



Estado y tendencia de los servicios de los ecosistemas marinos de aguas exteriores de Andalucía

Universidad de Málaga – Departamento de Ecología y Geología

Autores: Jaime Rodríguez, Andreas Reul, José María Blanco, Valeriano Rodríguez

Noviembre 2011

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN	15
2. CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA SOCIOECOLÓGICO MARINO DE ANDALUCÍA	16
2.1. ÁMBITO ESPACIAL	16
2.2. EL SISTEMA SOCIOECOLÓGICO MARINO REGIONAL: MODELO CONCEPTUAL	19
2.2.1. El marco mediterráneo	20
2.2.2. El ecosistema marino regional	22
2.3. REGIONALIZACIÓN ECOLÓGICA DEL ECOSISTEMA MARINO DE ANDALUCÍA	25
2.3.1. Ventajas del enfoque físico a escala de cuenca marina	26
2.3.2. El caso de los ecosistemas marinos de Andalucía	26
2.4. REGIONES ECOLÓGICAS Y TIPOS OPERATIVOS DE ECOSISTEMAS	29
2.5. PRINCIPALES SUBTIPOS OPERATIVOS DE ECOSISTEMAS MARINOS	37
3. ESTADO DE CONSERVACIÓN GENERAL	45
4. SERVICIOS EVALUADOS, MÉTODOS DE EVALUACIÓN Y FUENTES DE DATOS	49
4.1. TENDENCIAS GENERALES	55
5. IMPULSORES DIRECTOS DEL CAMBIO	56
5.1. CAMBIOS DE USO DEL MEDIO	57
5.2. CAMBIO CLIMÁTICO	58
5.3. INSUMOS EXTERNOS	58
5.4. ESPECIES INVASORAS	59
5.5. SOBREEXPLOTACIÓN PESQUERA	60
5.6. CAMBIOS EN LOS CICLOS BIOGEOQUÍMICOS	60
6. ANÁLISIS DE COMPROMISOS (<i>TRADE-OFFS</i>) Y SINERGIAS	62
6. RESPUESTAS E INTERVENCIONES DE GESTIÓN	65
6.1. EL MARCO CONCEPTUAL	65
6.2. RESPUESTAS LEGISLATIVAS, ACUERDOS Y ACTIVIDADES	65
7.2.1. Principales hitos	65
7.2.2. Iniciativas regionales destacables	68
7.2.2. Necesidades de gestión y posibles medidas a tener en cuenta	71
7. RESPUESTAS E INTERVENCIONES DE GESTIÓN	73
8. AGRADECIMIENTOS	75
9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	75

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tipos Operativos de ecosistemas identificados en las aguas exteriores de Andalucía.	33
Tabla 2. Subtipos de ecosistemas marinos de aguas exteriores sobre los que sería deseable poseer la información requerida en la evaluación de servicios de los ecosistemas.	43
Tabla 3. Tipos y subtipos operativos para la evaluación de servicios de los ecosistemas. Los correspondientes al ecosistema de Praderas de <i>Posidonia</i> se evalúan en el capítulo de Ecosistemas Litorales.	43
Tabla 4. Ejemplos de servicios proporcionados por los ecosistemas marinos de aguas exteriores. Se propone una valoración de su importancia mediante la clave de colores mostrada al final de la tabla.	49
Tabla 5. Indicadores evaluados en relación con los ecosistemas marinos de aguas exteriores.	53
Tabla 6. Tendencia del estado de los servicios analizados.	55
Tabla 7. Intensidad y tendencia de los impulsores directos de cambio en los ecosistemas marinos de aguas exteriores de Andalucía.	61
Tabla 8. Intensidad y tendencia de los principales impulsores directos de cambio en los ecosistemas marinos en España, en los últimos 50 años (Duarte et al., 2010).	61

