseira spinosa* | | II | I | | | X | |
| *Cystoseira tamariscifolia* | | II | | | | X | |
| *Cystoseira usneoides* | | II | | | | X | |
| *Cystoseira zosteroides* | | II | I | | | X | |
| *Laminaria ochroleuca* | | | I | | | | |
| *Laminaria rodriguezii* | | II | I | | | X | |
| *Lithophyllum lichenoides* | | II | I | | | | |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| *Lythophyllum byssoides* | | II | I | X | |
| *Phymatolithon calcareum* | V | | | | |
| *Sargassum acinarium* | | II | | X | |
| *Sargassum flavifolium* | | II | | X | |
| *Sargassum hornschuchii* | | II | | X | |
| *Sargassum trichocarpum* | | II | | X | |
| *Sphaerococcus rhizophylloides* | | II | | X | |
| **Angiospermas marinas** | | | | | |
| *Posidonia oceanica* | | II | I | X | LC- |
| *Zostera marina* | | II | I | X | LC- |
| *Nanozostera noltei* | | II | | X | LC- |
| *Cymodocea nodosa* | | II | I | X | LC |

HD: Directiva Hábitats; BC: Convenio de Barcelona; BeC: Convenio de Berna; BoC: Convenio de Bonn; CE: Catálogo Nacional de Especies Amenazadas; LESRPE: Listado de Especies Silvestres en Régimen de Protección Especial; UICN: Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza; LC: Preocupación Menor; VU: Vulnerable; -: Población en disminución; Sin símbolo: Población estable; X: Presente en el listado; I: Anexo I; II: Anexo II, V: Anexo V.

### 4.1.2 Invertebrados

Entre los invertebrados presentes en la demarcación ESAL hay registrados más de 70 especies incluidas en convenios, catálogos o listas nacionales e internacionales de protección de fauna marina amenazada, y en muchos casos amparadas por leyes nacionales e internacionales que les ofrecen un estatus legal de protección (Tabla 2).

Entre los invertebrados catalogados más sobresalientes de la demarcación se puede mencionar al equinodermo *Centrostephanus longispinus* en el Anexo IV de la Directiva Hábitats, el coral *Astroides calycularis*, y los gasterópodos *Charonia lampas* y *Dendropoma lebeche* (anteriormente conocido como *D. petraeum*; Templado et al. 2016), todos ellos como "vulnerables", o la lapa del Mediterráneo *Patella ferruginea* como "en peligro de extinción" en el Catálogo Español de Especies Amenazadas (CEEA), así como la escasa porcelana *Luria lurida* ("en peligro de extinción" en el Convenio de Barcelona) y la nacra *Pinna nobilis* (incluida en el Anexo IV de la Directiva Hábitat y en el Anexo II del Protocolo ZEPA/BD). En las cuevas submarinas y fondos duros, aparecen diferentes gorgonias como *Ellisella paraplexauroides*, incluida en el LESRPE y en el Anexo II del Convenio de Barcelona.





*Tabla 2. Invertebrados incluidos en convenios, catálogos o listas nacionales e internacionales de protección de fauna marina amenazada presentes en la demarcación marina Estrecho y Alborán.*

| Taxones | FIGURAS DE PROTECCIÓN NACIONAL E INTERNACIONAL | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | HD | BC | BeC | BoC | CE | LESRPE | OSPAR | UICN |
| **Poríferos** | | | | | | | | |
| *Aplysina* sp. | | II | II | | | X | | |
| *Axinella polypoides* | | II | II | | | X | | |
| *Calyx nicaeensis* | | | | | | | | |
| *Hippospongia communis* | | III | III | | | | | |
| *Ircinia* spp. | | II | | | | | | |
| *Petrosia (Petrosia) ficiformis* | | | | | | | | |
| *Scopalina lophyropoda* | | | | | | | | |
| *Spongia (Spongia) agaricina* | | III | III | | | | | |
| *Tethya aurantium* | | II | | | | X | | |
| *Tethya* spp. | | II | | | | X | | |
| **Cnidarios** | | | | | | | | |
| *Phyllangia americana mouchezii* | | | | | | | | DD? |
| *Antipathella subpinnata* | | II | | | | X | | NT- |
| *Antipathes dichotoma* | | II | III | | | X | | NT- |
| *Astroides calycularis* | | II | II | | VU | X | | LC |
| *Callogorgia verticillata* | | II | | | | X | | NT? |
| *Cladocora caespitosa* | | II | | | | X | | EN- |
| *Cladocora debilis* | | II | | | | X | | DD? |
| *Corallium rubrum* | V | III | III | | | | | EN- |
| *Cribrinopsis crassa* | | | | | | | | LC? |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| *Dendrophyllia cornigera* | | II | | | EN- |
| *Dendrophyllia laboreli* | | | | | |
| *Dendrophyllia ramea* | | II | | | VU? |
| *Desmophyllum pertusum* | | II | | X | EN- |
| *Ellisella paraplexauroides* | | II | | X | VU- |
| *Eunicella filiformis* | | | | | NT- |
| *Eunicella singularis* | | | | | NT- |
| *Eunicella verrucosa* | | | | | NT? |
| *Funiculina quadrangularis* | | | | | VU- |
| *Isidella elongata* | | II | | | CR- |
| *Leiopathes glaberrima* | | II | III | X | EN- |
| *Leptogorgia sarmentosa* | | | | | LC? |
| *Madrepora oculata* | | II | | X | EN- |
| *Paramuricea clavata* | | | | | VU- |
| *Pennatula rubra* | | | | | VU- |
| *Pennatula phosphorea* | | | | | VU- |
| *Pteroeides griseum* | | | | | VU- |
| *Pourtalosmilia anthophyllites* | | | | | DD? |
| *Savalia savaglia* | | II | II | X | NT- |
| **Crustáceos** | | | | | |
| *Homarus gammarus* | | III | III | | LC |
| *Maja squinado* | | III | III | | |
| *Palinurus elephas* | | III | III | | VU- |
| *Scyllarides latus* | V | III | III | | DD? |
| *Scyllarus arctus* | | III | III | | LC? |
| *Scyllarus pygmaeus* | | III | III | | LC? |
| **Moluscos** | | | | | |





| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Cassiella abylensis* | | | | | | | |
| *Charonia lampas* | | II | II | VU | X | | |
| *Charonia variegata* | | II | II | | X | | |
| *Cochlis vittata* | | | | | | | |
| *Cymbula safiana* | | II | II | | X | | |
| *Dendropoma lebeche** | | II | II | VU | X | | |
| *Donacilla cornea* | | | | | | | |
| *Episcomitra zonata* | | II | II | | X | | |
| *Lithophaga lithophaga* | IV | II | II | | X | | |
| *Luria lurida* | | II | II | | X | | |
| *Modiolus lulat* | | | | | | | |
| *Monoplex parthenopeus* | | | | | | | LC? |
| *Naria spurca* | | II | II | | X | | |
| *Patella ferruginea* | IV | II | II | EN | X | | |
| *Patella ulyssiponensis* | | | | | X | X | |
| *Pholas dactylus* | | II | II | | X | | |
| *Pinna nobilis* | IV | II | | EN | X | | CR- |
| *Pinna rudis* | | II | II | | X | | |
| *Ranella olearium* | | II | II | | X | | NT? |
| *Schilderia achatidea* | | II | II | | X | | |
| *Spondylus gaederopus* | | | | | | | |
| *Tonna galea* | | II | II | | X | | |
| *Tritia tingitana* | | | | VU | X | | |
| *Zonaria pyrum* | | II | II | | X | | |
| **Equinodermos** | | | | | | | |
| *Centrostephanus longispinus* | IV | II | II | | X | | |
| *Hacelia attenuata* | | | | | | | |





| | | | |
|---|---|---|---|
| *Ophidiaster ophidianus* | II | II | X |
| *Paracentrotus lividus* | III | III | |

HD: Directiva Hábitats; BC: Convenio de Barcelona; BeC: Convenio de Berna; BoC: Convenio de Bonn; CE: Catálogo Nacional de Especies Amenazadas; LESRPE: Listado de Especies Silvestres en Régimen de Protección Especial; OSPAR: Convenio OSPAR; UICN: Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza; DD: Datos Insuficientes; LC: Preocupación Menor; NE: Casi Amenazada; VU: Vulnerable; EN: En Peligro; CR: En Peligro Crítico; +: Población en aumento; -: Población en disminución; ?: Desconocido; Sin símbolo: Población estable; X: Presente en el listado; I: Anexo I; II: Anexo II; III: Anexo III; IV: Anexo IV; V: Anexo V;* Incluido en el complejo *Dendropoma petreaum.*

La lapa *Patella ferruginea* presenta un elevado grado de amenaza en todo el Mediterráneo debido a su ritmo de crecimiento lento y a múltiples presiones antrópicas, entre ellas la modificación de su hábitat natural por la construcción de puertos, escolleras y otras infraestructuras, así como la recolección ilegal. En respuesta a esta situación, en mayo de 2008 la Comisión Estatal para el Patrimonio Natural y la Biodiversidad y la Conferencia Sectorial de Medio Ambiente aprobaron y publicaron la "Estrategia para la conservación de la lapa ferrugínea (*Patella ferruginea*) en España" (MMAMRM 2008), actualmente vigente y actualizada según la Resolución de 23 de noviembre de 2023, de la Secretaría de Estado de Medio Ambiente (BOE-A-2023-25224).

El molusco bivalvo *Pinna nobilis* Linnaeus, 1758; conocido como nacra, es una especie endémica del mar Mediterráneo que vive semienterrada en hábitats de fanerógamas marinas (principalmente *Posidonia oceanica*) y que se distribuye desde aguas someras a los 60 m de profundidad. La especie ha sufrido múltiples presiones e impactos humanos desde hace siglos (Basso et al. 2015, García-March et al. 2020), por lo que estaba protegida como vulnerable a nivel internacional (92/43/CEE) y nacional (RD 139/2011). Además, ha experimentado una regresión sin precedentes a nivel de cuenca, con mortalidades prácticamente del 100% de los ejemplares a causa de un evento de mortalidad masiva (EMM) que se observó por primera vez en otoño de 2016 en España (Vázquez-Luis et al. 2017). El EMM parece estar causado principalmente por una nueva especie de protozoo parásito, *Haplosporidium pinnae* (Darriba et al. 2017, Catanese et al. 2018, Grau et al. 2022), aunque no se descartan otros agentes como bacterias o virus como causantes de la epizootia o cuya infección junto con *H. pinnae*, puede aumentar la mortalidad de las nacras (Scarpa et al. 2020, Carella et al. 2020, 2023). Todo ello ha conducido a que *Pinna nobilis* se encuentre actualmente al borde de la extinción convirtiéndose en una crisis sin precedentes para la especie.

Por ello, en respuesta al EMM causado por la epizootia, se han puesto en marcha diferentes herramientas legales y actuaciones de conservación, que en el caso de España se recogen en la Estrategia de conservación de la nacra (*Pinna nobilis*) (BOE-A-2023-344). A nivel legal en España, *P. nobilis* ha sido declarada "en situación crítica" (Orden TEC/1078/2018) y se ha modificado su categoría en el Catálogo Español de Especies Amenazadas a "en peligro de extinción" (Orden TEC/596/2019). Además, a nivel regional en la demarcación ESAL, la comunidad autónoma de Andalucía ha incluido esta especie en su listado autonómico de especies amenazadas y ha elaborado un Plan de recuperación para este bivalvo (Plan de Recuperación y Conservación de Invertebrados Amenazados y Fanerógamas del Medio Marino, Acuerdo del Consejo de Gobierno de 7 de noviembre de 2017).

El EMM se ha difundido rápidamente por todo el Mediterráneo en estos años (Vázquez-Luis et al. 2017, Katsanevakis 2019, Panarese et al. 2019) incluyendo la costa española, y sólo se observan poblaciones de nacra en algunas zonas no afectadas, como lagunas, estuarios o bahías cerradas con una salinidad significativamente superior o inferior al mar abierto (Kersting et al. 2019, García-March et al. 2020, Katsanevakis et al. 2021). En el caso de España, las zonas no afectadas por la epizootia, conocidas como zonas santuario, se encuentran en la laguna salada del mar Menor y en el delta del Ebro, donde se registran valores de salinidad más altos y más bajos respectivamente que en mar abierto (Cabanellas-Reboredo et al. 2019, Prado et al. 2021, Nebot-Colomer et al. 2022).

Las poblaciones de *Pinna nobilis* de mar abierto han desaparecido casi por completo en el litoral español, sin embargo, a pesar de la situación crítica en la cual se encuentra la especie, existen individuos supervivientes que se han estado monitorizando en estos años. A pesar del reducido número y de que no forman poblaciones, estos ejemplares son clave para la conservación de la especie ya que se trata de ejemplares supervivientes al EMM, por lo que parece que son resistentes a la enfermedad. Se ha realizado una búsqueda activa de supervivientes de *P. nobilis* en el litoral mediterráneo español donde la colaboración ciudadana ha sido clave para la localización de un gran número de los ejemplares.

La demarcación ESAL marca el límite de distribución de la especie (Guallart y Templado, 2012) y fue donde se detectaron los primeros indicios de mortalidad en octubre de 2016. Entre 2017-2023 se han monitorizado en esta demarcación los ejemplares encontrados en mar abierto, aunque los pocos ejemplares supervivientes localizados tras la primera oleada de mortalidad, se monitorizaron hasta otoño de 2018 cuando murieron. Desde entonces sólo se ha localizado un ejemplar posiblemente híbrido en la demarcación en 2020. Los ejemplares híbridos de *P. nobilis* y la especie congenérica *P. rudis* (Vázquez-Luis et al. 2021) también se incluyen en este monitoreo, aunque la mayoría de los avisos de nacra que se han recibido en este periodo han sido de la especie *P. rudis*.

### 4.1.3 Vertebrados

***Reptiles***

Hay documentadas cuatro especies de tortugas marinas presentes en la demarcación ESAL (Tabla 3), siendo la más abundante la tortuga boba (*Caretta caretta*). A nivel internacional y según la IUCN, el estado de la tortuga boba y la tortuga laúd (*Dermochelys coriacea*) se considera “vulnerable”, el estado de la tortuga verde (*Chelonia mydas*), se considera “en peligro”, mientras que el estado de la tortuga golfina (*Lepidochelys kempii*) se considera “en peligro crítico”. En España, la Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad (BOE-A-2007-21490), incluye a la tortuga boba y la tortuga verde en el Anexo II de especies de interés comunitario para las que se requiere la creación de Zonas Especiales de Conservación (ZEC), señalándose además como prioritarias. Y se incluyen, junto a la tortuga laúd, en el Anexo IV de dicha Ley como especies de interés comunitario que requieren de una protección estricta.

*Tabla 3. Reptiles incluidos en convenios, catálogos o listas nacionales e internacionales de protección de fauna marina amenazada presentes en la demarcación marina del Estrecho y Alborán.*

| | FIGURAS DE PROTECCIÓN NACIONAL E INTERNACIONAL |
|---|---|

| Especie | HD | BC | BeC | BoC | CE | LESRPE | OSPAR | UICN |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Caretta caretta* | II, IV | II | II, R6 | I, II | VU | X | X | VU- |
| *Chelonia mydas* | IV | II | II, R6 | I, II | | X | | EN- |
| *Dermochelys coriacea* | IV | II | II | I, II | | X | X | VU- |
| *Lepidochelys kempii* | IV | II | II | I, II | | X | | CR? |

HD: Directiva Hábitats; BC: Convenio de Barcelona; BeC: Convenio de Berna; BoC: Convenio de Bonn; CE: Catálogo Nacional de Especies Amenazadas; OSPAR: Convenio OSPAR; UICN: Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza; CITES: Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres; VU: Vulnerable; EN: En Peligro; -: Población en disminución; ?: Desconocido; Sin símbolo: Población estable; X: Presente en el listado; I: Anexo I; II: Anexo II; IV: Anexo IV; R6: Anexo I revisado de la Resolución 6 (1998) del Convenio de Berna; A: Anexo A del Reglamento (CE) n.º 338/1997, del Consejo, de 9 de diciembre de 1996.

***Aves***

La región que comprende la demarcación (estrecho de Gibraltar-mar de Alborán) representa uno de los corredores más importantes para las aves marinas del Paleártico, ya que conecta Europa continental y África, así como el océano Atlántico y el mar Mediterráneo. En este sentido, el número de aves marinas que habitan en el mar de Alborán varía a lo largo de los años y las estaciones, registrándose un total de 49 especies estrictamente marinas entre aves residentes, migratorias, invernantes, ocasionales y errantes (Báez et al. 2021). Si se contemplan aquellas especies que habitan en marismas y con un carácter no estrictamente marino pero que también pueden habitar en zonas costeras, como es el caso del halcón peregrino (*Falco peregrinus*), el número de especies de aves catalogadas de la demarcación alcanza casi la centena (Tabla 4).

Algunas de las aves marinas presentes en ESAL están incluidas en el Anexo I de la Directiva de Aves como especies que requieren medidas de conservación especiales en cuanto a su hábitat, como ocurre para *Puffinus mauretanicus*, *Sterna hirundo*, *Sterna sandvicensis*, *Phalacrocorax aristotelis desmarestii*, *Larus genei*, *Calonectris diomedea* y *Hydrobates pelagicus*. Otras aves, como la gaviota de Audouin (*L. audouidii*) aparecen en el catálogo español de especies amenazadas como “en peligro de extinción” y “vulnerable”, respectivamente.