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1. Ejemplo de trayectoria de la Línea de Base Recta (línea roja) en un sector del Parque Natural del Cabo de Gata-Níjar (Almería). Los mismos hábitats litorales de la franja marina protegida (línea de puntos amarilla) pueden pertenecer a las aguas interiores (sector central) o exteriores (áreas de reserva marina en los extremos de la zona). Figura tomada de C.A.P. (2010)..... 18
- Figura 2. Ámbito de la categoría “Ecosistemas marinos de aguas exteriores”, definido entre la línea de base recta que encierra las aguas interiores (en rojo, ámbito del “Ecosistema litoral”) y la línea exterior de la jurisdicción marítima española. La figura ha sido tomada de <http://www.marineplan.es/es/subregional.html> y se han eliminado los elementos relacionados con la costa norteafricana a excepción del área del estrecho de Gibraltar. En el ámbito atlántico de Andalucía, este límite lo establece la Zona Económica Exclusiva (ZEE) Española. En el ámbito del Estrecho de Gibraltar y del mar de Alborán, la imposibilidad de establecer una ZEE lleva a la aplicación de diferentes criterios jurídicos que resultan en la propuesta de la figura. La región al Este del cabo de Gata (Almería) resulta de la combinación de la zona contigua y la zona de protección pesquera establecida por España para controlar el acceso a los recursos pesqueros (Suárez-Vivero, 2009). . 19
- Figura 3. (a) Corrientes de intercambio de agua entre el Atlántico y el Mediterráneo en el estrecho de Gibraltar y (b) posición de la interfase entre aguas atlánticas y mediterráneas en el golfo de Cádiz, estrecho de Gibraltar y mar de Alborán. (Rodríguez, 1982)..... 21
- Figura 4. Modelo conceptual del ecosistema marino regional, estructurado verticalmente para identificar la organización vertical en capas de aguas atlánticas y mediterráneas. Aunque el modelo se ha concebido para el mar de Alborán puede extenderse al conjunto regional teniendo en cuenta que el espesor relativo de los compartimentos verticales varía fuertemente en el eje espacial horizontal (ver procesos en Cuadro 1) (Rodríguez et al. En preparación)..... 22
- Figura 5. La hidrodinámica juega un papel básico en la configuración estructural y dinámica de los ecosistemas marinos, lo que es particularmente cierto en el caso de los ecosistemas marinos regionales de Andalucía debido a las peculiares condiciones de contacto entre el océano Atlántico y el mar Mediterráneo. 24
- Figura 6. Aplicación del marco conceptual del Milenio al ecosistema marino regional de la figura 4 y Cuadro 1. Algunas de las funciones ecológicas del sistema se traducen en servicios una vez que de ellas se aprovecha directa o indirectamente el ser humano. 25
- Figura 7. Distribución de los valores del vector propio 1 derivado del análisis EOF de la temperatura superficial(Datos brutos obtenidos de (<http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/cgi/browse.pl>) 28
- Figura 8. Distribución de los valores del vector propio 1 derivado del análisis EOF de la concentración superficial de clorofila.(Datos brutos obtenidos de (<http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/cgi/browse.pl>) 28
- Figura 9. Unidades Ecológicas de Gestión identificadas en el Borrador de Plan Director de la RENPA (Rodríguez et al., 2004). 29
- Figura 10. Posibles tipos operativos de ecosistemas marinos de Andalucía..... 30
- Figura 11. Diagramas Temperatura-Salinidad característicos de las aguas de Andalucía (ver texto para explicación). Datos no publicados procedentes de los proyectos de investigación REFERENCIAS. 32
- Figura 12. (a) Grandes divisiones del medio oceánico (ligeramente modificada de Pérès, 1968). (b) Distribución típica de las comunidades bentónicas de la plataforma continental y comienzo del talud continental en el Mediterráneo (Pérès y Picard, 1964). Los sustratos más frecuentemente asociados a las aguas exteriores, ámbito operativo de la categoría “ecosistemas marinos” de este proyecto, son los correspondientes al piso circalitoral y los del talud continental. Las praderas de Posidonia (última franja del piso infralitoral en la figura inferior) pueden ubicarse también en aguas exteriores aunque desde el punto de vista de los servicios su consideración más oportuna es en el ámbito litoral 37
- Figura 13. Esquema de una pradera de Posidonia oceanica, mezclada con Cymodocea nodosa) y de la formación del “arrecife-barrera” que protege al litoral del oleaje (Duarte, 2004. Dibujo de J. Corbera, modificado de Boudouresque y Meinesz, 1982)..... 38
- Figura 14. (a) Imagen 3D de los fondos marinos del Golfo de Cádiz, vista desde el Suroeste. En el centro se puede apreciar el lugar que ocupa una de las dorsales más características de la zona de expulsión de fluidos, que es la llamada Fila de Hormiga (Díaz del Río, 2009). (b) Fragmento de chimenea de metano del golfo de Cádiz (Proyecto Indemares, Fundación Biodiversidad). (c) Consorcio de arqueas metanógenas y bacterias sulfato-reductoras que dan lugar a la formación de las chimeneas carbonatadas (Rodríguez et al., 2010)..... 41
- Figura 15. (Superior) Estado de conservación de hábitat marinos europeos.(Inferior) Estado de conservación especies de interés en dichos hábitat. Solamente 6 tipos de hábitat son considerados “marinos” en el Anexo I de la

Directiva Hábitat: sustrandos de arena, praderas de Posidonia, grandes bahías, arrecifes, chimeneas de gases y grutas marinas (EEA, 2010) frente a 50 hábitat clasificados como “costeros”. La figura pone de manifiesto el gran desconocimiento existente sobre la mayoría de los hábitat marinos. (EEA, 2010).....	46
Figura 16. Principales problemas ambientales que afectan al conjunto de los Ecosistemas Marinos regionales. Se identifican en color aquellos que son especialmente relevantes para los E. M. de aguas exteriores.	48
Figura 17. Comparación de los modelos analíticos propuestos por la EEA (1999, derecha) y la Evaluación del Milenio en España (2010, izquierda). Aunque en esta figura el modelo de la EME agrupa Impulsores Indirectos y Directos del Cambio en un solo compartimento (Presión), estos son equivalentes respectivamente a las Fuerzas	57
Figura 18. Ejemplo de compromisos y sinergias relacionados con una decisión sobre gestión pesquera	62
Figura 19. Ejemplo de compromisos y sinergias relacionados con una decisión sobre gestión del problema del cambio climático.	63
Figura 20. Ejemplo de compromisos y sinergias relacionados con una decisión sobre gestión ambiental	64
Figura 21. Espacios protegidos en la cuenca del mar de Alborán.....	69
Figura 22. Red de estaciones de muestreo para la observación del cambio climático en el Mediterráneo	70
Figura 23. Principios y directrices sobre los que se fundamenta la propuesta de un Plan Andaluz de Áreas Marinas Protegidas (Rodríguez et al., 2004).....	71
Figura 24. Síntesis de las relaciones entre impulsores, capital natural, servicios, bienestar humano y respuestas en relación con los ecosistemas marinos de aguas exteriores.....	74

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1. <i>Posidonia oceanica</i> (Foto: José Carlos Moreno).....	39
Imagen 2. <i>Laminaria ochroleuca</i> (Foto: José Carlos Moreno).	40
Imagen 3. Algunas especies de corales profundos del Mar de Alborán. (1) <i>Lophelia pertusa</i> y <i>Madrepora oculata</i> ; (2) <i>Callogorgia verticillata</i> ; (3) <i>Dendrophyllia cornigera</i> ; (4) <i>Anthomastus cf. grandiflorus</i> . Fotos: Cortesía de OCEANA (Expedición Oceana Ranger 2011).....	42