*Tabla 4. Aves incluidas en convenios, catálogos o listas nacionales e internacionales de protección de fauna marina amenazada presentes en la demarcación marina del Estrecho y Alborán.*

| Especies | FIGURAS DE PROTECCIÓN NACIONAL E INTERNACIONAL | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | HD | BD | BC | BoC | BoC | CE | LESRPE | OSPAR | UICN |
| *Actitis hypoleucos* | | A1 | | II | | | X | | LC- |
| *Alca torda* | | A1 | | III | | | X | | LC+ |
| *Alcedo atthis* | IV | I | | II, R6 | | | X | | LC- |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Anas acuta* | | II, III | | III | II | | | VU- |
| *Anser anser* | | II, III | | III | II | | | LC+ |
| *Ardea alba* | IV | I | | II-I | II | | X | LC+ |
| *Arenaria interpres* | | A1 | | II | II | | X | LC- |
| *Calidris alba* | | A1 | | II | II | | X | LC |
| *Calidris alpina* | | A1 | | II | II | | X | LC? |
| *Calidris canutus* | | II | | III | II | | X | NT- |
| *Calidris ferruginea* | | A1 | | II | II | | X | VU+ |
| *Calidris maritima* | | A1 | | II | II | | X | LC? |
| *Calidris minuta* | | A1 | | II | II | | X | LC? |
| *Calidris temminckii* | | A1 | | II | II | | X | LC? |
| *Calonectris borealis* | | I | | II, R6 | | | X | LC? |
| *Calonectris diomedea* | IV | I | II | II, R6 | | VU | X | LC? |
| *Charadrius alexandrinus* | IV | I | II | II, R6 | II | | X | LC- |
| *Charadrius dubius* | | A1 | | II | II | | X | LC- |
| *Charadrius hiaticula* | | A1 | | II | II | | X | LC+ |
| *Chlidonias hybrida* | IV | I | | II, R6 | | | X | LC+ |
| *Chlidonias leucopterus* | | A1 | | II, R6 | II | | X | LC? |
| *Chlidonias niger* | IV | I | | II, R6 | | EN | X | LC? |
| *Egretta garzetta* | IV | I | | II, R6 | | | X | LC- |
| *Falco eleonorae* | IV | I | II | II, R6 | II | | X | LC+ |
| *Falco columbarius* | | | | | | | | VU- |
| *Falco peregrinus* | IV | I | | II, R6 | II | | X | LC? |
| *Falco subbuteo* | | | | | | | X | LC? |
| *Falco tinnunculus* | | | | | | | X | LC? |
| *Fratercula arctica* | | A1 | | III | | | X | EN- |
| *Gelochelidon nilotica* | | I | II | II, R6 | | | X | LC |

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Haematopus ostralegus* | | II | | III | | | X | | VU- |
| *Himantopus himantopus* | | I | | II, R6 | II | | X | | LC+ |
| *Hydrobates pelagicus* | IV | I | II | II, R6 | | | X | | LC? |
| *Hydrocoloeus minutus* | | I | | II, R6 | | | X | | LC? |
| *Hydroprogne aspia* | IV | I | II | II, R6 | II | | X | | LC |
| *Larus audouinii* | IV | II | II | II, R6 | I, II | VU | X | | VU- |
| *Larus canus* | | II | | III | | | X | | LC? |
| *Larus delawarensis* | | | | | | | | | LC+ |
| *Larus fuscus* | | II | | | | | | X | LC+ |
| *Larus genei* | IV | I | II | II, R6 | II | | X | | VU? |
| *Larus marinus* | | II | | | | | X | | LC |
| *Larus melanocephalus* | IV | I | II | II, R6 | II | | X | | LC- |
| *Larus michahellis* | | A1 | | III | | | | | LC? |
| *Larus ridibundus* | | II | | III | | | | | LC- |
| *Limosa lapponica* | | I, II | | III, R6 | II | | X | | LC |
| *Limosa limosa* | | II | | III | II | | X | | NT |
| *Melanitta nigra* | | II, III | | III | II | | | | LC? |
| *Mergus serrator* | | II | | III | II | | | | NT- |
| *Milvus migrans* | | I | | I,II | II | | X | | LC+ |
| *Milvus milvus* | | I | | I,II | II | EN | X | | LC+ |
| *Morus bassanus* | | A1 | | III | | | X | | LC+ |
| *Oceanites oceanicus* | | X | | II | | | | | LC |
| *Pandion haliaetus* | IV | I | II | II, R6 | II | VU | X | | EN+ |
| *Gulosus aristotelis* | | I | II | II, R6 | | VU | X | | LC- |
| *Phalacrocorax carbo* | | A1 | | III | | | | | LC+ |
| *Phoenicopterus roseus* | IV | I | II | II, R6 | II | | X | | LC+ |
| *Platalea leucorodia* | | I | | II, R6 | II | | X | | LC+ |

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Plegadis falcinellus* | | I | | I,II | II | | X | | LC+ |
| *Pluvialis apricaria* | | I, II, III | | III, R6 | II | | X | | LC |
| *Pluvialis squatarola* | | II | | III | II | | X | | LC |
| *Podiceps cristatus* | | A1 | | III | | | X | | LC |
| *Podiceps nigricollis* | | A1 | | II | | | X | | VU- |
| *Porzana porzana* | | I | | II, R6 | II | | X | | LC- |
| *Puffinus mauretanicus* | IV | I | II | III, R6 | I | EN | X | X | CR- |
| *Puffinus gravis* | | A1 | | III | | | X | | LC |
| *Puffinus griseus* | | A1 | | III | | | X | | NT- |
| *Rallus aquaticus* | | II | | III | | | | | LC? |
| *Recurvirostra avosetta* | IV | I | | II, R6 | II | | X | | LC- |
| *Rissa tridactyla* | | A1 | | III | | | X | X | VU- |
| *Stercorarius parasiticus* | | A1 | | III | | | X | | EN- |
| *Stercorarius pomarinus* | | A1 | | | | | X | | LC? |
| *Stercorarius skua* | | A1 | | III | | | X | | LC+ |
| *Sterna bengalensis* | | | II | III | | | X | | LC |
| *Sterna dougallii* | | I | | II, R6 | II | | X | X | LC+ |
| *Sterna hirundo* | IV | I | | II, R6 | | | X | | LC? |
| *Sterna paradisaea* | | I | | II, R6 | II | | X | | LC |
| *Sterna sandvicensis* | IV | I | II | II, R6 | II | | X | | LC |
| *Sternula albifrons* | | I | II | II, R6 | II | | X | | LC- |
| *Tachybaptus ruficollis* | | A1 | | II | | | X | | LC |
| *Tadorna ferruginea* | | A1 | | II, R6 | II | | X | | LC? |
| *Tadorna tadorna* | | A1 | | II | II | | X | | LC |
| *Tringa erythropus* | | II | | III | II | | X | | LC? |
| *Tringa glareola* | | I | | II, R6 | II | | X | | LC? |
| *Tringa nebularia* | | II | | III | II | | X | | LC+ |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| *Tringa ochropus* | A1 | II | II | X | LC? |
| *Tringa stagnatilis* | A1 | II | II | X | LC- |
| *Tringa totanus* | II | III | II | X | VU- |
| *Vanellus vanellus* | II | III | II | | VU- |
| *Xema sabini* | | II | | | LC+ |

HD: Directiva Hábitats; BD: Directiva sobre aves de la UE; BC: Convenio de Barcelona; BeC: Convenio de Berna; BoC: Convenio de Bonn; CE: Catálogo Nacional de Especies Amenazadas; LESRPE: Listado de Especies Silvestres en Régimen de Protección Especial; OSPAR: Convenio OSPAR; UICN: Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza; LC: Preocupación Menor; NT: Casi Amenazada; VU: Vulnerable; EN: En Peligro; CR: En Peligro Crítico; +: Población en aumento; -: Población en disminución; ?: Desconocido; Sin símbolo: Población estable; X: Presente en el listado; I: Anexo I; II: Anexo II; III: Anexo III; IV: Anexo IV; R6: Anexo I revisado de la Resolución 6 (1998) del Convenio de Berna; A1: Esta especie no se menciona en los anexos, pero está cubierta por el régimen general de protección previsto en el artículo 1 de la Directiva para todas las especies de aves que viven normalmente en estado salvaje en el territorio europeo de los Estados miembros a los que se aplica el Tratado.

***Mamíferos***

Los mamíferos marinos son objeto de varios acuerdos internacionales y están protegidos por diferentes normativas legales nacionales e internacionales. El delfín mular (*Tursiops truncatus*) y la marsopa (*Phocoena phocoena*) están incluidas en el Anexo II de la Directiva Hábitats y en la Ley 42/2007 de Patrimonio Natural y de la Biodiversidad, como especie de interés especial, para cuya conservación se requiere la designación de áreas especiales de conservación, las cuales se integran en la Red Natura 2000.

El mar de Alborán es una de las zonas más importantes del Mediterráneo para la conservación de los mamíferos marinos (Micheli et al. 2013), siendo un punto caliente reconocido para la biodiversidad de estos animales (Coll et al. 2010). Esto se refleja en las cuatro Áreas Importantes para los Mamíferos Marinos (IMMA por sus siglas en inglés) establecidas en la demarcación por la UICN. Entre las diversas especies de cetáceos presentes en la demarcación (Tabla 5) se pueden mencionar a los calderones comunes (*Globicephala melas*), diversas especies de delfines (ej. *Stenella coeruleoalba*, *Delphinus delphis*), el cachalote (*Physeter macrocephalus*), la orca (*Orcinus orca*) o el Zifio de Cuvier (*Ziphius cavirostris*).

*Tabla 5. Mamíferos incluidos en convenios, catálogos o listas nacionales e internacionales de protección de fauna marina amenazada presentes en la demarcación marina del Estrecho y Alborán.*

| Especies | FIGURAS DE PROTECCIÓN NACIONAL E INTERNACIONAL | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | HD | BC | BeC | BoC | CE | LESRPE | OSPAR | UICN |
| *Balaenoptera acutorostrata* | IV | II | II | | VU | X | | LC? |
| *Balaenoptera borealis* | IV | II | II | I, II | VU | X | | EN+ |
| *Balaenoptera physalus* | IV | II | II | I, II | VU | X | | VU+ |
| *Delphinus delphis* | IV | II | II | I, II | VU | X | | EN- |
| *Globicephala macrorhynchus* | IV | | II | | VU | X | | LC? |
| *Globicephala melas* | IV | II | II | II | VU | X | | DD? |
| *Grampus griseus* | IV | II | II | II | | X | | DD? |
| *Lutra lutra* | II, IV | | II, R6 | | | X | | NT- |
| *Megaptera novaeangliae* | IV | II | II | I | VU | X | | LC+ |
| *Monachus monachus* | II, IV | II | II, R6 | I, II | EN | X | | CR- |
| *Orcinus orca* | IV | II | II | II | | X | | DD? |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Phocoena phocoena* | II, IV | II | II, R6 | II | EN | X | X | LC |
| *Physeter macrocephalus* | IV | II | II | I, II | VU | X | | EN- |
| *Pseudorca crassidens* | IV | II | II | | | X | | DD? |
| *Stenella coeruleoalba* | IV | II | II | II | | X | | VU? |
| *Tursiops truncatus* | II, IV | II | II, R6 | II | VU | X | | VU- |
| *Ziphius cavirostris* | IV | II | II | I | VU | X | | DD? |

HD: Directiva Hábitats; BC: Convenio de Barcelona; BeC: Convenio de Berna; BoC: Convenio de Bonn; CE: Catálogo Nacional de Especies Amenazadas; LESRPE: Listado de Especies Silvestres en Régimen de Protección Especial; OSPAR: Convenio OSPAR; UICN: Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza; DD: Datos Insuficientes; LC: Preocupación Menor; NE: Casi Amenazada; VU: Vulnerable; EN: En Peligro; CR: En Peligro Crítico; +: Población en aumento; -: Población en disminución; ?: Desconocido; Sin símbolo: Población estable; X: Presente en el listado; I: Anexo I; II: Anexo II; IV: Anexo IV; R6: Anexo I revisado de la Resolución 6 (1998) del Convenio de Berna.

## 4.2 Hábitats protegidos

Actualmente, la mayor herramienta de protección de hábitats marinos a nivel comunitario es la Directiva Hábitats (92/43/CEE). Esta Directiva tiene por objeto contribuir a garantizar la biodiversidad mediante la conservación de los hábitats naturales y de la fauna y flora silvestres en el territorio europeo de los Estados miembros a los que se aplica el Tratado, mediante el establecimiento de una red ecológica y un régimen jurídico de protección de hábitats y especies. En el Anexo I de la Directiva se incluyen más de 200 tipos de hábitat de interés comunitario y establece la necesidad de conservarlos, para lo cual obliga a que se adopten medidas para mantenerlos o restaurarlos en un estado favorable. Los tipos de hábitat marino están pobremente representados en la Directiva y, actualmente, solo cinco tipos de hábitat totalmente marinos figuran en el Anexo I como de interés comunitario cuya conservación requiere la designación de ZECs, de los cuales solo el hábitat de *Posidonia oceanica* se considera prioritario de conservación. Dentro de los tipos de hábitat generales considerados en la Directiva hay otros más específicos que pueden estar formados por especies estructurantes incluidas en listados de protección, lo que resulta en la protección de dichos hábitats.

Entre los hábitats marinos protegidos presentes en ESAL, vinculados a la Directiva Hábitats, se incluyen:

- Hábitats relacionados con el tipo de **hábitat 1110 «Bancos de arena cubiertos permanentemente por agua marina, poco profunda»**:

En este tipo de hábitat están incluidas las praderas de fanerógamas marinas y de *Caulerpa prolifera* sobre fondos sedimentarios, y se describen como tales en las propuestas de la red Natura 2000. Además, todas las fanerógamas marinas, incluidas *Zostera marina* y *Cymodocea nodosa*, figuran en el Anexo II del Convenio de Barcelona, en la Lista Española de Especies Silvestres y en el Listado Español de Especies Silvestres en Régimen de Protección Especial, aunque sin mención particular de amenaza.

Por otro lado, el hábitat "Arenas finas infralitorales bien calibradas" (LPRE 03040220) también está vinculado a este tipo de hábitat de la Directiva.

- Hábitats relacionados con el tipo de **hábitat 1120 «Praderas de Posidonia (*Posidonion oceanicae*)»**:

Las praderas de *Posidonia* son el único hábitat marino definido con precisión en la Directiva y, afortunadamente, son tratadas en ella como hábitat prioritario (Díaz Almela y Marbà 2009), lo que exige que al menos el 60% de la superficie ocupada por este hábitat esté incluida en ZECs de la Red Natura 2000 para poder considerar suficiente su protección (Comisión Europea 2007: 43). Las prospecciones realizadas en la ZEC Calahonda (Málaga) muestran una alarmante extensión de rizomas muertos de *Posidonia*, ahora cubiertos por comunidades de macroalgas o por arena, lo que apunta a un declive continuado de esta especie emblemática en la parte más occidental de su área de distribución (García Raso et al. 2010). Cabe destacar el Monumento Natural Arrecife Barrera de *P. oceanica*, situado en los bajos de Roquetas, donde se encuentra la formación de estas características más notable de Andalucía y de las pocas existentes en el Mediterráneo occidental.

- Hábitats relacionados con el tipo de **hábitat 1170 «Arrecifes»**:

Este tipo de hábitat, al ser tan extenso, se encuentra representado en la mayoría de las zonas marinas protegidas existentes. Al igual que en el piso mediolitoral rocoso, los hábitats rocosos infralitorales, que incluyen la comunidad de algas fotófilas, pueden entrar en este tipo de hábitat.

En los niveles bajos intermareales, y en zonas muy concretas, se puede encontrar un tipo de hábitat conocido como microarrecifes de vermétidos (Arrecife biógeno de *Dendropoma petraeum* sobre roca mediolitoral moderadamente expuesta, LPRE 02010223) formados por el gasterópodo sésil *Dendropoma lebeche* (antes conocido como *D. petraeum*) y algas coralináceas como *Neogoniolithon brassica-florida*, *Lithophyllum byssoides* y *Lithophyllum woelkerlingii*. Estas estructuras biogénicas permiten un aumento de la biodiversidad local, ya que crean zonas de refugio para otras especies y

proporcionan una protección de la costa de la erosión. Además, este tipo de hábitat está protegido por el Convenio de Barcelona (UNEP/MAP-SPA/RAC, 2016).

Aunque las costas rocosas intermareales rara vez se declaran como hábitat 1170 “Arrecifes" en los informes de la Red Natura 2000, gran parte de la costa rocosa intermareal de ESAL está incluida en varias de las zonas marinas protegidas. En estos casos, el principal impulsor de su protección sigue siendo la presencia de especies catalogadas como amenazadas, como *Patella ferruginea* y *D. lebeche*, cuya presencia provoca restricciones a cualquier intervención que afecte a su hábitat.

Según lo definido en la Directiva, los hábitats coralígenos y pre-coralígenos se ajustan al hábitat 1170 "Arrecifes" (Templado et al. 2009), al igual que otros hábitats bentónicos de fondos duros, como el estructurado por el coral naranja *Astroides calycularis* (Roca infralitoral de modo calmo, escasamente iluminada, dominada por invertebrados con *Astroides calycularis*, LPRE 0301041610), el cual constituye uno de los hábitats esciáfilos más conspicuos y emblemáticos en los fondos duros someros de la demarcación. Además, recientemente se ha incluido a *Dendrophyllia ramea* en el Anexo II del Convenio de Barcelona, y se ha incorporado al Listado Español de Especies Silvestres en Régimen de Protección Especial. El uso de dragas remolcadas y redes de arrastre sobre fondos coralígenos está prohibido según el Art. 4 del Reglamento del Consejo (CE) nº 1967/2006 relativo a medidas de gestión para la explotación sostenible de los recursos pesqueros en el mar Mediterráneo (Consejo de la Unión Europea 2006). Estos hábitats también están incluidos como "Hábitats Marinos Esenciales (HME) de importancia para la gestión de especies prioritarias" por el Comité Asesor Científico de la Comisión General de Pesca para el Mediterráneo (Comisión General de Pesca para el Mediterráneo 2009).

Por otro lado, los bosques de laminariales no reciben más protección que su elegibilidad como hábitat 1170 “Arrecifes", a pesar de representar una comunidad bentónica única en el mar Mediterráneo. Sin embargo, el alga *Laminaria ochroleuca* está incluida en el Anexo I del Convenio de Berna (especies de flora estrictamente protegidas) sólo para sus poblaciones mediterráneas. La situación de los bosques de algas no es mejor en el Atlántico, donde están más extendidos, pero donde algunos países no los incluyen en la Lista de Especies y Hábitats Amenazados y/o en Declive.

En cuanto a los hábitats rocosos batiales, éstos también se incluyen en el hábitat 1170 “Arrecifes", y el uso de dragas y redes de arrastre para la pesca sobre estos fondos a profundidades superiores a 1000 m está prohibido según el Art. 4 del Reglamento del Consejo (CE) nº 1967/2006 (Consejo de la Unión Europea 2006).

Los cañones submarinos, montes submarinos y los corales de aguas profundas (*Lophelia pertusa* y *Madrepora oculata*) figuran como "Hábitats Marinos Esenciales (HME) de importancia para la gestión de especies prioritarias" (Comisión General de Pesca del Mediterráneo 2009). Aunque gran parte de la demarcación ESAL no entra en el ámbito de aplicación del convenio OSPAR, cabe señalar que los montículos carbonatados, los jardines de coral, las agregaciones de esponjas de aguas profundas y los arrecifes de *Lophelia pertusa* figuran en la lista OSPAR de especies y hábitats amenazados y/o en declive. Recientemente, se han realizado algunos progresos en la inclusión de varias especies de corales de aguas frías (*M. oculata, Desmophyllum dianthus, D. pertusum, Dendrophyllia cornigera*) y antipatarios (ej. *Leiopathes glaberrima*) en el Anexo II del Convenio de Barcelona, y se han incorporado al Listado Español de Especies Silvestres en Régimen de Protección Especial.

- Hábitats relacionados con el tipo de **hábitat 1180 «Estructuras submarinas causadas por emisiones de gases»**:

En este tipo de hábitat se encuentran incluidos los hábitats ligados a escapes de fluidos (Estructuras producidas por escape de gases, LPRE 040201), los cuales están catalogados como "Hábitats Marinos Esenciales (HME) de importancia para la gestión de especies prioritarias" (Comisión General de Pesca del Mediterráneo 2009).

Las costras y pavimentos carbonatados producidos por la oxidación anaeróbica de metano constituyen un tipo de hábitat perfecto para el desarrollo de corales de aguas frías como *L. pertusa* y *M. oculata*. Este tipo de hábitat está activamente implicado en el desarrollo de montículos de carbonatos. Durante

la reunión OSPAR celebrada en Bremen (2003), los ecosistemas de aguas frías fueron identificados como uno de los más vulnerables y que requieren una acción más inmediata para mitigar la pérdida de biodiversidad.

- Hábitats relacionados con el tipo de **hábitat 8330 «Cuevas marinas sumergidas o semisumergidas»**:

Las cuevas marinas (Cuevas y túneles infralitorales y circalitoraleres, LPRE 0303) representan hábitats únicos y sensibles del piso infralitoral rocoso que requieren protección debido a sus particularidades geológicas y biológicas. Se trata de uno de los hábitats marinos con un mayor grado de protección, de acuerdo al Anexo I de la Directiva y el Plan de Acción para la Conservación de Hábitats Oscuros de la Convención de Barcelona (UNEP-MAP-RAC/SPA, 2015), ya que albergan una enorme diversidad y abundancia de especies amenazadas, endémicas y/o relictas.

- Hábitats relacionados con el tipo de **hábitat 1150 «Lagunas costeras»**:

Las lagunas de Adra y de cabo de Gata están incluidas en la lista Ramsar de humedales de importancia internacional, así como en las ZECs de la Red Natura 2000.

Por otro lado, en la demarcación se encuentran una serie de hábitats no recogidos en la Directiva Hábitats, pero considerados en otras normativas o listas. Entre estos se incluyen los fondos de maërl o de rodolitos (LPRE 0304056), los cuales están incluidos en la Lista OSPAR de Especies y Hábitats Amenazados y/o en Declive (Comisión OSPAR 2010) y también en el Reglamento (CE) nº 1967/2006 del Consejo sobre medidas de gestión para la explotación sostenible de los recursos pesqueros en el Mar Mediterráneo (Consejo de la Unión Europea 2006), que prohíbe la pesca con redes de arrastre, dragas, jábegas o redes similares sobre hábitats de coralígeno y fondos de mäerl/rodolitos. Además, se han reconocido los fondos de rodolitos como un elemento prioritario entre los hábitats de peces sensibles en el Mediterráneo, definidos como "hábitats frágiles reconocidos internacionalmente como ecológicamente importantes y que pueden requerir una protección especial" (Comisión Europea 2006). También se han reconocido como "Hábitats Marinos Esenciales (HME) de importancia para la gestión de especies prioritarias" (Comisión General de Pesca del Mediterráneo 2009). A pesar de ello y del clamor de la comunidad científica (Barberá et al. 2003, Otero y Basso 2016), los yacimientos de rodolitos no tienen reconocimiento alguno en el Anexo I de la Directiva. La Ley 5/2007, de 3 de abril, de la Red de Parques Nacionales incluye "los lechos de maërl" como sistema natural marino que debe estar representado en la Red Natura. Por último, la Orden APA/767/2018, de 19 de junio de 2018, modifica la Orden de 8 de septiembre de 1998 y amplía la prohibición de pesca de arrastre en la Reserva Marina de la Isla de Alborán en profundidades inferiores a 100 m (70 m en la anterior Orden de 1998), con el objetivo específico de proteger los lechos de rodolitos, que se extienden hasta los 100-110 m en esta zona.

Por otro lado, los fondos fangosos y fangos arenosos circalitorales (LPRE 030403) y los fangos batiales (LPRE 040202) no se ajustan, ni siquiera aproximadamente, a ninguno de los hábitats enumerados en la Directiva. Su única protección jurídica se deriva del Art. 4 del Reglamento (CE) nº 1967/2006 del Consejo sobre medidas de gestión para la explotación sostenible de los recursos pesqueros en el Mar Mediterráneo (Consejo de la Unión Europea 2006), que prohíbe el uso de dragas de arrastre y redes de arrastre en la pesca a profundidades superiores a 1000 m. El Convenio OSPAR reconoce las "Comunidades de pennatuláceos y megafauna excavadora" entre la lista de hábitats amenazados y en declive, y debería tenerse en cuenta para promover algún tipo de estatus dentro de las demarcaciones mediterráneas. Por otro lado, los hábitats que albergan *Leptometra phalangium, Funiculina quadrangularis* e *Isidella elongata* y, de forma más general, los hábitats de aguas profundas por debajo de los 1000 m de profundidad, figuran como "Hábitats Marinos Esenciales (HME) de importancia para la gestión de especies prioritarias" (Comisión General de Pesca del Mediterráneo 2009). Además, el coral bambú *Isidella elongata* es una especie en peligro de extinción crítico, según la categoría de la Lista Roja de la UICN (Mastrototaro et al. 2017, Otero et al. 2017).

Finalmente, los fondos con arenas y gravas bioclásticas no se benefician de ningún tipo de protección formal a pesar de su indudable riqueza en especies, simplemente están englobadas en áreas marinas





protegidas designadas para otros componentes. Las perspectivas de protección son escasas porque estos fondos son un objetivo importante de la pesca de arrastre. No obstante, una buena representación de este hábitat en zonas someras se encuentra en el Parque Natural del Estrecho (Cádiz) y en la ZEC Calahonda (Málaga), y en zonas más profundas del borde de la plataforma donde se incluyen los LICs Espacio Marino de Alborán y Sur de Almería-Seco de los Olivos (Gofas et al. 2014a, de la Torriente et al. 2014).

## 4.3 Áreas Marinas Protegidas

Para completar el marco general de la DM ESAL, se aporta en este punto información actualizada sobre la superficie de la DM ESAL donde las medidas de conservación se han visto reforzadas a través de la declaración de distintas figuras de espacios marinos protegidos. La conservación del medio marino a través de las distintas figuras de protección constituye una contribución fundamental para lograr el objetivo de la estrategia marina: lograr un buen estado ambiental del medio marino. Por este motivo, la Estrategia de Biodiversidad de la UE1 establece que en la UE deben estar protegidos al menos el 30 % de la superficie terrestre y el 30 % de la marina, lo cual supone un enorme reto para los estados miembros.

Es de destacar que en los ámbitos costero y marino, y a pesar del retraso respecto al medio terrestre, en los últimos años ha aumentado el número de espacios protegidos en todas las regiones del mundo, incluyendo la DM ESAL. En esta recopilación se han tenido en cuenta los espacios marinos protegidos y los espacios marítimo-terrestres protegidos, considerando que el área es marina cuando su superficie supone más del 95% del total, y área marítimo-terrestre cuando cualquiera de sus superficies (terrestre o marina) sea inferior al 95% del total.

### 4.3.1 Figuras de Protección

Las principales figuras de protección existentes reconocidas por la legislación estatal básica (Ley 42/2007, de 13 de diciembre del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad), son:

- **RED NATURA 2000:** La Directiva Habitat (Directiva 92/43/CEE) creó la "**Red Natura 2000" (RN 2000)**, una red ecológica europea coherente que debe garantizar el mantenimiento o, en su caso, el restablecimiento, en un estado de conservación favorable, de determinados tipos de hábitats naturales y de ciertas especies animales y vegetales. La RN2000 está compuesta por los Lugares de Importancia Comunitaria (LIC), las Zonas Especiales de Conservación (ZEC)y las Zonas de Especial Protección para las Aves (ZEPA)-estas últimas, designadas con arreglo a la Directiva Aves, que son designados por los Estados Miembros, tanto en el medio terrestre como en el marino. **Dentro de la DM ESAL existen 18 LIC/ZEC y 8 ZEPAS marinos (superficie marina igual o superior al 95% de la superficie total) y marítimo-terrestres (la superficie marina y/o terrestre no supera el 95% del total):**
  - Lugares de Importancia Comunitaria/ Zonas de Especial Conservación (LIC/ZEC):
    - Competencia de la AGE:
      - Espacio marino de Alborán
      - Sur de Almería – Seco de los Olivos
      - Fondos Marinos de la Bahía de Estepona
      - El Saladillo-Punta de Baños
      - Arrecifes de Roquetas de Mar
      - Fondos Marinos de Punta Entinas-Sabinar
      - Estrecho Oriental
      - Islas Chafarinas

[1] tps://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:a3c806a6-9ab3-11ea-9d2d-01aa75ed71a1.0007.02/DOC_1&format=PDF

- Compentencia autonómica:
  - Cabo de Gata-Níjar
  - Estrecho
  - Fondos Marinos Marismas del Río Palmones
  - Fondos Marinos Estuario del Río Guadiaro
  - Acantilados y Fondos Marinos Tesorillo-Salobreña
  - Acantilados y Fondos Marinos de Calahonda-Castell de Ferro
  - Acantilados y Fondos Marinos de La Punta de La Mona
  - Acantilados de Maro-Cerro Gordo
  - Calahonda
  - Zona marítimo terrestre de los acantilados de Aguadú

- Zonas de Especial Protección para las Aves :
  - Competencia de la AGE:
    - Bahía de Málaga-Cerro Gordo
    - Espacio marino de la Isla de Alborán
    - Bahía de Almería
    - Islas Chafarinas
    - Estrecho occidental
  - Competencia autonómica:
    - Cabo de Gata-Níjar
    - Estrecho
    - Acantilados de Maro-Cerro Gordo

Es de destacar que, para la designación de todos estos espacios RN2000, ha sido de vital importancia el desarrollo del proyecto LIFE-INDEMARES "Inventario y designación de la RN 2000 en áreas marinas del Estado español", que nació con el objetivo de mejorar la representación de los hábitat y especies marinos de las regiones marinas atlántica, mediterránea y macaronésica en la RN2000 en España. El MITECO fue socio de este proyecto, que ha sido clave para la identificación de espacios de valor para la Red Natura 2000, que a raíz de este estudio fueron declarados como tal.

Como continuación de INDEMARES, el MITECO es socio de LIFE-INTEMARES "Gestión integrada, innovadora y participativa de la RN2000 en el medio marino español". Se trata del mayor proyecto de conservación del medio marino en Europa, y de la primera iniciativa a nivel nacional que integra diversos fondos, políticas y actores para la gestión de toda una red de espacios protegidos. Su principal objetivo consiste en conseguir una red de espacios marinos de la RN2000, gestionada de manera eficaz, con la participación activa de los sectores implicados y con la investigación como herramientas básicas para la toma de decisiones.

- **Espacios Naturales Protegidos de ámbito marino o marítimo-terrestre, de diversas figuras de protección (Ley 42/2007):**

En la DM ESAL existen 17 espacios naturales protegidos marinos y marítimo-terrestres.

- Zona de Importancia Comunitaria (ZIC) Cabo de Gata-Níjar
- Monumento Natural Arrecife Barrera de Posidonia
- Monumento Natural Peñones de San Cristóbal
- Parque Natural del Estrecho

- Paraje Natural Alborán
- Paraje Natural Acantilados de Maro-Cerro Gordo
- Parque Natural Cabo de Gata-Nijar
- Zona de Importancia Comunitaria (ZIC) del Estrecho
- Espacio marino de Alborán
- Zona de Importancia Comunitaria (ZIC) Fondos Marinos Marismas del Río Palmones
- Zona de Importancia Comunitaria (ZIC) Fondos Marinos Estuario del Río Guadiaro
- Zona de Importancia Comunitaria (ZIC) Acantilados y Fondos Marinos Tesorillo-Salobreña
- Zona de Importancia Comunitaria (ZIC) Acantilados y Fondos Marinos de Calahonda-Castell de Ferro
- Zona de Importancia Comunitaria (ZIC) Acantilados y Fondos Marinos de la Punta de la Mona
- Zona de Importancia Comunitaria ZIC Acantilados de Maro-Cerro Gordo
- Zona de Importancia Comunitaria (ZIC) Calahonda
- Zona de la Red Ecológica Europea Natura 2000 Alborán

- **Áreas protegidas por instrumentos internacionales:** Tendrán la consideración de Espacios Protegidos por Instrumentos Internacionales todos aquellos espacios naturales que sean formalmente designados de conformidad con lo dispuesto en los Convenios y Acuerdos internacionales de los que sea parte España y, en particular, todos aquellos que se citan en el artículo 49 de la Ley 42/2007.
  En el caso del Mediterráneo, las áreas marinas protegidas por instrumentos internacionales son:

  - **ZEPIM**: Zonas Especialmente Protegidas de Importancia para el Mediterráneo (ZEPIM). Se trata de espacios declarados en virtud del Protocolo sobre las zonas especialmente protegidas y la diversidad biológica en el Mediterráneo (Protocolo SPA, 1995) en el marco del Convenio para la protección del medio marino y de la región costera del Mediterráneo (Convenio de Barcelona, 1995). Estos espacios costeros y marinos protegidos garantizan la pervivencia de los valores y recursos biológicos del Mediterráneo, ya que contienen ecosistemas típicos de la zona mediterránea o hábitat de especies en peligro, tengan un interés científico, estético o cultural especial. Actualmente, en DM ESAL, están declaradas las siguientes ZEPIM:

    - Isla de Alborán
    - Acantilados de Maro-Cerro Gordo
    - Cabo de Gata-Níjar

  - **Reservas de la Biosfera**: son zonas compuestas por ecosistemas terrestres, marinos y costeros, reconocidas por el Programa sobre el Hombre y la Biosfera de la UNESCO, cuyo objetivo es conciliar la mentalidad y el uso de los recursos naturales, esbozando el concepto de desarrollo sostenible. En cada una de ellas se fomentan soluciones para conciliar la conservación de la biodiversidad con su uso sostenible, el desarrollo económico, la investigación y la educación. En la DM ESAL existe una reserva de la biosfera marítimo-terrestre:

- Cabo de Gata-Níjar

En este apartado cabe destacar la Reserva de la Biosfera Intercontinental del Mediterráneo, que abarca superficie terrestre y marítima de España y Marruecos. Ésta no ha sido considerada en la lista debido a que su superficie marina no alcanza el 5% con respecto al total; sin embargo se trata de un espacio de gran importancia por su situación geográfica y por el éxito de ser un espacio protegido por ambos países.

- **Reservas Marinas:** Las reservas marinas constituyen una medida específica que contribuye a lograr una explotación sostenida de los recursos de interés pesquero, estableciendo medidas de protección específicas en áreas delimitadas de los caladeros tradicionales. Estas áreas, en cuya selección se tiene en cuenta su estado de conservación, deberán reunir determinadas características que permitan la mejora de las condiciones de reproducción de las especies de interés pesquero y la supervivencia de sus formas juveniles. El efecto de una reserva marina se manifiesta por una recuperación significativa de los caladeros en los que se encuentra por efecto de la dispersión de las especies cuya reproducción se ha protegido en la misma. Las reservas marinas que gestiona la SGP fueron incluidas en el informe de partida para las Estrategias como zonas BEA, constando de manera directa, a este pequeña escala, la relación directa entre el BEA y los rendimientos pesqueros de los barcos artesanales autorizados a pescar en las reservas por fuera de las reservas integrales.

  Actualmente, las reservas marinas de gestión estatal en la DM ESAL son:

  - Isla de Alborán
  - Cabo de Gata-Níjar

Información detallada sobre cada una de ellas se puede consultar en https://www.mapa.gob.es/app/reservas-marinas-espana/rmarinas-intro.asp

La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**muestra el mapa de los Espacios Marinos Protegidos de la DMESAL.

En la página web del MITECO[2] se pueden consultar más detalles sobre los espacios marinos protegidos de ámbito marino, y en su geoportal[3] es posible visualizar y descargar la cartografía asociada

[2] https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/biodiversidad-marina/espacios-marinos-protegidos.html
[3] https://sig.mapama.gob.es/geoportal/

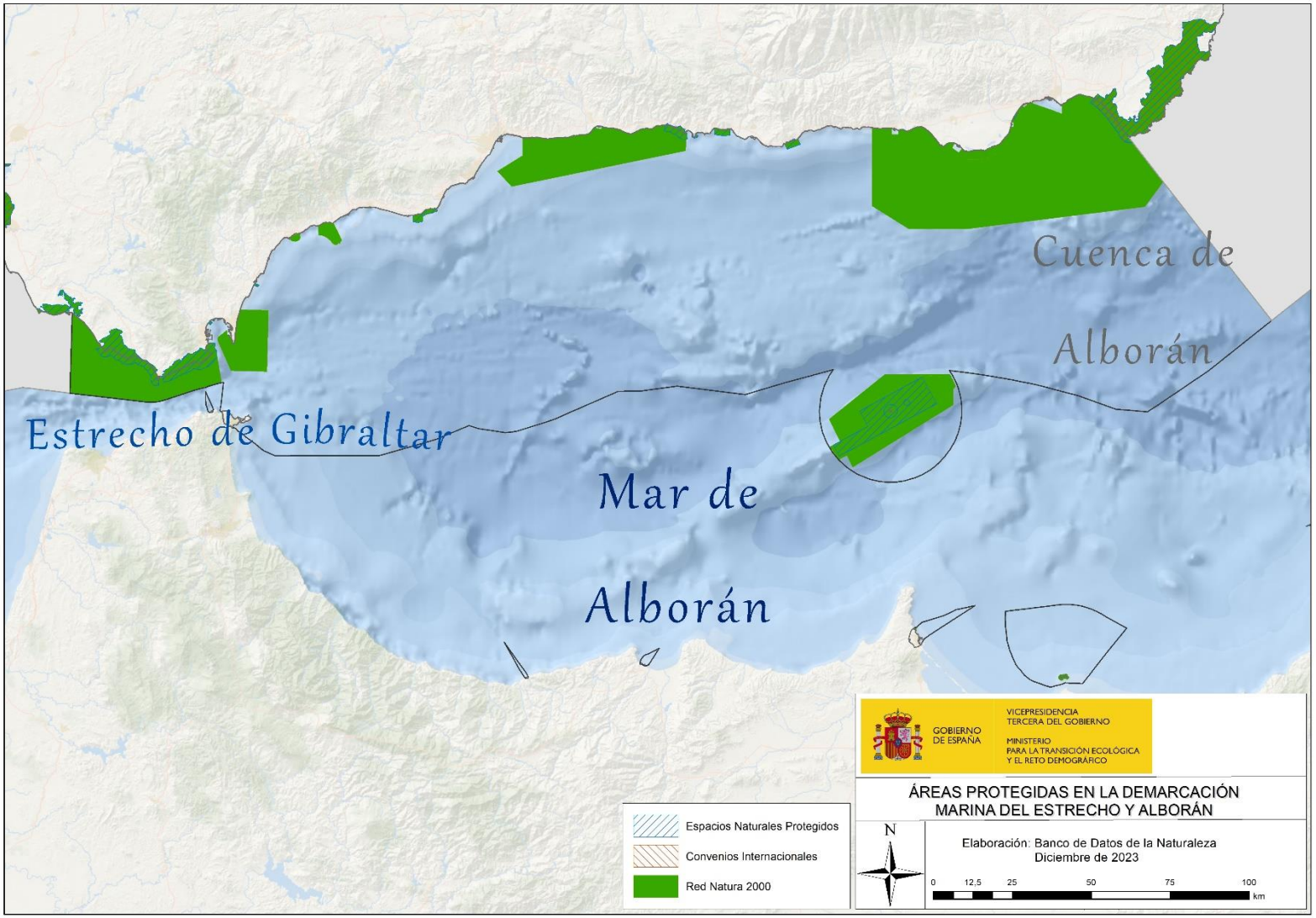



*Figura 31. Mapa de los Espacios Marinos Protegidos DMESAL*

### 4.3.2 Red de Áreas Marinas Protegidas de España (RAMPE)

La Ley 41/2010, de 29 diciembre, de protección del medio marino crea formalmente la RAMPE, la regula y establece cuáles son sus objetivos, los espacios naturales que la conforman y los mecanismos para su designación y gestión. Según esta ley, todos los espacios protegidos situados en aguas bajo soberanía o jurisdicción españolas, representativos del patrimonio natural marino, e independientemente de que su declaración y gestión estén regulados por normas internacionales, comunitarias, estatales o autonómicas podrán quedar integrados en la RAMPE. Así, el artículo 26 de la Ley 41/2010, en su apartado primero, enumera los **espacios marinos protegidos** de competencia estatal que podrán formar parte de la RAMPE. Estos son:

a) Las Áreas Marinas Protegidas.

b) Las Zonas Especiales de Conservación y las Zonas de Especial Protección para las Aves, que conforman la Red Natura 2000.

c) Otras categorías de espacios naturales protegidos, según establece el artículo 29 de la Ley 42/2007, de 13 de diciembre.

d) Las áreas protegidas por instrumentos internacionales, sin perjuicio de que su declaración y gestión se ajustará a lo dispuesto en su correspondiente normativa internacional.

e) Las Reservas Marinas reguladas en la Ley 3/2001, de 26 de marzo, de Pesca Marítima del Estado.