MENSAJES CLAVE

1. Los impactos que las actividades humanas provocan sobre los ecosistemas marinos europeos están afectando negativamente al capital natural (biodiversidad) que representan y deteriorando su capacidad para proveer de servicios a la sociedad. La pérdida de biodiversidad a todos los niveles (diversidad genética, de especies, de hábitat y de ecosistemas) se manifiesta en el deterioro de servicios básicos de provisión de alimento por sobreexplotación de recursos y destrucción de hábitat así como en la probable disminución de la capacidad de regulación climática en un escenario de progresiva acidificación de las aguas marinas.
2. El desconocimiento científico del estado y tendencias de los servicios en gran parte de los ecosistemas marinos de aguas exteriores hace necesario impulsar su estudio en este marco conceptual. La reciente información sobre la elevada biodiversidad y extrema vulnerabilidad de ecosistemas marinos profundos exigen la regulación inmediata de la presión antropogénica sobre estos hábitat (principalmente derivada de la expansión de la actividad pesquera a estos fondos) y su inclusión en la red de áreas marinas protegidas de Andalucía.
3. Dos de los servicios más importantes del ecosistema oceánico se están viendo afectados negativamente. Las condiciones actuales de vida en el planeta no pueden concebirse sin el papel que los procesos ecológicos oceánicos juegan en la regulación del clima pero la capacidad reguladora del océano tiene un límite y, además, el proceso provoca su acidificación, lo que implica una seria amenaza para organismos calcáreos que juegan un papel relevante en las redes tróficas oceánicas. Por otra parte, el desarrollo tecnológico ha provocado un enorme incremento de la capacidad de explotación pesquera de las poblaciones oceánicas y de fondos profundos comprometiendo la sostenibilidad de especies de interés comercial, llevando a especies que no son objetivo de la explotación (tiburones, mamíferos marinos, tortugas marinos) a situaciones cercanas a la extinción y destruyendo hábitats cuya biodiversidad estamos lejos de conocer (como los arrecifes de corales profundos).
4. En general, tanto los servicios de abastecimiento como los de regulación climática sugieren una tendencia decreciente en su funcionamiento, en ambos casos como parte de una tendencia general contrastada a mayor escala espacial y temporal y sin menoscabo de que en casos particulares (la explotación de alguna especie-recurso en concreto) el servicio pueda considerarse en buen estado o en recuperación. Por otra parte, en ambos servicios el componente de fluctuación natural puede ser importante y se requiere mantener el seguimiento temporal de los indicadores actualmente en estudio así como extender su cobertura espacial.
5. La interpretación de los indicadores requiere tener en cuenta el tiempo de respuesta de los agentes de presión ante las decisiones de gestión. Los agentes de presión que operan sobre el estado de los recursos biológicos deben de responder a una escala espacial más local y a una escala temporal más breve que los agentes que afectan al servicio de regulación del clima, dependiente de procesos que operan a escalas espaciales y temporales mucho mayores.
6. Sólo a través de la aplicación rigurosa de la Directiva Marco sobre Estrategia Marina, junto con el completo desarrollo de la Directiva Marco del Agua (bajo cuya competencia están las aguas costeras) tendremos una valoración fiable del estado de conservación de los ecosistemas marinos españoles y andaluces en particular.

1. Introducción

La mayor parte del planeta Tierra (alrededor de un 70%, unos 362 millones de km²) está cubierta por el océano y los grandes mares. Los procesos hidrodinámicos de mezcla de masas de aguas, corrientes superficiales y profundas, estratificación y mezcla vertical, dinámica de mareas, flujos entre plataforma y talud continental, etc garantizan la conectividad entre ecosistemas marinos al tiempo que generan heterogeneidad vertical y horizontal a muy diferentes escalas.

Una de las características de la relación entre la sociedad humana y el mar ha sido, hasta no hace mucho tiempo, la consideración del mar como una fuente inexplorada e inagotable de recursos. De hecho, el conjunto de la naturaleza era algo cuya única razón de ser consistía en suministrar espacio y alimento a la especie humana y servir de sumidero infinito para los residuos generados como resultado de su creciente y rápido desarrollo. Durante el siglo pasado, la población humana ha superado los 6000 millones de personas y ha experimentado un desarrollo tecnológico inconcebible poco tiempo atrás. El incremento paralelo de las necesidades de espacio, alimento y de una calidad de vida asociada estrechamente a las comodidades del denominado “mundo desarrollado” ha impactado negativamente sobre el medio ambiente, fuente y sumidero de materiales, hasta hacerse patente que los ecosistemas tienen una capacidad limitada para absorber los diversos modos de presión antropogénica y seguir manteniendo su integridad estructural y funcional.

En el marco de un escenario de cambio global generalizado, la presión humana sobre los ecosistemas marinos ha alcanzado un nivel sin precedentes, provocando la continua disminución de los recursos biológicos (NRS, 1995; Botsford et al., 1997; Pauly et al., 1998). Actualmente, más del 80% de los caladeros de pesca están sobreexplotados y el resto en vías de sufrir el mismo destino (Barangé and Harris, 2003), muchas de las áreas costeras y mares semicerrados se encuentran sometidos a fuertes cargas de productos contaminantes y, a escala planetaria, el papel que el océano juega como sumidero de parte del carbono antropogénico emitido a la atmósfera está llevando a su acidificación (Orr et al., 2005; Raven et al., 2005). Cada uno de los agentes de estrés, y todos ellos en conjunto, están provocando la pérdida de biodiversidad y de la integridad funcional de los ecosistemas marinos.

Los recursos biológicos, sin embargo, solo son una parte de los bienes y servicios (Costanza et al., 1997) que el ecosistema marino brinda a la población humana. El progreso del conocimiento científico nos ha enseñado que la humanidad necesita ecosistemas marinos “sanos” porque de ello depende desde el valor estético de un ámbito marino local hasta el mantenimiento de condiciones favorables para la biosfera a escala planetaria. El despertar de una conciencia conservacionista en relación con el mundo natural y el posterior convencimiento de que la especie humana forma parte del ecosistema y como tal debe ser tenido en cuenta en las estrategias de conservación representan los pilares sobre los que asientan las tendencias actuales en conservación ambiental (Rodríguez y Ruiz, 2010).

La combinación de un enfoque basado en la escala de ecosistema y en la consideración de los servicios que los ecosistemas prestan al bienestar humano es relativamente reciente y se plasma en la Evaluación de Ecosistemas del Milenio de Naciones Unidas (MA, 2003). En relación con los ecosistemas marinos, la Evaluación del Milenio presta especial atención a las tendencias mostradas por la explotación de los recursos biológicos por ser este servicio de abastecimiento el más inmediatamente perceptible entre los servicios proporcionados por los ecosistemas marinos (lo que se ha traducido en la existencia de información suficiente como para analizar dichas tendencias).

Por otra parte, es lógico que la preocupación ambiental y la información acumulada sobre las presiones e impactos que afectan a los ecosistemas marinos se concentren en las áreas litorales o sector costero, donde la interacción mar-continente-sociedad es más intensa. No obstante, asistimos a un progresivo aumento de la preocupación acerca de las amenazas y del estado ecológico de los ecosistemas marinos de aguas abiertas, profundas, oceánicas, con un menor grado de interacción con los procesos litorales. El impacto de las actividades humanas alcanza a estos ecosistemas donde ya

son perceptibles los efectos de la sobrepesca, la destrucción de hábitat, alteraciones en las redes tróficas y estructura de comunidades y pérdidas de biodiversidad, reconociéndose la necesidad de diseñar y establecer redes de áreas marinas protegidas que complementen a las existentes a nivel costero-litoral (Gjerde, 2001; Gjerde y Breyde, 2003).

Aunque la Evaluación de Ecosistemas del Milenio en España (EEME, 2011) ya plantea claramente la necesidad de atender a la diversidad de servicios de los ecosistemas (abastecimiento, regulación y culturales), el análisis relativo a los ecosistemas marinos de aguas exteriores de Andalucía, objeto de este capítulo, se ve forzosamente dominado por el protagonismo de los servicios de abastecimiento y las tendencias exhibidas por los recursos biológicos. En segundo lugar, y gracias a la toma de conciencia de las estrechas relaciones entre océano y clima, es posible iniciar el análisis de algunos servicios de regulación fundamentales relacionados con el impacto del cambio climático sobre ciertas propiedades estructurales y dinámicas de las masas de agua de los mares regionales de Andalucía. La diversidad y tendencias de los servicios culturales ligados a los ecosistemas marinos son objeto de análisis en capítulo aparte.