Asimismo, podrán formar parte de la RAMPE aquellos espacios protegidos y zonas protegidas en el ámbito pesquero cuya declaración y gestión sea competencia autonómica en el supuesto establecido en el artículo 36.1 de la Ley 42/2007, a propuesta de la Comunidad Autónoma afectada, previo acuerdo de la Conferencia Sectorial de Medio Ambiente.

El mismo artículo establece, además, que para su integración en la Red, todos estos espacios deberán cumplir una serie de criterios: los establecidos en el Real Decreto 1599/2011, de 4 de noviembre, por el que se establecen los criterios de integración de los espacios marinos protegidos en la Red de Áreas Marinas Protegidas de España. De este modo, podrán formar parte de la RAMPE, de acuerdo con el artículo 26.3 de la Ley 41/2010 de protección del medio marino, aquellos espacios protegidos de competencia autonómica que cumplan estos **criterios**, entre los que cabe destacar:

- representatividad;
- carácter único o rareza;
- importancia para hábitat o especies amenazados, en peligro, en declive o regresión;
- grado de naturalidad;
- productividad biológica;
- vulnerabilidad o fragilidad;
- contribución a la conectividad.

Actualmente se trabaja para ir integrando los distintos espacios marinos protegidos que cumplen dichos criterios en la RAMPE.



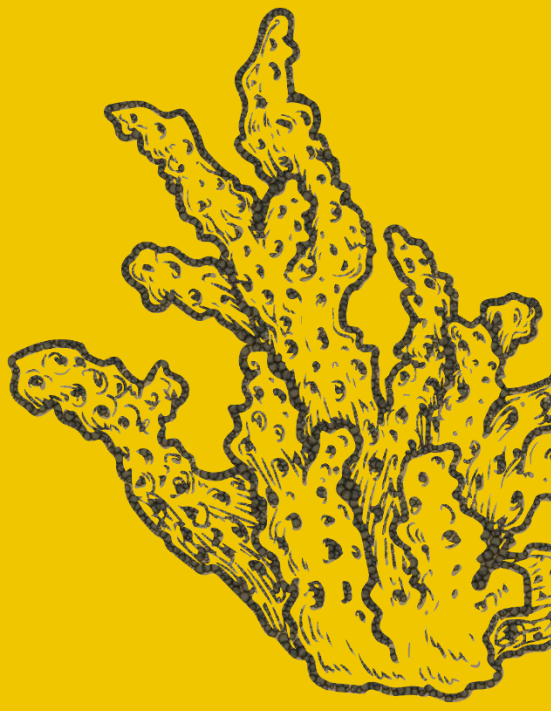


### 4.3.3 Superficie protegida de la demarcación marina Estrecho y Alborán

La DMESAL cubre  2.499.114,36 hectáreas. Actualmente, el 17,71 % de la superficie de la DM ESAL (**486.232,23** ha) está protegida a través de las diferentes figuras de protección mencionadas en los apartados anteriores (de competencia estatal y autonómica). En concreto,  un 17,71 % de la superficie de la DM ESAL (486.230,62 ha)está cubierta por espacios de la RN2000.

Por otro lado, un 10,35% de la superficie de la DMESAL forma parte de la RAMPE.

05



# REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

# 5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS


Agostini V.N., Bakun A. 2002. 'Ocean triads' in the Mediterranean Sea: physical mechanisms potentially structuring reproductive habitat suitability (with example application to European anchovy, *Engraulis encrasicolus*). Fisheries Oceanography. 11: 129-142.

Alonso, B.; Ercilla, G.; 2003. Small turbidite systems in a complex tectonic setting (SW Mediterranean Sea): morphology and growth patterns. *Marine and Petroleum Geology* 19(10):1225-1240.

Alonso, B.; Ercilla, G.; Juan, C.; López-González, N.; Cacho, I.; Francés, G.; Palomino, D.; Bárcenas, P.; Yenes, M.; Nespereira, J.; Ausín, B.; Mata, P.; Casas, D.; 2023. Contourite stratigraphic models linked to the light intermediate versus dense deep Mediterranean water flow regime variations (Alboran Sea, SW Mediterranean). *Marine Geology* 465: 107147. DOI: 10.1016/j.margeo.2023.107147.

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

Altamirano, M., de la Rosa, J., & Martínez, F.J. (2016) Arribazones de la especie exótica *Rugulopteryx okamurae* (E.Y. Dawson) I.K. Hwang, W.J. Lee & H.S. Kim (Dictyotales, Ochrophyta) en el Estrecho de Gibraltar: primera cita para el Atlántico y España. RIUMA. Available from: https://riuma.uma.es/xmlui/handle/10630/12433

Álvarez, M., Catalá, T.S., Civitarese, G., Coppola, L., Hassoun, A.E.R., Ibello, V., Lazzari, P., Lefevre, D., Macías, D., Santinelli, C., Ulses, C., 2023. Mediterranean Sea general biogeochemistry. Oceanogr. Mediterr. Sea 387–451. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823692-5.00004-2.

Amaya-Vías S, Flecha S, Pérez FF, Navarro G, García-Lafuente J, Makaoui A and Huertas IE (2023) The time series at the Strait of Gibraltar as a baseline for long-term assessment of vulnerability of calcifiers to ocean acidification. *Front. Mar. Sci.* 10:1196938. doi: 10.3389/fmars.2023.1196938

Archer, D., M. Eby, V. Brovkin, A. Ridgwell, L. Cao, U. Mikolajewicz, K. Caldeira, K. Matsumoto, G. Munhoven, A. Montenegro, K. Tokos (2009). Atmospheric lifetime of fossil fuel carbon dioxide. Annu. Rev. Earth Planet. Sci., 37, pp. 117-134, 10.1146/annurev.earth.031208.100206

Azzouz, K., Diatta, Y., Mansour, S., Boumaïza, M., Ben Amor, M.M., Capapé, C. (2011) First record of the west African goatfish, *Pseudupeneus prayensis* (Actinopterygii: Perciformes: Mullidae), off the Tunisian coast (central Mediterranean). Acta Ichthyologica et Piscatoria, 41(2): 133–136.

Azzurro, E., Soto, S., Garofalo, G., Maynou, F. (2013) *Fistularia commersonii* in the Mediterranean Sea: invasion history and distribution modeling based on presence-only records. Biological Invasions, 15: 977–990.

Báez, J.C., Camiñas, J.A., Aguilera, R., Castro-Gutiérrez, J., Real, R. (2023) When non-target wildlife species and alien species both affect negatively to an artisanal fishery: the case of trammel net in the Alboran Sea. Reviews in Fish Biology and Fisheries, 33: 785–799.

Bakker, D. C. E., et al. (2016). A multi-decade record of high-quality fCO2 data in version 3 of the Surface Ocean $CO_2$ Atlas (SOCAT), Earth Syst. Sci. Data, 8, 383–413, https://doi.org/10.5194/essd-8-383-2016.

Ballesteros, E. (2006) Mediterranean coralligenous assemblages: a synthesis of present knowledge. Oceanogr Mar Biol 44:123–195.

Ballesteros, E., & Pinedo, S. (2004) Los bosques de algas pardas y rojas. En: Luque, A.A., Templado, J. (coord) Praderas y bosques marinos de Andalucía. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía, Sevilla, pp 199–222.

Barberá, C., Bordehore, C., Borg, J.A., Glémarec, M., Grall, J., Hall-Spencer, J.M., De la Huz, CH., Lanfranco, E., Lastra, M., Moore, P.G., Mora, J., Pita, M.E., Ramos-Esplá, A.A., Rizzo, M., Sánchez-Mata, A., Seva, A., Schembri, P.J., & Valle, C. (2003) Conservation and management of northeast Atlantic and Mediterranean maërl beds. Aquat Conserv 13(S1):65–76.

Bárcenas, P.; 2002. Morfología submarina y evolución reciente del banco de la isla de Alborán. *Tesis de Licenciatura*. Universidad de Cádiz. 234 págs.

Bárcenas, P.; 2013. Procesos morfogenéticos y evolución reciente de los depósitos prodeltaicos del sureste de la Península Ibérica: Aplicaciones de modelos matemáticos. *Tesis doctoral*. Universidad de Málaga. 410 págs.. URI. http://hdl.handle.net/10630/10476.

Bárcenas, P.; Vázquez, J.T.; Díaz del Río, V.; Fernández-Salas, L.M.; 2004. Geomorfología del Banco de la Isla de Alborán. *Geotemas* 6(2): 209- 212.

Bárcenas, P.; Vázquez, J.T.; Fernández-Salas, L.M.; López-Gonzalez, N.; García-Martínez, M.C.; 2018. The influence of the Atlantic Jet and the Mediterranean Waters (MW) on the Alboran Ridge, Western Mediterranean Sea. En: Cunha, P.P.; et al. (Eds.), *Atas do IX Simpósio sobre a Margem Ibérica Atlântica*: 295-296. ISBN: 978-989-98914-2-5.

Barea-Azcón, J.M., Ballesteros-Duperón, E., & Moreno, D. (2008) Libro Rojo de los invertebrados de Andalucía, vol 1–4. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía, Sevilla, 1430 pp.

Basso, L., Vázquez-Luis, M., García-March, J.R., Deudero, S., Álvarez, E., Vicente, N., Duarte, C.M., & Hendriks, I.E. (2015) The pen shell, *Pinna nobilis*: a review of population status and recommended research priorities in the Mediterranean Sea. Adv Mar Biol 71:109-160. https://doi.org/10.1016/bs.amb.2015.06.002

Belgrano, A., Fowler, C.W., 2013 How Fisheries Affect Evolution. Science 342: 1176-1177.

Bianchi, C.N., Caroli, F., Guidetti, P., Morri, C. (2018) Seawater warming at the northern reach for southern species: Gulf of Genoa, NW Mediterranean. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom, 98(1): 1–12.

Bianchi, C.N., Morri, C. (2003) Global sea warming and 'tropicalization' of the Mediterranean Sea: biogeographic and ecological aspects. Biogeographia, 24: 319–327.

Blaya-Valencia, G. Ventero A. Iglesias M. 2022. Biological parameters and overlapping distribution of Sardinella aurita spawners and eggs in the Spanish Mediterranean Sea continental shelf. Conference: Small Pelagic Fish: New Frontiers in Science for Sustainable Management At: Lisbon, Portugal.

Bordehore, C., Ramos-Esplá, A.A., & Riosmena-Rodríguez, R. (2003) Comparative study of two maerl beds with different otter trawling history, southeast Iberian Peninsula. Aquat Conserv 13(S1):43–54.

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

Breitburg, D., Levin, L. A., Oschlies, A., Grégoire, M., Chavez, F. P., Conley, D. J., … Zhang, J. (2018). Declining oxygen in the global ocean and coastal waters. *Science, 359*(6371), eaam7240. https://doi.org/10.1126/science.aam7240

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

Cabanellas-Reboredo, M., Vázquez-Luis, M., Mourre, B., Álvarez, E., Deudero, S., Amores, Á., Addis, P., Ballesteros, E., Barrajón, A., Coppa, S., García-March, J.R., Giacobbe, S., Giménez Casalduero, F., Hadjioannou, L., Jiménez-Gutiérrez, S.V., Katsanevakis, S., Kersting, D., Mačić, V., Mavrič, B., Paolo Patti, F., Planes, S., Prado, P., Sánchez, J., Tena-Medialdea, J., de Vaugelas, J., Vicente, N., Belkhamssa, F.Z., Zupan, I., & Hendriks, I.E. (2019) Tracking a mass mortality outbreak of pen shell *Pinna nobilis* populations: A collaborative effort of scientists and citizens. Sci Rep 9(13355). https://www.nature.com/articles/s41598-019-49808-4

Calvín Calvo, J.C. (1995). El ecosistema marino mediterráneo. Guía de su flora, fauna y hábitats. 797pp.

Camiñas J.A. (1983). Datos preliminares sobre la biomasa zooplanctónica en el sector noroccidental del mar de Alboran. *Bol. Inst. Esp. Oceanogr* 1: 1–18.

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.

Campbell, M.L., King, S., Heppenstall, L.D., van Gool, E., Martin, R., Hewitt, C.L. (2017) Aquaculture and urban marine structures facilitate native and non-indigenous species transfer through generation and accumulation of marine debris. Marine Pollution Bulletin, 123(1-2): 304–312.

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.

Carella, F., Antuofermo, E., Farina, S., Salati, F., Mandas, D., Prado, P., Panarese, R., Marino, F., Fiocchi, E., Pretto, T., & De Vico, G. (2020) In the wake of the ongoing mass mortality events: co-occurrence of *Mycobacterium*, *Haplosporidium* and other pathogens in *Pinna nobilis* collected in Italy and Spain (Mediterranean Sea). Front Mar Sci 7:48. https://doi.org/10.3389/fmars.2020.00048

Carella, F., Palić, D., Šarić, T., Župan, I., Gorgoglione, B., Prado, P., Andree, K.B., Giantsis, I.A., Michaelidis, B., Lattos, A., Theodorou, J.A., Barja, J.L., Rodriguez, S., Scarpa, F., Casu, M., Antuofermo, E., Sanna, D., Otranto, D., Panarese, R., Iaria, C., Marino, F., Vico, G.D. (2023) Multipathogen infections and multifactorial pathogenesis involved in noble pen shell (*Pinna nobilis*) mass mortality events: Background and current pathologic approaches. Vet Pathol 60(5):560-577. https://doi.org/10.1177/03009858231186737

Casas, D.; Ercilla, G.; Yenes, M.; Estrada, F.; Alonso, B.; Garcia, M.; Somoza, L.; 2011. The Baraza slide. Model and dynamics. Seafloor mapping for geohazard assessment. *Marine Geophysical Research* 32(1-2): 245-256.

Castellanos, C., Hernández-Vega, S., & Junoy, J. (2003) Isópodos marinos (Crustacea: Isopoda) de las islas Chafarinas (Mediterráneo occidental). Bol Inst Esp Oceanogr 19(1–4):219–233.

Catanese, G., Grau, A., Valencia, J.M., Garcia-March, J.R., Vázquez-Luis, M., Alvarez, E., Deudero, S., Darriba, S., Carballal, M., & Villalba, A. (2018) *Haplosporidium pinnae* sp. nov., a haplosporidan parasite associated with mass mortalities of the fan mussel, *Pinna nobilis*, in the Western Mediterranean Sea. J Invertebr Pathol 157:9-24. https://doi.org/10.1016/j.jip.2018.07.006

Cebrián, E., & Ballesteros, E. (2004) Zonation patterns of benthic communities in an upwelling area from the western Mediterranean (La Herradura, Alboran Sea). Sci Mar 68:69–84.

Cerrillo-Escoriza, J.; Lobo, F.J.; Puga-Bernabéu, Á.; Bárcenas, P.; Mendes, I.; Pérez-Asensio, J.N.; Durán, R.; Andersen, T.J.; Carrión-Torrente, Á.; García, M.; López-Quirós, A.; Luján, M.; Mena, A.; Sánchez-Guillamón, O.; Sánchez, M.J.; 2024. Variable downcanyon morphology controlling the recent activity of shelf-incised submarine canyons (Alboran Sea, western Mediterranean). *Geomorphology* 453: 109127. DOI: 10.1016/j.geomorph.2024.109127.

Cha, H., Moon, JH., Kim, T., Song, Y.T. 2023. A process-based assessment of the sea-level rise in the northwestern Pacific marginal seas. *Commun Earth Environ* 4, 300, https://doi.org/10.1038/s43247-023-00965-5.

Cheney, R.E.; Doblar, R.A.; 1982. Structure and variability of the Alboran Sea frontal system. Journal of Geophysical Research, 84 (C1): 585-594, https://doi.org/10.1029/JC087iC01p00585

Church, J.A., White, N.J. 2006. A 20th century acceleration in global sea-level rise. Geophys Res Lett 33: L01602. *Geophysical Research Letters*, 33. L01602, https://doi.org/10.1029/2005GL024826

Ciércoles, C., García-Ruiz, C., González-Aguilar, M., Ortiz-de-Urbina-Gutiérrez, J. M., López-González, N., Urra, J., & Rueda, J. L. (2018). Molluscs collected with otter trawl in the northern Alboran Sea: main assemblages, spatial distribution and environmental linkage. Centro Oceanográfico de Málaga.

Conradi, M., & López-González, P.J. (1999) The benthic Gammaridea (Crustacea, Amphipoda) fauna of Algeciras Bay (Strait of Gibraltar): distributional ecology and some biogeographical considerations. Helgoland Mar Res 53:2–8.

Corbera, G., Iacono, C.L., Gràcia, E., Grinyó, J., Pierdomenico, M., Huvenne, V.A., Aguilar, R., & Gili, J.M. (2019) Ecological characterization of a Mediterranean coldwater coral reef: cabliers coral mound province (Alboran Sea, western Mediterranean). Progr Oceanogr 175:245–262.