2. Caracterización del sistema socioecológico marino de Andalucía

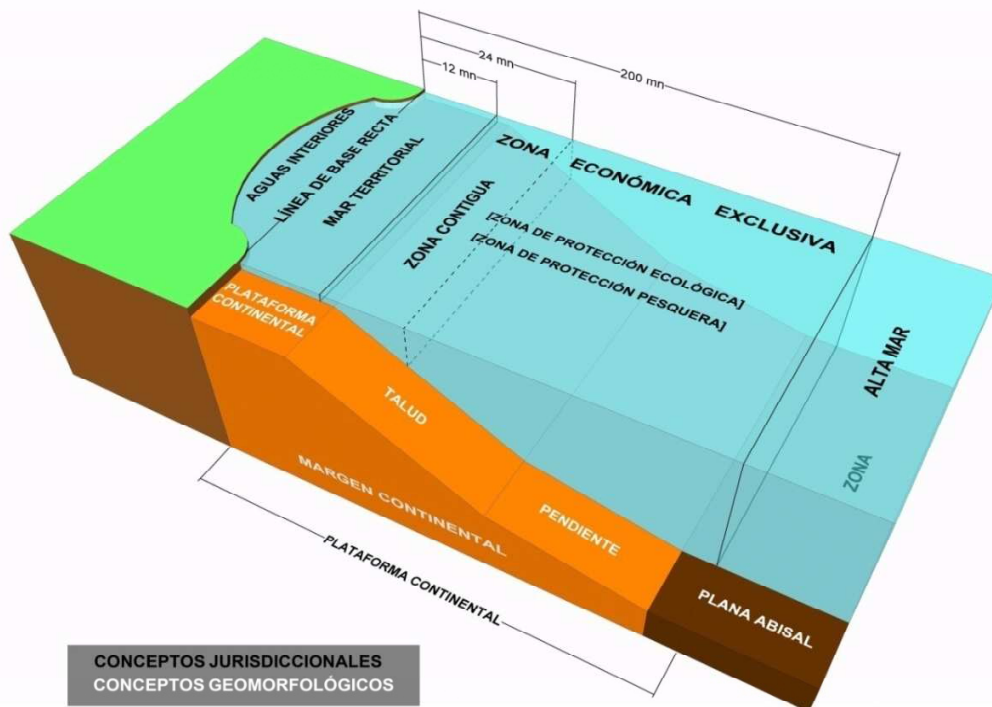
2.1. Ámbito espacial

Es necesario partir del reconocimiento de que cualquier división del ecosistema marino mediante el establecimiento de fronteras rígidas es una decisión puramente jurídica u operativa. En el marco de la Evaluación de Ecosistemas del Milenio (UNEP, 2006), el dominio oceánico (marino) y costero se corresponden con dos grupos de ecosistemas: “*marine fisheries systems*” (sistemas marinos) and “*inshore coastal systems and coastal communities*” (sistemas costeros). En este marco, los *sistemas marinos* se extienden desde la profundidad de 50 m hasta las aguas profundas, en tanto que los *sistemas costeros* se extienden desde la isobata de 50 m hasta un máximo de 100 km o 50 m de altitud hacia el interior del medio terrestre.

En el marco de las Evaluaciones del Milenio en España y en Andalucía, la definición operativa de “*Ecosistema Marino*” se establece de acuerdo con los siguientes límites:

- El límite interior que lo separa del denominado *ecosistema litoral* viene determinado por la *Línea de Base Recta* (Cuadro 1), lo cual se corresponde con la separación, de carácter jurídico, entre aguas “interiores” y las aguas exteriores que constituyen otros ámbitos jurídicos como el *mar territorial*, la *zona contigua*, la *zona económica exclusiva* o posibles *zonas de protección ecológica* o de *protección pesquera* y, finalmente, la zona de *alta mar*.

Cuadro 1. Límites jurisdiccionales y geomorfológicos en el ecosistema marino, según Suárez-Vivero (2009).



Las **Líneas de base recta (LBR)** se obtienen uniendo los puntos más afuera de la costa y no deben apartarse de una manera apreciable de la dirección general de la costa (CNUDM, art. 7) y delimitan el ámbito de las **Aguas interiores** (aguas situadas en el interior de la línea de base del mar territorial y que forman parte de las aguas interiores del Estado, según la Convención de Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar, 1982).

Siendo la línea de base recta un criterio jurídico, es obvio que, dependiendo de la morfología de la línea de costa, determinados hábitat relevantes como las praderas de fanerógamas o determinadas actividades como la pesca de arrastre pueden ubicarse en las aguas interiores del ámbito definido como “ecosistema litoral” o en las aguas del ámbito definido como “ecosistema marino de aguas exteriores”. Dado que la Evaluación del Milenio se asienta sobre los servicios de los ecosistemas y el bienestar humano, el carácter de los servicios puede ayudar a decidir el ámbito ecológico más adecuado para el análisis de estos ecosistemas y de los procesos limítrofes entre litoral y aguas exteriores. A modo de ejemplo: los servicios proporcionados por las praderas de *Posidonia* o el impacto generado por las especies invasoras tienen mayor repercusión e intensidad en relación con el ámbito litoral; por el contrario, los servicios derivados de la pesca tienen un valor cuantitativo mayor en los ecosistemas marinos de aguas exteriores.