Cortés D. (2006). Estudio de la variabilidad del estado nutricional medido mediante indicadores bioquímicos de las larvas de sardina (*Sardina pilchardus*) del Mar de Alborán. Tesis doctoral, Universidad de Málaga.

Cortés D., Gómez F., Mercado J.M., Yebra L. (2012). *Estrategia Marina. demarcación Marina levantino-balear. Parte IV. Descriptores del Buen Estado Ambiental. Descriptor 5. Eutrofización. Evaluación inicial y Buen Estado Ambiental*.

D'Ortenzio, F., Antoine, D., and Marullo, S. (2008). Satellite-driven modelling of the upper ocean mixed layer and air-sea CO2 flux in the Mediterranean Sea. Deep Sea Res. Pt. I 55, 405–434. doi: 10.1016/j.dsr.2007.12.008

d'Acremont, E.; Lafuerza, S.; Rabaute, A.; Lafosse, M.; Jollivet Castelot, M.; Gorini, C.; Alonso, B.; Ercilla, G.; Vazquez, J.T.; Vandorpe, T.; Juan, C.; Migeon, S.; Ceramicola, S.; Lopez-Gonzalez, N.; Rodriguez, M.; El Moumni, B.; Benmarha,

O.; Ammar, A.; 2022. Distribution and origin of submarine landslides in the active margin of the southern Alboran Sea (Western Mediterranean Sea). *Marine Geology* 445: 106739. DOI: 10.1016/j.margeo.2022.106739.

Dai M., Su J., Zhao Y., Hofmann E. E., Cao Z., Cai W. J., et al. (2022). Carbon fluxes in the coastal ocean: Synthesis, boundary processes, and future trends. Annu. Rev. Earth Planetary Sci. 50, 593–626. doi: 10.1146/annurev-earth-032320-090746

Darriba, S. (2017). First haplosporidan parasite reported infecting a member of the Superfamily Pinnoidea (*Pinna noblis*) during a mortality event in Alicante (Spain, Western Mediterranean). J Inv Pathol 148:14–19. https://doi.org/10.1016/j.jip.2017.05.006

De la Rosa, J. (2012) Cyanoprokariotas microfitobentónicas del litoral de Andalucía. Universidad de Granada, Granada, 265 pp.

De la Torriente, A., Aguilar, R., Serrano, A., García, S., Fernández, L., García, M., Punzón, A., Arcos, J., Sagarminaga, R. (2014) Sur de Almería – Seco de los Olivos. Proyecto LIFE+ INDEMARES. Fundación Biodiversidad del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Madrid, 102 pp.

De la Torriente, A., Serrano, A., Fernández-Salas, L.M., García, M., & Aguilar, R. (2018) Identifying epibenthic habitats on the Seco de los Olivos Seamount: species assemblages and environmental characteristics. Deep Sea Res Part 1 135:9–22.

Díaz Almela, E., & Marbà, N. (2009) *Posidonion oceanicae*. Praderas de *Posidonia oceanica* (*). En: Bermejo, E., & Melado, F. (coord) Bases ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitat de interés comunitario en España. Dirección General de Medio Natural y Política Forestal, Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino, Madrid, 129 pp.

Doney, S. C., Busch, D. S., Cooley, S. R., and Kroeker, K. J. (2020). The impacts of ocean acidification on marine ecosystems and reliant human communities. Annu. Rev. Environ. Resour. 45, 83–112. doi: 10.1146/annurev-environ-012320-083019

Elton, C. (1927) Animal Ecology. Reprint, 2001, University of Chicago Press edn, Sidgewick & Jackson, London.

Ercilla, G.; 1992. Sedimentación en márgenes continentales y cuencas del Mediterráneo Occidental durante el Cuaternario (Península Ibérica). *Tesis Doctoral.* Universitat Politècnica de Catalunya.

Ercilla, G.; Baraza, J.; Alonso, B.; Estrada, F.; Casas, D.; Farran, M.; 2002. The Ceuta Drift, Alboran Sea, southwestern Mediterranean. Geological Society, London, Memoirs 22:155-170Ercilla, G.; Juan, C.; Hernández-Molina, F.J.; Bruno, M.; Estrada, F.; Alonso, B.; Casas, D.; Farran, M.; Llave, E.; García, M.; Vázquez, J.T.; D'Acremont, E.; Gorini, C.; Palomino, D.; Valencia, J.; El Moumni, B.; Ammar, A. 2016. Significance of bottom currents in deep-sea morphodynamics: An example from the Alboran Sea. *Marine Geology* 378: 157-170. DOI: 10.1016/j.margeo.2015.09.007.

Ercilla, G.; Vázquez, J.-T.; Alonso, B.; Barcenas, P.; Casas, D.; d'Acremont, E.; Estrada, F.; Fernández-Salas, L.M.; Galindo-Zaldívar, J.; Juan, C.; Lobo, F.; López-González, N.; Palomino, D.; Sánchez-Guillamón, O.; Chourak, M.; Gil, A.; Gómez-Ballesteros, M.; El Moumni, B.; Peláez, J.A.; Valencia, J.; Gorini, C.; 2021. Seafloor morphology and processes in the Alboran sea. *Alboran Sea - Ecosystems and Marine Resources*: 157-205. DOI: 10.1007/978-3-030-65516-7_6.

Esposito, G., Prearo, M., Menconi, V., Mugetti, D., Meloni, D., Tomasoni, M., Pizzul, E., Piras, P., Renzi, M., Gaspa, D., et al. (2021) Northward spread of the parrotfish *Sparisoma cretense* (Teleostei: Scaridae) in the Mediterranean Sea: an update on current distribution with two new records from Sardinia. Journal of Marine Science and Engineering, 9(5): 536.

Estrada F, Galindo-Zaldívar J, Vázquez JT, Ercilla G, D'Acremont E, Alonso B, Gorini Ch.; 2018. Tectonic indentation in the central Alboran Sea (westernmost Mediterranean). *Terra Nova* 30(1):24-33.

Estrada, M., 1996. Primary production in the northwestern Mediterranean. Sci. Mar. 60, 55–64.

Fernández de Puelles M.L., Gazá M., Cabanellas-Reboredo M., O'Brien T.D. (2023). Decadal trends in the zooplankton community of the western Mediterranean. *Water* 15: 4267. https://doi.org/10.3390/w15244267

Fernández Muñoz, R., & García Raso, J.E. (1987) Study of a population of *Alpheus dentipes* Guerin, 1832 from calcareous bottoms in the southern Spain. Investigación Pesquera (Spain) 51(1):343-359.

Fernández-Salas, 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 (1-4), pp. 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(1-2): 4-11. DOI: 10.1016/j.geomorph.2008.05.013.

Fink, H.G., Wienberg, C., De Pol-Holz, R., Wintersteller, P., & Hebbeln, D. (2013) Cold-water coral growth in the Alboran Sea related to high productivity during the Late Pleistocene and Holocene. Mar Geol 339:71–82. https://doi.org/10.1016/j.margeo.2013.04.009

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, https://doi.org/10.1016/0198-0149(87)90022-7

Franzosini, C., & Limam, A. (2004) Plan de gestion de la composante marine du Parc National d'Al Hoceima. Projet Régional pour le Développement d'Aires Protégées Marines et Côtières dans la Région Méditerranéenne (Projet MedMPA). RAC/SPA, Tunis, 92 pp+annexes.

Freeden, W., Nashed, M.Z., Sonar, T. 2015. Handbook of Geomathematics: Second Edition, Springer, 353-390, https://doi.org/10.1007/978-3-642-54551-1

Friedlingstein, P. et al. (2023). Global Carbon Budget 2023, Earth Syst. Sci. Data, 15, 5301–5369, https://doi.org/10.5194/essd-15-5301-2023.

Gaertner, J.C., Bertrand,J.; Gil de Sola, L.; Durbec, J.P.; Ferrandis, E.; Souplet, A. 2005. Large spatial scale variation of demersal fish assemblage structure on the continental shelf of the NW mediterranean sea. Marine Ecology Progress Series, 297, págs. 245-257.

Gaertner, J.C.; Bertrand, J, Relini, G.; Papaconstantinou, C.; Mazouni, N.; Gil deSola, L.; Durbec, J.P.; Jukic-Peladic. S.; Souplet.A. 2007. Spatial pattern in species richness of fish demersal assemblages on the continental shelf of the northern Mediterranean Sea: a multiscale analysis. Marine Ecology Progress Series, 341, págs. 101-203.

García A. (2006). Estudio sobre la variabilidad del crecimiento larvario de la sardina (Sardina pilchardus, Walbaum) del Mar de Alborán. Tesis doctoral, Universidad de Vigo.

García Muñoz, J.E, Cuesta Mariscal, J.A., & García Raso, J.E. (2014) Taxonomic study of the *Pagurus forbesii* "complex" (Crustacea: Decapoda: Paguridae). Description of *Pagurus pseudosculptimanus* sp. nov. from Alborán Sea (Southern Spain, Western Mediterranean Sea). Zootaxa 3753(1):25–46.

García Muñoz, J.E., Manjón-Cabeza, M.E., & García Raso, J.E. (2008) Decapod crustacean assemblages from littoral bottoms of the Alborán Sea (Spain, West Mediterranean Sea): spatial and temporal variability. Sci Mar 72(3):437–449.

García Raso, J.E. (1990) Study of a Crustacea Decapoda taxocoenosis of *Posidonia oceanica* beds from the Southeast of Spain. Mar Ecol 11(4):309–326.

García Raso, J.E. (1996) Crustacea Decapoda (Excl. Sergestidae) from Ibero-moroccan waters. Results of BALGIM-84 expedition. Bull Mar Sci 58:730–752.

García Raso, J.E., & Fernández Muñoz, R. (1987) Estudio de una comunidad de Crustáceos Decápodos de fondos "coralígenos" del alga calcárea *Mesophyllum lichenoides* del sur de España. Inv Pesq 51(1):30–322.

García Raso, J.E., & Manjón-Cabeza, M.E. (2002) An infralittoral decapod Crustacean community of southern Spain affected by anthropogenic disturbances. J Crust Biol 22(1):83–90.

García Raso, J.E., Gofas, S., Salas, C., Manjón-Cabeza, M., Urra, J., & García, J.E. (2010) El mar más rico de Europa: Biodiversidad del litoral occidental de Málaga entre Calaburras y Calahonda. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía, Sevilla. 138 pp.

García Raso, J.E., López De La Rosa, I., & Rosales, J.M. (1996) Decapod crustaceans communities from calcareous seaweed and *Posidonia oceanica* (rhizome stratum) in shallow waters. Ophelia 45(2):143–158.

García Raso, J.E., Luque, A.A., Templado, J., Salas, C., Hergueta, E., Moreno, D., Calvo, M. (1992) Fauna y flora marinas del Parque Natural de Cabo de Gata-Níjar. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía, Madrid, 288 pp.





García Raso, J.E., Martín, M.J., Díaz, V., Cobos, V., & Manjón-Cabeza, M.E. (2006) Diel and seasonal changes in the structure of a decapod (Crustacea: Decapoda) community of *Cymodocea nodosa* from Southeastern Spain (West Mediterranean Sea). Hydrobiologia 557:59–68.

García, M.; Alonso, B.; Ercilla, G.; Gràcia, E.; 2006. The tributary valley systems of the Almeria Canyon (Alboran Sea, SW Mediterranean): Sedimentary architecture. *Marine Geology* 226(3-4): 207-223.

García, M.J., Tel, E., Molinero, J. 2012. Sea-level variations on the north and northwest coasts of Spain, ICES *Journal of Marine Science*, Volumen 69, 5, 720–727, https://doi.org/10.1093/icesjms/fss058

Garcia-Castellanos, D.; Estrada, F.; Jiménez-Munt, I.; Gorini, C.; Fernández, M.; Vergés, J.; De Vicente, R.; 2009. Catastrophic flood of the Mediterranean after the Messinian salinity crisis. *Nature* 462: 778-781.

García-Gómez, J.C., Sempere-Valverde, J., González, A.R., Martínez-Chacón, M., Olaya-Ponzone, L., Sánchez-Moyano, E., Ostalé-Valriberas, E., & Megina, C. (2020) From exotic to invasive in record time: the extreme impact of *Rugulopteryx okamurae* (Dictyotales, Ochrophyta) in the strait of Gibraltar. Sci Total Environ 704:135408. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135408

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, https://doi.org/10.1029/1999JC000029

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.

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. Disponible en: http://hdl.handle.net/10261/317539

García-March, J.R., Tena, J., Henandis, S., Vázquez-Luis, M., López, D., Téllez, C., Prado, P., Navas, J.I., Bernal, J., Catanese, G., Grau, A., López-Sanmartín, M., Nebot-Colomer, E., Ortega, A., Planes, S., Kersting, D., Jimenez, S., Hendriks, I.E., Moreno, D., Giménez-Casalduero, F., Pérez, M., Izquierdo, A., Sánchez, J., Vicente, N., Sanmarti, N., Guimerans, M., Crespo, J.L., Valencia, J.M., Torres, J., Barrajon, A., Álvarez, E., Peyran, C., Morage, T., & Deudero, S. (2020) Can we save a marine species affected by a highly infective, highly lethal, waterborne disease from extinction? Biol Conserv 243:108498. https://doi.org/10.1016/j.biocon.2020.108498

García-Martínez M.C., Vargas-Yáñez M., Moya F., Santiago R., Muñoz-Muñoz M., Reul A. Ramírez T., Balbín R. (2019b). Average nutrient and chlorophyll distributions in the Western Mediterranean: RADMED Project. *Oceanología* 61: 143-169.

García-Martínez M.C., Vargas-Yáñez M., Moya F., Santiago R., Reul A., Muñoz-Muñoz M., López-Jurado J.L., Balbín R. (2019a). Spatial and Temporal Long-Term Patterns of Phyto and Zooplankton in the W-Mediterranean: RADMED Project. *Water* 11: 534. https://doi.org/10.3390/w11030534

García-Ruiz C. 2012. Estudio de la distribución y diversidad ictiofaunística del Mar de Alboran [PhD Thesis]. Málaga: University of Málaga.

García-Ruiz, C.; Ciércoles, C.; González, M.; Torres, P.; Serna, J.M.; Rueda, J.L. 2023. Patrones de distribución espacio-temporal de especies ícticas demersales circalitorales y batiales en el mar de Alborán. Juan Pérez de Rubín y Teodoro Ramírez (eds), 2023, El estrecho de Gibraltar: llave natural entre dos mares y dos continents. Real Sociedad Española de Historia Natural, págs. 255-270.

García-Ruiz, C.; Lloris, D.; Rueda, J.L; García-Martínez, M.C; Gil de Sola, L. 2015. Spatial distribution of ichthyofauna in the northern Alboran Sea (western Mediterranean). Journal of Natural History, 49. Págs. 1191-1224.

Giakoumi, S., Sini, M., Gerovasileiou, V., Mazor, T., Beher, J., Possingham, H.P., Abdulla, A., Ertan Çinar, M., Dendrinos, P., Cemal Gucu, A., Karamanlidis, A.A., Rodic, P., Panayotidis, P., Taskin, E., Jaklin, A., Voultsiadou, E., Webster, C., Zenetos, A., & Katsanevakis, S. (2013) Ecoregion-based conservation planning in the Mediterranean: dealing with large-scale heterogeneity. PLoS ONE 8(10):e76449

Giannoulaki M. Iglesias M., Tugores M.P. Bonanno A. Patti B. et al. 2013. Characterising the potential habitat of European anchovy Engraulis encrasicolus in the Mediterranean Sea, at different life stages. Fisheries Oceanography. 22: 69-89.

Gil de Sola, L. 1999. Ictiofauna demersal del mar de Alborán: Distribución, abundancia y espectro de tamaños. Tesis doctoral. Universidad de Málaga.

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.

Gofas, S., Goutayer, J., Luque, Á.A., Salas, C., & Templado, J. (2014a) Espacio Marino de Alborán. Proyecto LIFE+ INDEMARES. Fundación Biodiversidad, Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Madrid, 129 pp.

Gofas, S., Moreno, D., & Salas, C. (2011) Moluscos marinos de Andalucía, vols I & II. Servicio de Publicaciones e Intercambio Científico, Universidad de Málaga, Málaga.

Gofas, S., Salas, C., Rueda, J.L., Canoura, J., Farias, C., & Gil, J. (2014b) Mollusca from a species-rich deep-water Leptometra community in the Alboran Sea. Sci Mar 78(4):537–553.

Gómez-Jakobsen F.J, Ferrera I., Yebra L., Mercado J.M. (2022). Two decades of satellite surface chlorophyll-a concentration (1998-2019) in the Spanish Mediterranean marine waters (Western Mediterranean Sea): Trends, phenology and eutrophication assessment. *Remote Sensing Applications: Society and Environment* 28: 100855. https://doi.org/10.1016/j.rsase.2022.100855

Gómez-Jakobsen F.J., Mercado J.M., Cortés D., Yebra L., Salles S. (2019). A first description of the summer upwelling off the Bay of Algeciras and its role in the northwestern Alboran Sea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 225: 106230. https://doi.org/10.1016/j.ecss.2019.05.012

González, M C, Sánchez, P (2002). Cephalopod assemblages caught by trawling along the Iberian Peninsula mediterranean coast. Scientia Marina, 66, 199-208.

González-Aguilar, M.; García-Ruiz, C.; García-Jiménez, T., Serna, J.M.; Ciércoles C.; Baro, J. 2021. Demersal Resources. En: Baez, J.C., Vázquez, T., Camiñas, J., Malouli, M., Eds. Alboran Sea Ecosystems and Marine Resources. Springer, Cham. págs. 589-628.

González-Ortegón, E., Jenkins, S., Galil, B.S., Drake, P., Cuesta, J.A. (2020) Accelerated invasion of decapod crustaceans in the southernmost point of the Atlantic coast of Europe: A non-natives' hot spot? Biological Invasions, 22: 3487–3492.

Grau, A., Villalba, A., Navas, J.I., Hansjosten, B., Valencia, J.M., García-March, J.R., Prado, P., Follana, G., Morage, T., Vázquez-Luis M., Álvarez, E., Katharios, P., Pavloudi, C., Nebot- Colomer, E., Tena-Medialdea, J., Lopez-Sanmartín, M., Peyran, C., Čižmek, H., Sarafidou, G., Issaris, Y., Tüney-Kizilkaya, I., Deudero, S., Planes, S., & Catanese, G. (2022) Wide-geographic and long-term analysis of the role of pathogens in the decline of *Pinna nobilis* to critically endangered species. Front Mar Sci 9:666640. https://doi.org/10.3389/fmars.2022.666640

Grégoire, M., Oschlies, A., Canfield, D., Castro, C., Ciglenečki, I., Croot, P., Salin, K., Schneider, B., Serret, P., Slomp, C.P., Tesi, T., Yücel, M. (2023). Ocean Oxygen: the role of the Ocean in the oxygen we breathe and the threat of deoxygenation. Rodriguez Perez, A., Kellett, P., Alexander, B., Muñiz Piniella, Á., Van Elslander, J., Heymans, J. J., [Eds.] Future Science Brief No. 10 of the European Marine Board, Ostend, Belgium. ISSN: 2593-5232. ISBN: 9789464206180. DOI: 10.5281/ zenodo.7941157

Gruber, N. (2011). Warming up, turning sour, losing breath: ocean biogeochemistry under global change. Philos. Trans. R. Soc Math. Phys. Eng. Sci. 369, 1980–1996. doi: 10.1098/rsta.2011.0003

Guallart, J., & Afán, I. (2013) Los sistemas naturales en el archipiélago de las islas Chafarinas. Aldaba 37:39–94.