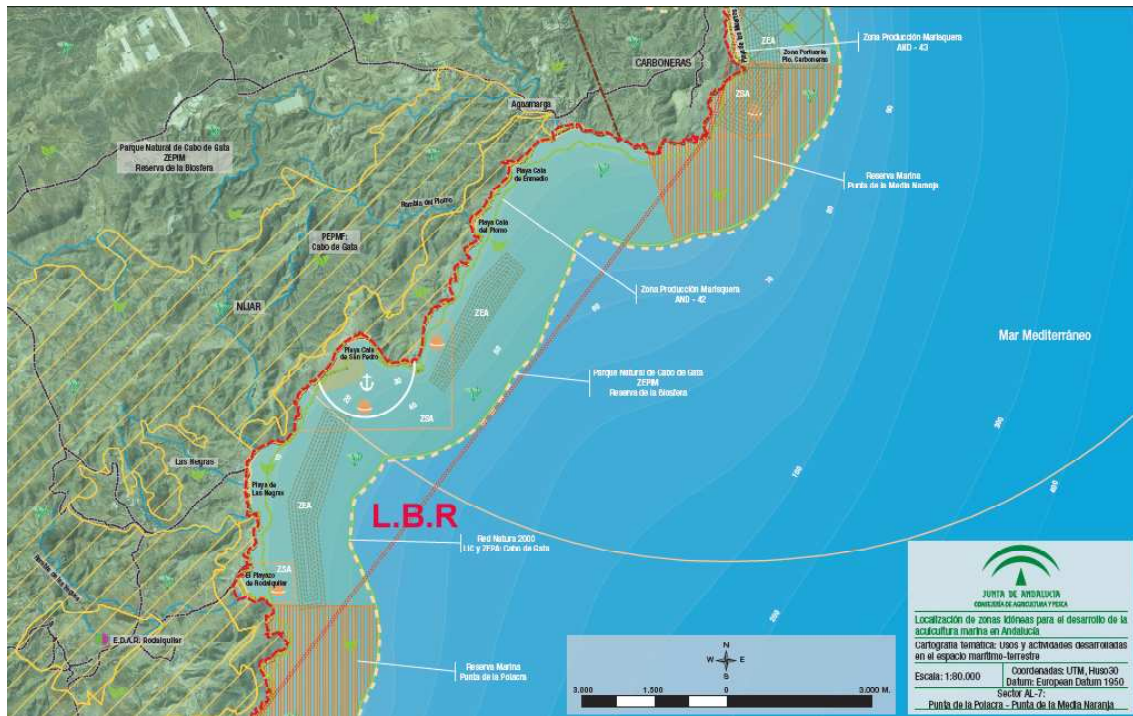


Figura 1. Ejemplo de trayectoria de la Línea de Base Recta (línea roja) en un sector del Parque Natural del Cabo de Gata-Níjar (Almería). Los mismos hábitats litorales de la franja marina protegida (línea de puntos amarilla) pueden pertenecer a las aguas interiores (sector central) o exteriores (áreas de reserva marina en los extremos de la zona). Figura tomada de C.A.P. (2010).

- Como límite externo del ámbito “ecosistema marino de aguas exteriores”, y con el fin de mantener el criterio empleado en la Evaluación del Milenio Español, parece razonable aceptar que el límite exterior sea el que establece la Directiva Marco sobre la Estrategia Marina:

“[...] sus regulaciones se aplicarán a las aguas, el lecho marino y el subsuelo situados más allá de la línea de base que sirve para medir la anchura de las aguas territoriales y que se extienden hasta el límite exterior de la zona en que un Estado miembro de la Unión Europea ejerce soberanía o jurisdicción de conformidad con la Convención de las Naciones Unidas sobre Derecho del Mar...”.

El ámbito marino de Andalucía plantea problemas jurídicos muy importantes a la hora de establecer este límite, aparentemente tan claro, dada la proximidad e interacción con otros países ribereños (Portugal, Marruecos, Argelia) y la existencia de conflictos territoriales en ambas orillas del estrecho de Gibraltar y cuenca de Alborán. El lector puede profundizar en los problemas jurídicos del ámbito marino regional en trabajos como los de Laclata (2004) y Suárez de Vivero (2009; 2011)

En el ámbito atlántico de Andalucía, este límite lo establece la Zona Económica Exclusiva (ZEE) Española (figura 2). En el ámbito del Estrecho de Gibraltar y del mar de Alborán, la imposibilidad de establecer una ZEE lleva a la aplicación de diferentes criterios jurídicos que resultan en la propuesta de la figura 2. La región al Este del cabo de Gata (Almería) resulta de la combinación de la zona contigua y la zona de protección de pesca establecida por España para controlar el acceso a los recursos pesqueros (Suárez-Vivero, 2009).