Guallart, J., & Calvo, M. (2006) Distribución y abundancia de las formaciones de *Dendropoma petraeum* (Mollusca, Vermetidae) en las islas Chafarinas (Mediterráneo SW). Simposio Ibérico de Estudios de Biología Marina, Barcelona, 159 pp.

Guallart, J., & Templado, J. (2012) *Pinna nobilis*. En: VV.AA., Bases ecológicas preliminares para la conservación de las especies de interés comunitario en España. Invertebrados. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Madrid, 81 pp.

Guerra-García, J.M., & Izquierdo, D. (2010) Caprellids (Crustacea: Amphipoda) associated with the intertidal alga *Corallina elongata* along the Iberian Peninsula. Mar Biod Rec 3:1–7.



Guerra-García, J.M., Cabezas, P., Baeza-Rojano, E., Espinosa, F., & García-Gómez, J.C. (2009a) Is the north side of the Strait of Gibraltar more diverse than the south side? A case study using the intertidal peracarids (Crustacea: Malacostraca) associated to the seaweed *Corallina elongata*. J Mar Biol Assoc UK 89(2):387–397.

Guerra-García, J.M., Pacios, I., Baeza-Rojano, E., Cabezas, M.P., Ros, M., & García-Gómez, J.C. (2011) Patrones de variación espacial de las comunidades intermareales de la isla de Tarifa (Cádiz). Migres 2:25–34.

Halpern, B. S., McLeod, K.L., Rosenberg, A.A., Crowder, L.B., 2008. Managing for cumulative impacts in ecosystem-based management through ocean zoning. Ocean & Coastal Management 51 (3), 203-211.

Hassoun AER, Bantelman A, Canu D, Comeau S, Galdies C, Gattuso J-P, Giani M, Grelaud M, Hendriks IE, Ibello V, Idrissi M, Krasakopoulou E, Shaltout N, Solidoro C, Swarzenski PW and Ziveri P (2022) Ocean acidification research in the Mediterranean Sea: Status, trends and next steps. *Front. Mar. Sci.* 9:892670. doi: 10.3389/fmars.2022.892670

Hebbeln, D., Wienberg, C., Beuck, L., Freiwald, A., & Wintersteller, P. (2009) Report and preliminary results of RV Poseidon Cruise POS 385: "Cold-water corals of the Alboran Sea (Western Mediterranean sea)". Berichte, Fachbereich Geowissenschaften, No. 273, Universität Bremen, Bremen, 79 pp.

Heinze, C., Maier-Reimer, E., & Winn, K. (1991). Glacial $pCO_2$ reduction by the World Ocean: Experiments with the Hamburg carbon cycle model. *Paleoceanography*, 6(4), 395–430. https://doi.org/10.1029/91PA00489

Herburn, G.W.; La Violette, P.E.; 1990. Variations in the estructure of the Anticiclonic Gyres found in the Alboran Sea. Jour. Geophys. Res., 95: 1599-1613, https://doi.org/10.1029/JC095iC02p01599

Hergueta, E., & Salas, C. (1986) Estudio de los moluscos asociados a concreciones de *Mesophyllum lichenoides* (Ellis) Lemoine del Mar de Alborán. Iberus 7(1):85–97.

Hernández Molina, F. J.; Somoza, L.; Vázquez, J.T.; Lobo, F.; Fernández Puga, M.C.; Llave, E.; Díaz del Río, V.; 2002. Quaternary stratygraphic stacking patterns on the continental shelves of the southern iberian peninsula: their relationship quits global climate and palaeoceanographic changes. *Quaternary International*, 92: 5-23, https://doi.org/10.1016/S1040-6182(01)00111-2

Hernández Molina, F. J.; Somoza, L.; Vázquez, J.T.; Lobo, F.; Fernández Puga, M.C.; Llave, E.; Díaz del Río, V.; 2002. Quaternary stratygraphic stacking patterns on the continental shelves of the southern iberian peninsula: their relationship quits global climate and palaeoceanographic changes. Quaternary International, 92: 5-23, https://doi.org/10.1016/S1040-6182(01)00111-2

Hernández-Molina, F.J.; Somoza, L.; Rey, J.; 1996. Late Pleistocene-Holocene high-resolution sequence analysis on the Alboran Sea continental shelf. *Geological Society of London Special Publications* 117(1): 139-154.

Hernández-Molina, F.J.; Somoza, L.; Rey, J.; Pomar, L.; 1994. Late Pleistocene-Holocene sediments on the Spanish continental shelves: Model for very high resolution sequence stratigraphy. *Marine Geology* 120:129-174.

Hernández-Molina, F.J.; Vázquez, J.T.; Somoza, L.; Rey, J.; 1993. Estructuración sedimentaria de los cuerpos deltaicos holocenos del margen septentrional del mar de Alborán. *Geogaceta* 14: 40-44.

Hervás, J. A. R. 1987. Análisis de la ictiofauna infralitoral en el sureste español (Mediterráneo Occidental). Cahiers de Biolie Marine,28, 73-89.

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

https://doi.org/10.4067/S0718-19572005000100005

Huang, T.C.; Stanley, D.J.; 1972. Western Alboran Sea: Sediment Dispersal, Ponding and Reversal of Currents. En: Stanley, D.J.; (Ed.), *The Mediterranean Sea: A Natural Sedimentary Laboratory.* Dowden, Hutchinson y Ross, Stroudsburg: 521-559.

Huertas, I. E., A. F. Ríos, J. García-Lafuente, G. Navarro, A. Makaoui, A. Sánchez-Román, S. Rodriguez-Galvez, A. Orbi, J. Ruíz, and F. F. Pérez (2012), Atlantic forcing of the Mediterranean oligotrophy, Global Biogeochem. Cycles, 26, GB2022, doi:10.1029/2011GB004167.

Iglesias M. Ventero A, Córdoba P. 2019. Pelagic fish community derived from summer acoustic surveys in northern Alboran Sea (Mediterranean Sea). Rapp. Comm. int. Mer Médit., 42.





Iglesias M. Ventero A, Córdoba P. Carlos Rodríguez-Castañeda JC. 2023. MEDIAS 2022 in Iberian coast: GSA 1- Northern Alboran Sea and GSA 6- Northern Spain. Report of 16th meeting for MEDiterranean International Acoustic Surveys (MEDIAS) in the framework of European Data Collection Framework (DCF). 159 pp.

IPCC, 2007: *Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A. (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 104 pp.

IPCC, 2019: IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N.M. Weyer (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 755 pp. https://doi.org/10.1017/9781009157964.

IPCC. 2021. Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 3–32, https://doi.org/10.1017/9781009157896.001

Izquierdo, D., & Guerra-García, J.M. (2011) Distribution patterns of the peracarid crustaceans associated with the alga *Corallina elongata* along the intertidal rocky shores of the Iberian Peninsula. Helgoland Mar Res 65(2):233–243.

Jevrejeva, S., J. C. Moore, A. Grinsted, and P. L. Woodworth 2008, Recent global sea level acceleration started over 200 years ago? Geophysical Research Letters, 35, L08715, https://doi.org/10.1029/2008GL033611

Jghab A., Vargas-Yáñez M., Reul A., García-Martínez M.C., Hidalgo M., Moya F., Bernal-Ilarri M.A., Benomar M., Benchoucha S., Lamtai A. (2019). The influence of environmental factors and hydrodynamics on the sardine (Sardina pilchardus, Walbaum 1792) abundance in the southern Alboran Sea. *Journal of Marine Systems* 191: 51-63.

Johnson, G. C., J. M. Lyman, C. Atkinson, T. Boyer, L. Cheng, J. Gilson, M. Ishii, R. Locarnini, A. Mishonov, S. G. Purkey, J. Reagan, and K. Sato, (2023). Ocean heat content [in "State of the Climate in 2022"]. Bull. Amer. Meteor. Soc., 104 (9), S145-S148, https://doi.org/10.1175/BAMS-D-23-0076.2.

Jordà, G., D. Gomis. 2013. On the interpretation of the steric and mass components of sea level variability: The case of the Mediterranean basin. Journal of Geophysical Research: Oceans, 118, 953–963, https://doi.org/10.1002/jgrc.20060

Juan, C.; Ercilla, G.; Estrada, F.; Alonso, B.; Casas, D.; Vázquez, J.T.; d'Acremont, E.; Medialdea, T.; Hernández-Molina, F.J.; Gorini, C.; El Moumni, B.; Valencia, J.; 2020. Multiple factors controlling the deep marine sedimentation of the Alboran Sea (SW Mediterranean) after the Zanclean Atlantic Mega-flood. *Marine Geology* 423: 106138. DOI: 10.1016/j.margeo.2020.106138.

Juza M., Escudier R., Pascual A., Pujol M.-I., Taburet G., Troupin C., Mourre B. and Tintoré, J. (2016). Impacts of reprocessed altimetry on the surface circulation and variability of the Western Alboran Gyre. Adv. Space Res, 58, 277-288

Katsanevakis, S., Carella, F., Çinarc, M.E., Cižmekd, H., Jiménez, C., Kersting, D.K., Moreno, D., Rabaoui, L., & Vicente, N. (2021) The fan mussel *Pinna nobilis* on the brink of extinction in the Mediterranean. Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821139-7.00070-2

Katsanevakis, S., Tsirintanis, K., Tsaparis, D., Doukas, D., Sini, M., Athanassopoulou, F., Kolygas, M.N., Tontis, D., Koutsoubas, D., & Bakopoulos, V. (2019) The cryptogenic parasite *Haplosporidium pinnae* invades the Aegean Sea and causes the collapse of *Pinna nobilis* populations. Aquat Invasions 14(2):150-164. https://doi.org/10.3391/ai.2019.14.2.01

Katsanevakis, S., Wallentinus, I., Zenetos, A., Leppäkoski, E., Çinar, M.E., Oztürk, B., Grabowski, M., Golani, D., Cardoso, A.C. (2014) Impacts of invasive alien marine species on ecosystem services and biodiversity: A pan-European review. Aquatic Invasions, 9(4): 391–423.

Kelling, G.; Stanley, D.J.; 1972. Sedimentary evidence of bottom current activity, Strait of Gibraltar region. *Marine Geology* 13(3): 51-60.





Kersting, D., Benabdi, M., Čižmek, H., Grau, A., Jimenez, C., Katsanevakis, S., Öztürk, B., Tuncer, S., Tunesi, L., Vázquez-Luis, M., Vicente, N., & Otero Villanueva, M. (2019) *Pinna nobilis*. The IUCN Red List of Threatened Species. http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2019-3.RLTS.T160075998A160081499.en

Key, R.M., A. Kozyr, C.L. Sabine, K. Lee, R. Wanninkhof, J. Bullister, R.A. Feely, F. Millero, C. Mordy, T.-H. Peng. 2004. A global ocean carbon climatology: Results from GLODAP. *Global Biogeochemical Cycles*, Vol. 18, GB4031.

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, https://doi.org/10.1016/S0967-0637(97)00216-1

Lauvset, S. K., Lange, N., Tanhua, T., Bittig, H. C., Olsen, A., Kozyr, A., Alin, S., Álvarez, M., et al. (2022). GLODAPv2.2022: the latest version of the global interior ocean biogeochemical data product, Earth Syst. Sci. Data, 14, 5543–5572, https://doi.org/10.5194/essd-14-5543-2022.

Leonori I. Ticina V. Giannoulaki M. Hattab T. Iglesias M. et al. 2021. History of hydroacoustic surveys of small pelagic fish species in the European Mediterranean Sea. Mediterranean Marine Science. Vol 22, No 4. 751–768.

Lloris, D. 2007. Glosario ilustrado de Ictiología para el mundo hispanohablante. Generalitat de Catalunya. Departament d'Agricultura Alimentació i Acció Rural, 967 pp.

Lo Iacono, C.; Gràcia, E.; Ranero, C.R.; Emelianov, M.; Huvenne, V.A.I.; Bartolomé, R.; Booth-Rea, G.; Prades, J.; Ambroso, D.; Dominguez, C.; Grinyó, Rubio, E.; Torrent, J.; 2014. The West Melilla cold water coral mounds, Eastern Alboran Sea: Morphological characterization and environmental context. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography* 99: 316-326.

López de la Rosa, I., & García Raso, J.E. (1992) Crustáceos Decápodos de fondos de concrecionamientos calcáreos asociados a *Posidonia oceanica* del Sur de España (Almería). Cah Biol Mar 33:55–74.

López, E., & Gallego, R. (2006) Temporal variation of a syllid (Syllidae: Polychaeta) taxocoenosis associated with *Stypocaulon scoparium* (Stypocaulaceae: Phaeophyceae) in the western Mediterranean. J Mar Biol Assoc UK 86:51–59.

López, E., & Viéitez, J.M. (1999) Polychaete assemblages on nonencrusting infralittoral algae from the Chafarinas Islands (SW Mediterranean). Cah Biol Mar 40:375–384.

López, V., Rodon, J. (2018) Diagnosi i situació actual del Cranc Blau (*Callinectes sapidus*) al delta de l'Ebre. Direcció General de Pesca i Afers Marítims, Generalitat de Catalunya, 86 pp.

López-González, N.; Alonso, B.; Juan, C.; Ercilla, G.; Bozzano, G.; Cacho, I.; Casas, D.; Palomino, D.; Vázquez, J.-T.; Estrada, F.; Bárcenas, P.; D'acremont, E.; Gorini, C.; El Moumni, B.; 2019. 133,000 years of sedimentary record in a contourite drift in the western alboran sea: Sediment sources and paleocurrent reconstruction. *Geosciences* 9(8): 345. DOI: 10.3390/geosciences9080345.

López-González, N.; Palomino, D.; Vázquez, J.T.; Bárcenas, P.; Díaz Del Río, V. and Fernández-Salas, L.M.; 2010. Use of Geochemical Features to Identify Changes in Recent Sedimentation on Seamounts of the Djibouti Banks Area (NW Alboran Basin). *Rapports et procès-verbaux des réunions Commission internationale pour l'exploration scientifique de la Mer Méditerrané*, 39: 43-43.

Luque, A.A., & Templado, J. (2004) Praderas y Bosques Marinos de Andalucía. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía, Sevilla, 272 pp.

Maldonado, M. (1992) Demosponges of the red coral bottoms from the Alboran Sea. J Nat Hist 26(6):1131–1161.

Maldonado, M. (1993) Demosponjas litorales de Alborán. Faunística y biogeografía. Doctoral Thesis, Universidad Central de Barcelona, Barcelona, 496 pp.

Maldonado, M., López-Acosta, M., Sánchez-Tocino, L., & Sitjà, C. (2013) The rare, giant gorgonian Ellisella paraplexauroides: demographic and conservation concerns. Mar Ecol Prog Ser 479:127–141.

Mancinelli, G., Chainho, P., Cilenti, L., Falco, S., Kapiris, K., Katselis, G., Ribeiro, F. (2017) The Atlantic blue crab Callinectes sapidus in southern European coastal waters: Distribution, impact and prospective invasion management strategies. Marine Pollution Bulletin, 119: 5–11.

Manjón-Cabeza, M.E., & García Raso, J.E. (1998) Structure and evolution of a Decapod Crustacea community from the coastal detritic bottoms of Barbate (Cádiz, Southern Spain). J Nat Hist 32:1619–1630.

MAPAMA (2019) Cartografía Marina. https://www.mapa.gob.es/es/pesca/temas/cartografiadomarino/

Marina Bolado-Penagos, Iria Sala, Juan Jesús Gomiz Pascual. Revising the Effects of Local and Remote Atmospheric Forcing on the Atlantic Jet and Western Alboran Gyre Dynamics. Journal of Geophysical Research: Oceans 126(2)

Marina, P., Rueda, J.L., Urra, J., Salas, C., Gofas, S., Raso, J.E.G., Moya, F., García, T., López-González, N., Laiz-Carrión, R., & Baro, J. (2015) Sublittoral soft bottom assemblages within a Marine Protected Area of the northern Alboran Sea. J Mar Biol Ass UK 95(5):871–884.

Marina, P., Urra, J., Rueda, J.L., & Salas, C. (2012) Composition and structure of the molluscan assemblage associated with a *Cymodocea nodosa* bed in south-eastern Spain: seasonal and diel variation. Helgoland Mar Res 66:585–599.

Martín-Arjona, A., Muñoz-Caballero, A., Serrano, A., Díaz-Viñolas, D., & Urra, J. (2024) The thermophilic sea anemone *Telmatactis cricoides* (Cnidaria, Hexacorallia) in the western Mediterranean: filling gaps in the knowledge of the distribution. J Mar Biol Assoc UK 104(e9):1–5. https://doi.org/10.1017/S0025315424000043

Mastrototaro, F., Maiorano, P., Vertino, A., Battista, D., Indennidate, A., Savini, A., Tursi, A., & D'Onghia, G. (2013) A facies of *Kophobelemnon* (Cnidaria, Octocorallia) from Santa Maria di Leuca coral province (Mediterranean Sea). Mar Ecol 34:313–320.

Mateo-Ramírez, Á., García Raso, J.E. (2012) Space-time variations of a crustacean decapod community associated to a fragmented meadow of *Cymodocea nodosa* from the Western Mediterranean Sea. Mar Ecol Evol Persp 33:302–316.

Mateo-Ramírez, Á., Iñiguez, C., Fernández-Salas, L.M., Sánchez-Leal, R.F., Farias, C., Bellanco, M.J., Gil, J., Rueda, J.L. (2023) Healthy thalli of the invasive seaweed *Rugulopteryx okamurae* (Phaeophyceae) being massively dragged into deep-sea bottoms by the Mediterranean Outflow Water. Phycologia, 62(2): 99–108.

Mateo-Ramírez, Á., Marina, P., Moreno, D., Florencio Alcántara Valero, A., Aguilar, R., Báez, J.C., Bárcenas, P., Baro, J., Caballero-Herrera, J.A., Camiñas, J.A., Malouli Idrissi, M., de la Torriente, A., García, T., García Raso, J.E., Gofas, S., González-García, E., González García, J.A., Moya-Urbano, E., Muñoz, A.R., Sánchez-Tocino, L., Salas, C., Templado, J., Tierno de Figueroa, J.M., Urra, J., Vázquez, J.T., & Rueda, J.L. 2021. Chapter 25. Marine Protected Areas and Key Biodiversity Areas of the Alboran Sea and Adjacent Areas. En: Báez, J.C., Vázquez, J.T., Camiñas, J.A., & Malouli Idrissi, M. (eds) Alboran Sea- Ecosystems and Marine Resources. Springer, Switzerland, pp 819-923. https://doi.org/10.1007/978-3-030-65516-7_25

Mateo-Ramírez, Á., Urra, J., Marina, P., Rueda, J.L., & García Raso, J.E. (2018) Decapod assemblages associated with shallow macroalgal communities in the northwestern Alboran Sea: microhabitat use and temporal variability. J Sea Res 135:84–94.

Mateo-Ramírez, Á., Urra, J., Marina, P., Rueda, J.L., García Raso, J.E. (2015) Crustacean decapod assemblages associated with fragmented *Posidonia oceanica* meadows in the Alboran Sea (western Mediterranean Sea): composition, temporal dynamics and meadow structure influence. Mar Ecol Evol Persp 37(2):344–358.

Mercader, L. (2002) Première capture de *Pseudupeneus prayensis* (Mullidae) en mer Catalane. Cybium, 26(3): 235–236.

Mercado J.M. Cortés D. Gómez F. et al. 2013. A method based on satellite imagery to evaluate the eutrophication at MSFD scale in the Alboran Sea. Rapport du CIESM, Vol. 40.

Mercado J.M., Cortés D., García A., Ramírez, T. (2007). Seasonal and interannual changes in the planktonic communities of the northwest Alboran Sea (Mediterranean sea). *Prog. Oceanogr*. 74, 273–293. https://doi.org/10.1016/j.pocean.2007. 04.013

Mercado J.M., Cortés D., Ramírez, T., Gómez F. (2012). Decadal weakening of the wind-induced upwelling reduces the impact of nutrient pollution in the Bay of Malaga (western Mediterranean Sea). *Hydrobiologia* 680(1): 91-107.

Mercado J.M., Gómez-Jakobsen F., Cortés D., Yebra L., Salles S., León P., Putzeys S. (2016). A method based on satellite imagery to identify spatial units of eutrophication management. *Remote Sensing of Environment* 186: 123-134. https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.08.011






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

Mercado J.M., Sala I., Salles S., Cortés D., Ramírez T., Liger E., Yebra L., Bautista B. (2014). Shifts in phytoplankton size structure and their effects on light absorption properties and nutrient uptake rates in contrasting areas of the Alboran Sea. *Marine Ecology Progress Series* 499: 47-64. https://doi.org/10.3354/meps10630

Mercado J.M., Salles S., Cortés D. (2011) In: Diatoms: Classification, Ecology and Life Cycle (Ed. Compton J.C.). Nova publishers. NY, USA

Millot, C., 1987. Circulation in the Western Mediterranean Sea. Oceanologica Acta, 10 (2): 143-149, https://doi.org/10.1016/S0924-7963(98)00078-5

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, https://doi.org/10.1029/91JC00360

Molnar, J.L., Gamboa, R.L., Revenga, C., Spalding, M.D. (2008) Assessing the global threat of invasive species to marine biodiversity. Frontiers in Ecology and the Environment, 6(9): 485–492.

Moreno, A.; Cacho, I.; Canals, M.; Prins, M.; Sánchez-Goñi, M.F.; Grimalt, J.O.; Weltje, G.J., 2002. Saharan dust transport and high-latitude glacial climatic variability: the Alboran Sea record. *Quaternary Research* 58(3):318-28.

Moreno, D. (2006) Tesoros sumergidos: la flora y fauna marinas. En: Paracuellos, M., Nevado, J.C., Mora, J.F. (eds) Entre África y Europa. Historia natural de la isla de Alborán. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía, Sevilla, pp 67–85.

Moya-Urbano, E., Ciércoles, C., González-Aguilar, M., Gallardo-Núñez, M., Ordines, F., Mateo-Ramírez, Á., Farias, C., Urra, J., Gogas, S., Rueda, J.L., & García-Ruiz, C. (2016) Contrasting molluscan fauna collected with beam trawl and otter trawl in circalittoral and bathyal soft bottoms of the northern Alboran Sea. Front Mar Sci Conference Abstract: XIX Iberian Symposium on Marine Biology Studies. https://doi.org/10.3389/conf.FMARS.2016.05.00103

Muñoz, A., Ballesteros, M., Montoya, I., Rivera, J., Acosta, J., & Uchupi, E. (2008) Alboran Basin, Southern Spain. Part I: geomorphology. Mar Petrol Geol 25:59–73.

Navarro-Barranco, C. (2015) Estudio faunístico y ecológico de los anfípodos en cuevas submarinas del sur de la Península Ibérica. Doctoral Thesis, Universidad de Sevilla, 195 pp.

Navarro-Barranco, C., Florido, M., Ros, M., González-Romero, P., & Guerra-García, J.M. (2018) Impoverished mobile epifaunal assemblages associated with the invasive macroalga *Asparagopsis taxiformis* in the Mediterranean Sea. Mar Environ Res 141:44-52. https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2018.07.016

Navarro-Barranco, C., Guerra-García, J.M., Sánchez-Tocino, L., Ros, M., Florido, M., & García-Gómez, J.C. (2015) Colonization and successional patterns in the epifaunal community inhabiting marine caves. Mar Ecol Prog Ser 521:105–115.

Navarro-Barranco, C., Muñoz-Gómez, B., Saiz, D., Ros, M., Guerra-García, J.M., Altamirano, M., Ostalé-Valriberas, E., & Moreira, J. (2019) Can invasive habitat-forming species play the same role as native ones? The case of the exotic marine macroalga *Rugulopteryx okamurae* in the Strait of Gibraltar. Biological Invasions 21:3319-3334. https://doi.org/10.1007/s10530-019-02049-y

Nebot-Colomer, E., Álvarez, E., Belando, M.D., Deudero, S., Catanese, G., Bernardeau-Esteller, J., García-Muñoz, R., Ramos-Segura, A., Ruiz, J.M., & Vázquez-Luis, M. (2022) Living under threat: Will one of the last *Pinna nobilis* populations be able to survive? Aquat Conserv 32(1):1-13. https://doi.org/10.1002/aqc.3738

Nehring, S. (2011) Invasion History and Success of the American Blue Crab *Callinectes sapidus* in European and Adjacent Waters. In: Galil, B.S., Clark, P.F., Carlton, J.T. (Eds.) The Wrong Place - Alien Marine Crustaceans: Distribution, Biology and Impacts. Netherlands, Springer, pp. 607–624.

Nunes, A.L., Katsanevakis, S., Zenetos, A., Cardoso, A.C. (2014) Gateways to alien invasions in the European seas. Aquatic Invasions, 9(2): 133–144.

Ocaña, O., Alfonso-Carrillo, J.M., & Ballesteros, E. (2016) Massive proliferation of a dictyotalean species (Phacophyccae, Ochriohyta) througn the strait of Gibraltar. Rev. Acad. Canaria Cien. 28:165–169.

Occhipinti-Ambrogi, A. (2007) Global change and marine communities: alien species and climate change. Marine Pollution Bulletin, 55(7–9): 342–352.

Oguz T., Mourre, B. and Tintoré, J. (2017). Modulation of frontogenetic plankton production along a meandering jet by zonal wind forcing: An application to the Alboran Sea, J. Geophys. Res. Oceans,22, 6594-6610.

Oguz, T., Mourre, B. and Tintoré, J. (2016). Upstream control of the frontal jet regulating plankton production in the Alboran Sea (Western Mediterranean), J. Geophys. Res. Oceans, 121, 7159–7175

Olsen, A., Lange, N., Key, R. M., Tanhua, T., Bittig, H. C., Kozyr, A., Àlvarez, M., et al. (2020). GLODAPv2.2020 – the second update of GLODAPv2. doi:10.5194/essd-12-3653-2020.

Ordines, F., Massutí, E., 2009. Relationships between macro-epibenthic communities and fish on the shelf grounds of the western Mediterranean. Aquat. Conserv. Mar. Freshw. Ecosyst. 19, 370–383.

Otero M.M., Basso D. (2016) A5.51 Rhodolith beds in the Mediterranean. En: European Red List of Habitats – Marine: Mediterranean Sea Habitat Group. 12 pp.

Pacios, I., Guerra-García, J.M., Baeza-Rojano, E., & Cabezas, M.P. (2011) The non-native seaweed *Asparagopsis armata* supports a diverse crustacean assemblage. Mar Environ Res 71:275–282.

Palomino, D.; Fernández-Salas, L.M.; Ercilla, G.; Vázquez, J.T.; 2023. Topónimos de los principales elementos fisiográficos y geomorfológicos de las demarcaciones marinas españolas. *Dataset DIGITAL.CSIC*. DOI:10.20350/digitalCSIC/15497.

Palomino, D.; Vázquez, J.-T.; Ercilla, G.; Alonso, B.; López-González, N.; Díaz-del-Río, V.; 2011. Interaction between seabed morphology and water masses around the seamounts on the Motril Marginal Plateau (Alboran Sea, Western Mediterranean). *Geo-Marine Letters* 31(5-6): 465-479. DOI: 10.1007/s00367-011-0246-y.

Panarese, R., Tedesco, P., Chimienti, G., Latrofa, M.S., Quaglio, F., Passantino, G., Buonavoglia, C., Gustinelli, A., Tursi, A., & Otranto, D. (2019). *Haplosporidium pinnae* associated with mass mortality in endangered *Pinna nobilis* (Linnaeus 1758) fan mussels. J Invertebr Pathol 164:32-37. https://doi.org/10.1016/j.jip.2019.04.005

Parrilla, G.; Kinder, T.H.; 1987. Oceanografía física del Mar de Alborán. *Boletín del Instituto Español de Oceanografía*, 4: 133-166.

Paula, J.C.D., Vallim, M.A., Teixeira, V.L. (2011) What are and where are the bioactive terpenoids metabolites from Dictyotaceae (Phaeophyceae). Revista Brasileira de Farmacognosia, 21(2): 216–228.

Pedrouzo, L., Cobo, M.C., García-Álvarez, Ó., Rueda, J.L., Gofas, S., & Urgorri, V. (2014) Solenogastres (Mollusca) from expeditions off the South Iberian Peninsula, with the description of a new species. J Nat Hist 48(45–48):2985–3006.

Peltier, W. R. 1998. Postglacial variations in the level of the sea: Implications for climate dynamics and solid-Earth geophysics. Reviews of Geophysics, 36(4), 603–689, https://doi.org/10.1029/98RG02638

Png-Gonzalez, L., Papiol, V., Balbín, R., Cartes, J.E., Carbonell, A. (2021) Larvae of the blue crab *Callinectes sapidus* Rathbun, 1896 (Decapoda: Brachyura: Portunidae) in the Balearic Archipelago (NW Mediterranean Sea). Marine Biodiversity Records, 14: 21.

Pons, J.M. 2009. La medición del nivel medio del mar: principios y métodos. *Mapping*, 135, 6-10. ISSN: 1131-9100.

Prado, P., Grau, A., Catanese, G., Cabanes, P., Carella, F., Fernández-Tejedor, M., Andree, K.B., Añon, T., Hernandis, S., Tena, J., & García-March, J.R. (2021) *Pinna nobilis* in suboptimal environments are more tolerant to disease but more vulnerable to severe weather phenomena. Mar Environ Res 163:105220. https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2020.105220

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

Quetglas, A et al. (2000). Demersal Continental Shelf and Upper Slope Cephalopod Assemblages from the Balearic Sea (North-Western Mediterranean). Biological Aspects of Some Deep-Sea Species. Estuarine Coastal and Shelf Science, 50, 739-749.

Ramírez, T.; Rodríguez-Jiménez, J.; Alvarez, J.P.; Bautista, B.; Liger, E. El estrecho de Gibraltar y su papel en la productividad y el intercambio biogeoquímico entre el mar Mediterráneo y el océano Atlántico. Juan Pérez de

Rubín and Teodoro Ramírez (eds), 2023, El estrecho de Gibraltar: llave natural entre dos mares y dos continents. Real Sociedad Española de Historia Natural, págs. 33-56.

Ramos-Esplá, A.A., & Bayle-Sempere, J.T. (1991) Estatuto del *Dentex dentex* (Linnaeus, 1758) en el Mediterraneo. En: Boudouresque, C.F., Avon, M., & Gravez, V. (eds) Les espèces marines a protéger en Méditerranée, GIS Posidonie, Marseille, pp. 237-244.

Ramos-Esplá, A.A., & Luque, Á.A. (2008) Maerl beds: a fragile oasis of marine life. En: Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino (ed) The seas of Spain. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Madrid, pp 273–290.

Ratnarajah L., Abu-Alhaija R., Atkinson A., Batten S., Bax N.J., Bernard K.S., Canonico G., Cornils A., Everett J.D., Grigoratou M., Ahmad Ishak N.H., Johns D., Lombard F., Muxagata E., Ostle C., Pitois S., Richardson A.J., Schmidt K., Stemmann L., Swadling K.M., Yang G., Yebra L. (2023). Monitoring and modelling marine zooplankton in a changing climate. *Nature Communications* 14: 564. https://doi.org/10.1038/s41467-023-36241-5

Reagan, James R.; Boyer, Tim P.; García, Hernán E.; Locarnini, Ricardo A.; Baranova, Olga K.; Bouchard, Courtney; Cross, Scott L.; Mishonov, Alexey V.; Paver, Christopher R.; Seidov, Dan; Wang, Zhankun; Dukhovskoy, Dmitry. (2024). World Ocean Atlas 2023. NOAA National Centers for Environmental Information. Dataset: NCEI Accession 0270533.

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. Disponible en: https://produccioncientifica.uca.es/documentos/626cbef3a8fa5b760793b08d

Rey, J.; Gil de Sola, L. 2003. Fishery and population of hake in the north Alboran sea (W. Mediterranean). GFCM-SAC12-13 March 2003, Tanger, Morocco Sub-committee on Stock Assessment (SCSA).

Rey, J.; Medialdea, T.; 1989. Los sedimentos Cuaternarios superficiales del margen continental español. *Publicación Especial del Instituto Español de Oceanografía* 3:29.

Rodríguez, J., & Ruíz, J. (2010). Conservación y protección de ecosistemas marinos: conceptos, herramientas y ejemplos de actuaciones: . Ecosistemas, 19(2)

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,https://doi.org/10.1016/S0967-0637(98)00030-2

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. ISBN: 84-491-0308-8

Rodriguez-Castañeda J.C. Ventero A. García-Márquez MG. And Iglesias M. 2022. Spatial and temporal analysis (2009–2020) of the biological parameters, abundance and distribution of Trachurus mediterraneus (Steindachner, 1868) in the Western Mediterranean. Fisheries Research 256 (2022) 106483

Rodríguez-Castañeda J.C. Ventero A. Iglesias M. 2024. Analysis of the state of conservation of Trachurus trachurus in the Western Mediterranean Sea based on the interannual (2009–2020) changes in their life history traits. Mar Biol 171, 34

Rueda, J.L., & Salas, C. (2003) Temporal dynamics of molluscan assemblages from softand bioclastic bottoms in the Strait of Gibraltar. Cah Biol Mar 44:237–248.

Rueda, J.L., Gofas, S., Aguilar, R., de la Torriente, A., García Raso, J.E., Lo Iacono, C., Luque, A., Marina, P., Mateo-Ramírez, A., Moya-Urbano, E., Moreno, D., Navarro-Barranco, C., Salas, C., Sánchez-Tocino, L., Templado, J., & Urra, J. (2021) Benthic fauna of littoral and deep-sea habitats of the Alboran Sea: A hotspot of biodiversity. Alboran Sea-ecosystems and marine resources, Springer International Publishing, pp. 285-358.

Rueda, J.L., Gofas, S., Urra, J., & Salas, C. (2009a) A highly diverse molluscan assemblage associated with eelgrass beds (*Zostera marina* L.) for Europe: micro-habitat preference, feeding guilds and biogeographical distribution. Sci Mar 73(4):679–700.





Rueda, J.L., Marina, P., Urra, J., & Salas, C. (2009b) Changes in the composition and structure of a molluscan assemblage due to eelgrass loss in southern Spain. J Mar Biol Ass UK 89(7):1319–1330.

Rueda, J.L., Mena-Torres, A., Gallardo-Núñez, M., González-García, E., Martín-Arjona, A., Valenzuela, J., García-Ruiz, C., González-Aguilar, M., Mateo-Ramírez, Á., García, M., Sayago-Gil, M., & Vázquez, J.T. (2023) Spatial Distribution and Potential Impact of Drifted Thalli of the Invasive Alga *Rugulopteryx okamurae* in Circalittoral and Bathyal Habitats of the Northern Strait of Gibraltar and the Alboran Sea. Diversity 15(12):1206. https://doi.org/10.3390/d15121206

Rueda, J.L., Salas, C., & Gofas, S. (2000) A molluscan community from coastal bioclastic bottoms in the Strait of Gibraltar area. Iberus 18(1):95–123.

Salas, C. (1996) Marine bivalves from off the Southern Iberian Peninsula collected by the Balgim and Fauna 1 expeditions. Haliotis 25:33–100.

Sampaio de Souza C., Mafalda P., Salles S., Ramírez T., Cortés D. (2005). Tendencias estacionales y espaciales en la comunidad mesozooplanctónica en una serie temporal plurianual en el noroeste del Mar de Alborán. España. Rev. *Biol. Mar. Oceanogr* 40: 45–54.

San Martín, G., Estapé, S., Ocejo, A.G., Gómez, C., & Jiménez, P. (1990) Estudio de la taxocenosis de anélidos poliquetos de rizomas de *Posidonia oceanica* en las costas de Almería. Bol Inst Esp Oceanogr 6(1):41–58.

Sánchez, P et al. (1998). Composition and spatial distribution of cephalopods in two North-western Mediterranean areas. African Journal of Marine Science, 20, 17-24.

Sánchez-Guillamón, O.; Rueda, J.L.; Wienberg, C.; Ercilla, G.; Vázquez, J.T.; Gómez-Ballesteros, M.; Urra, J.; Moya-Urbano, E.; Estrada, F.; Hebbeln, D.; 2022. Morphosedimentary, Structural and Benthic Characterization of Carbonate Mound Fields on the Upper Continental Slope of the Northern Alboran Sea (Western Mediterranean). *Geosciences* 12(3): 111, DOI: 10.3390/geosciences12030111.

Sánchez-Moyano, J.E., & García-Asencio, I. (2009) Distribution and trophic structure of annelid assemblages in a *Caulerpa prolifera* bed from southern Spain. Mar Biol Res 5(2):122–132.

Sánchez-Moyano, J.E., & García-Gómez, J.C. (1998) The arthropod community, especially Crustacea, as a bioindicator in Algeciras Bay (Southern Spain) based on a spatial distribution. J Coastal Res 14(3):1119–1133.

Sánchez-Moyano, J.E., García-Adiego, E.M., Estacio, F., & García-Gómez, J.C. (2002) Effect of environmental factors on the spatial variation of the epifaunal polychaetes of the alga *Halopteris scoparia* in Algeciras Bay (Strait of Gibraltar). Hydrobiologia 470:133–148.

Sánchez-Moyano, J.E., García-Adiego, E.M., Estacio, F.J., & García-Gómez, J.C. (2001) Influence of the density of *Caulerpa prolifera* (Chlorophyta) on the composition of the macrofauna in a meadow in Algeciras Bay (Southern Spain). Cienc Mar 27(1):47–71.

Sánchez-Moyano, J.E., García-Asencio, I.M., & García-Gómez, J.C. (2007) Effects of temporal variation of the seaweed *Caulerpa prolifera* cover on the associated crustacean community. Mar Ecol 28:324–337.

Sánchez-Tocino, L., Barahona, M.M., Barranco-Navarro, C., & Velasco, C. (2009) Informe de la campaña realizada en el Refugio Nacional de Caza de las Islas Chafarinas los días 07 al 26 de octubre de 2009.

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. Disponible en: https://produccioncientifica.uca.es/documentos/5febd9205ef7446310f94762?lang=ca

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,https://doi.org/10.1016/S0924-7963(99)00068-8

Scarpa, F., Sanna, D., Azzena, I., Mugetti, D., Cerruti, F., Hosseini, S., Cossu, P., Pinna, S., Grech, D., Cabana, D., Pasquini, V., Esposito, G., Cadoni, N., Atzori, F., Antuofermo, E., Addis, P., Sechi, L.A., Prearo, M., Peletto, S., Mossa, M.A. Saba, T., Gazale, V., & Casu, M. 2020. Multiple non-species-specific pathogens possibly triggered the mass mortality in *Pinna nobilis*. Life 10:238. https://doi.org/10.3390/life10100238

Sitjà, C, & Maldonado, M. (2014) New and rare sponges from the deep shelf of the Alboran Island (Alboran Sea, Western Mediterranean). Zootaxa 3760(2):141–179.

Soler-Hurtado, M.M., & Guerra-García, J.M. (2011) Study of the crustacean community associated to the invasive seaweed *Asparagopsis armata* Harvey, 1855 along the coast of the Iberian Peninsula. Zool Baetica 22:33–49.

Streftaris, N., Zenetos, A. (2006) Alien Marine Species in the Mediterranean- the 100 'Worst Invasives' and their Impact. Mediterranean Marine Science, 7: 87–118.

Sydeman, WJ., Bograd, S.J., 2009. Marine ecosystems, climate and phenology: introduction. Marine Ecology Progress Series 393:185-188

Takahashi, T., Sutherland, S.C., Sweeney, C., Poisson, A., Metzl, N., Tilbrook, B., Bates, N., Wanninkhof, R., Feely, R.A., Sabine, C. and Olafsson, J. (2002). Global sea–air CO2 flux based on climatological surface ocean pCO2, and seasonal biological and temperature effects. Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography, 49(9-10), pp.1601-1622.

Tanhua, T., Lauvset, S.K., Lange, N., Olsen, A., Álvarez, M., et al. A vision for FAIR ocean data products. Commun Earth Environ 2, 136 (2021). https://doi.org/10.1038/s43247-021-00209-4

Templado, J. 2011. La diversidad marina en España. Memorias Real Sociedad Española de Historia Natural, 2º ép., págs.: 343-352.

Templado, J., Ballesteros, E., Galparsoro, I., Borja, Á., Serrano, A., Martín, L., & Brito, A. (2012) Guía interpretativa. Inventario Español de Hábitats Marinos. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Madrid, 229 pp.

Templado, J., Calvo Revuelta, M., Luque, Á.A., Garvía, A., Maldonado, M., & Moro, L. (2004) Guía de los invertebrados y peces marinos españoles protegidos por la legislación nacional e internacional. Organismo Autónomo Parques Naturales. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid.

Templado, J., Calvo, M., Moreno, D., Flores, A., Conde, F., Abad, R., Rubio, J., López-Fé, C.M., & Ortiz, M. (2006) Flora y fauna de la Reserva Marina y Reserva de Pesca de la Isla de Alborán. Secretaría General de Pesca Marítima, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, y Museo Nacional de Ciencias Naturales, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid, 269 pp.

Templado, J., Guallart, J., María Capa, M., & Luque, Á. (2009) 1170 Arrecifes. En: Templado, J. (coord) Bases ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitat de interés comunitario en España. Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino, Madrid, 142 pp.

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, https://doi.org/10.1175/1520-0485(1991)021<0811:MDAVMI>2.0.CO;2

Torre Gávila, F.J. (2008) Estudio faunístico, ecológico y ambiental de la fauna de anélidos poliquetos de sustratos sueltos de las Islas Chafarinas (Mar de Alborán, SW Mediterráneo). Doctoral Thesis, Universidad de Valencia, 695 pp.

Tugores M.P. Giannoulaki M. Iglesias M. Bonanno A. et al. 2011. Habitat suitability modelling for sardine Sardina pilchardus in a highly diverse ecosystem: the Mediterranean Sea. Mar Ecol Prog Ser 443:181-205.

Urra, J., Gofas, S., Rueda, J.L., & Marina, P. (2011) Molluscan assemblages in littoral soft bottoms of the Alboran Sea (Western Mediterranean Sea). Mar Biol Res 7(1):27–42.

Urra, J., Marina, P., & Rueda, J.L. (2008) S.O.S. por las praderas marinas en la Costa del Sol. Quercus 270:28–38.

Urra, J., Marina, P., Salas, C., Gofas, S., & Rueda, J.L. (2013c) Seasonal dynamics of molluscan assemblages associated with littoral soft bottoms of the NW Alboran Sea (Western Mediterranean Sea). Mar Biol Res 9(7):645–660.

Urra, J., Ramírez, Á.M., Marina, P., Salas, C., Gofas, S., & Rueda, J.L. (2013b) Highly diverse molluscan assemblages of *Posidonia oceanica* meadows in northwestern Alboran Sea (W Mediterranean): seasonal dynamics and environmental drivers. Est Coast Shelf Sci 117:136–147.

Urra, J., Rueda, J.L., Ramírez, Á.M., Marina, P., Tirado, C., Salas, C., & Gofas, S. (2013a) Seasonal variation of molluscan assemblages in different strata of photophilous algae in the Alboran Sea (western Mediterranean). J Sea Res 83:83–93.





Vargas Yáñez M., García Martínez M.C., Moya F., López-Jurado Marqués J.L., Serra Tur M., Balbín Chamorro R., Santiago Domenech R., Salat J., Pascual J., Ramírez Cárdenas T., Tel E., Jiménez Gómez M.P., Reul A., Parrilla Barrera G. (2019). El estado actual de los ecosistemas marinos en el Mediterráneo español en un contexto de cambio climático. Temas de Oceanografía, nº 12, Madrid: Instituto Español de Oceanografía.

Vargas-Yáñez M., Giráldez A., Torres P., González-Aguilar M., García-Martínez M.C., Moya F. (2020). Variability of oceanographic and meteorological conditions in the northern Alboran Sea at seasonal, inter-annual and long-term time scales and their influence on sardine (Sardina pilchardus Walbaum 1792) landings. *Fisheries Oceanography* 29: 367-380. https://doi.org/10.1111/fog.12477

Vargas-Yáñez M., Moya F., Serra M., Juza M., Jordà G., Ballesteros E., Alonso C., Pascual J., Salat J., Moltó V., Tel E., Balbín R., Santiago R., Piñeiro S., García-Martínez M.C. (2023) Observations in the Spanish Mediterranean Waters: A Review and Update of Results of 30-Year Monitoring. *Journal of Marine Science and Engineering* 11: 1284. https://doi.org/10.3390/jmse11071284

Vargas-Yáñez, M., Tel, E., Moya, F., Ballesteros, E., García-Martínez, M.C. 2021. Long-Term Changes, Inter-Annual, and Monthly Variability of Sea Level at the Coasts of the Spanish Mediterranean and the Gulf of Cádiz. Geosciences, 11 (8), 350, https://doi.org/10.3390/geosciences11080350

Vargas-Yañez, M.; Garcia-Martínez M.; Moya, F.; López-Jurado, J. L.; Serra, M.; Santiago, R.; Balbín, R.; Salat, J.; Pascual, J.; Tel, E.; Fernández-Corregidor, F.; Jiménez-Gomez, A. R.; Parrilla, G. 2019. The present state of marine ecosystems in the Spanish Mediterranean in a climate change context. Tuimagina Editorial. Grupo Mediterráneo de Cambio Climático. 185 págs. ISBN: 978-84-09-13597.

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, https://doi.org/10.1016/S0924-7963(02)00128-8

Vargas-Yáñez, M.; Tel, E.; Marcos, M.; Moya, F.; Ballesteros, E.; Alonso, C.; García-Martínez, M.C. 2023. Factors Contributing to the Long-Term Sea Level Trends in the Iberian Peninsula and the Balearic and Canary Islands. *Geosciences*, 13 (6), 160, https://doi.org/10.3390/geosciences13060160

Vázquez JT.; 2001. Estructura del margen septentrional del Mar de Alborán. *Tesis Doctoral*, Universidad Complutense, Madrid, 421 págs.

Vázquez, J.T.; 2005. El Margen Continental del Mar de Alborán. En: Martín Serrano, A.; (Ed.), *Memoria del "Mapa Geomorfológico de España y del margen continental" a escala 1:1.000.000:* 189-198. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid. ISBN: 84-7840-591-7.

Vázquez, J.T.; Alonso, B.; Fernández-Puga, M.C.; Gómez-Ballesteros, M.; Iglesias, J.; Palomino, D.; Roque, C,; Ercilla, G.; Díaz-del-Río, V.; 2015a. Seamounts along the Iberian Continental Margins. *Boletín Geológico y Minero* 126(2):483-514.

Vázquez, J.T.; Ercilla, G.; Alonso, B.; Juan, C.; Rueda, J.L.; Palomino, D.; Fernández-Salas, L.M.; Barcenas, P.; Casas, D.; Díaz-del-Río, V.; Estrada, F.; Farran, M.; García, M.; González, E.; López González, N.; El Moumni, B.; Contouriber, Montera, Mower Teams; 2015b. Submarine Canyons and related features in the Alboran Sea: continental margins and major isolated reliefs, En: Briand, F.; (Ed.), *Submarine Canyon Dynamics in the Mediterranean and Tributary Seas - An integrated geological, oceanographic and biological perspective*. *CIESM Monographs* 47:183-196

Vázquez, J.T.; Ercilla, G.; Alonso, B.; Pelaez, J.P.; Palomino, D.; León, R.; Bárcenas, P.; Casas, D.; Estrada, F.; Fernández-Puga, M.C.; Galindo-Zaldívar, J.; Henares, J.; Llorente, M.; Sánchez-Guillamón, O.; d'Acremont, E.; Ammar, A.; Chourak, A.; Fernández Salas, L.M.; López González, N.; Lafuerza, S.; 2022. Triggering processes of tsunamis in the Alboran Sea and Gulf of Cádiz: A general review. En: Álvarez Martí-Aguilar, M.; Machuca Prieto, F.; (Eds.) *Historical Earthquakes, Tsunamis and Archaeology in the Iberian Peninsula*. *Natural Sciences in Archaeology*, Springer: 65-104.

Vázquez, J.T.; Ercilla, G.; Catalán, M.; Couto, D.D.; Estrada, F.; Galindo-Zaldívar, J.; Juan, C.; Palomino, D.; Vegas, R.; Alonso, B.; Chalouan, A.; Ammar, A.; Azzouz, O.; Benmakhlouf, M.; d'Acremont, E.; Gorini, C.; Martos, Y.; de Galdeano, C.S.; 2021. A geological history for the Alboran sea region. *Alboran Sea. Ecosystems and Marine Resources* 5: 111-155. DOI: 10.1007/978-3-030-65516-7_5.

Vázquez, J.T.; Estrada, F.; Ercilla, G.; d'Acremont, E.; Fernández-Salas, L.M.; Galindo-Zaldívar, J.; Palomino, D.; Alonso, B.; Juan, C.; Gorini, Ch.; Vegas, R.; 2018. Geomorfología y deformaciones cuaternarias en zonas de falla de la





plataforma marginal de Motril-Djibouti. En: Canora, C.; Martín, F.; Masana, E.; Pérez, R.; Orutño, M.; (Eds.), *Avances en el estudio de Fallas Activas, Terremotos y Peligrosidad Sísmica de Iberia - Tercera reunión ibérica sobre fallas activas y paleosismología*: 137-140.

Vázquez, J.-T.; Estrada, F.; Ercilla, G.; Juan, C.; García, M.; López-González, N.; Palomino, D.; Bárcenas, P.; Casas, D.; El Moumni, B.; Fernández Puga, M.C.; Fernández Salas, L.M.; Galindo Zaldívar, J.; García-Ledesma, A.; Gómez-Ballesteros, M.; González del Castillo, L.; López-Martínez, C.; Sánchez-Guillamón, O.; Sayago Gil, M.; Tello, M.O.; Villar-Menendez, I.; Sandoval, N.; Sanz, J.L.; 2023. El estrecho de Gibraltar: morfología submarina, conexiones oceanográficas y evolución. En: Pérez-Rubín, J.; Ramírez, T.; (Eds.) *El estrecho de Gibraltar: llave natural entre dos mares y dos continentes. Memorias de la Real Sociedad Española de Historia Natural Segunda época* XVI(4): 77-108. ISBN: 978-84-09-33849-8. 396 pp. DOI: 10.29077/memorias.16.4/vazquez.

Vázquez, J.T.; Estrada, F.; Vegas, R.; Ercilla, G.; Alonso, B.; Fernández-Salas, L.M.; d'Acremont, E.; Fernández-Puga, M.C.; Gómez-Ballesteros, M.; Bárcenas, P.; Palomino, D.; Gorini, Ch.; 2016. Geomorfología submarina en relación con la actividad tectónica Cuaternaria en la Cuenca del Mar de Alborán. En: Durán Valsero, J.J.; Montes Santiago, M.; Robador Moreno, A.; Salazar Rincón, A.; (Eds.), *Comprendiendo el relieve: del pasado al futuro. Publicaciones del Instituto Geológico y Minero de España. Geología y Geofísica* 5:587-595.

Vázquez, J.T.; Vegas, R.; Medialdea, T.; 2008. Estructuras recientes de deformación en el margen continental del mar de Alborán (Sector Benalmádena-Adra). *Geo-Temas* 10 (SO7029): 595-598.

Vázquez-Luis, M., Álvarez, E., Barrajón, A., Catanese, G., García-March, J.R., Grau, A., Hendriks, I.E., Jiménez, S., Kersting, D., Moreno, D., Moreno de Pintos, M., Pérez, M, Ruiz, J., Sánchez, J., Valencia, J.M., Villalba, A., & Deudero, S. (2017) S.O.S. *Pinna nobilis*: a mass mortality event in western Mediterranean Sea. Front Mar Sci 4:220. https://doi.org/10.3389/fmars.2017.00220

Vázquez-Luis, M., Nebot-Colomer, E., Deudero, S., Planes, S., & Boissin, E. 2021. Natural hybridization between pen shell species: *Pinna rudis* and the critically endangered *Pinna nobilis* may explain parasite resistance in *P. nobilis*. Mol Biol Rep 48(1):997-1004. https://doi.org/10.1007/s11033-020-06063-5

Ventero A. Iglesias M. Villamor B. 2017. Anchovy (*Engraulis encrasicolus*) otoliths reveal growth differences between two areas of the Spanish Mediterranean Sea. Scientia Marina. 81(3): 327-337.

Ventero A. Marcos I. Iglesias M. 2021. Acoustic evidences of the beginning of anchovy (*Engraulis encrasicolus*) schooling in the Northern Alboran Sea (Mediterranean Sea), Fisheries Research, Volume 239, 105950, ISSN 0165-7836.

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.

Wienberg, C.; Krengel, T.; Frank, N.; Wang, H.; Van Rooij, D.; Hebbeln, D.; 2022. Cold-water coral mounds in the western Mediterranean Sea: New insights into their initiation and development since the Mid-Pleistocene in response to changes of African hydroclimate. *Quaternary Science Reviews* 293: 107723.

Würtz, M. (2012) Mediterranean submarine canyons: ecology and governance. IUCN. Gland, Switzerland and Málaga, 216 pp.

Würtz, M., & Rovere, M. (2015) Atlas of the Mediterranean seamounts and seamount-like structures. IUCN. Gland, Switzerland and Málaga, 276 pp.

Yebra L., Espejo E., Putzeys S., Giráldez A., Gómez-Jakobsen F., León P., Salles S., Torres P., Mercado J.M. (2020). Zooplankton biomass depletion event reveals the importance of small pelagic fish top-down control in the Western Mediterranean coastal waters. *Frontiers in Marine Science* 7: 608690. https://doi.org/10.3389/fmars.2020.608690

Yebra L., Hernández de Rojas A., Valcárcel-Pérez N., Castro M.C., García-Gómez C., Cortés D., Mercado J.M., Láiz-Carrión R., García A., Gómez-Jakobsen F., Uriarte A., Rodríguez J.M., Quintanilla J.M. (2019). Molecular identification of the diet of *Sardina pilchardus* larvae in the SW Mediterranean Sea. *Marine Ecology Progress Series* 617-618: 41–52. https://doi.org/10.3354/meps12833

Yebra L., Herrera I., Mercado J.M., Cortés D., Gómez-Jakobsen F., Alonso A., Sánchez A., Salles S. (2018). Zooplankton production and carbon export flux in the western Alboran Sea gyre (SW Mediterranean). *Progress in Oceanography* 167: 64-77. https://doi.org/10.1016/j.pocean.2018.07.009





Yebra L., Puerto M., Valcárcel-Pérez N., Putzeys S., Gómez-Jakobsen F., García-Gómez C., Mercado J.M. (2022). Spatio-temporal variability of the zooplankton community in the SW Mediterranean 1992-2020: linkages with environmental drivers. *Progress in Oceanography* 203: 102782. https://doi.org/10.1016/j.pocean.2022.102782

Yebra L., Putzeys S., Cortés D., Mercado J.M., Gómez-Jakobsen F., León P., Salles S., Herrera I. (2017). Trophic conditions govern summer zooplankton production variability along the SE Spanish coast (SW Mediterranean). *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 187: 134-145. https://doi.org/10.1016/j.ecss.2016.12.024

# ESTRATEGIAS MARINAS

Protegiendo el mar para todos

Financiado por la Unión Europea NextGenerationEU

GOBIERNO DE ESPAÑA
VICEPRESIDENCIA TERCERA DEL GOBIERNO
MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO

Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia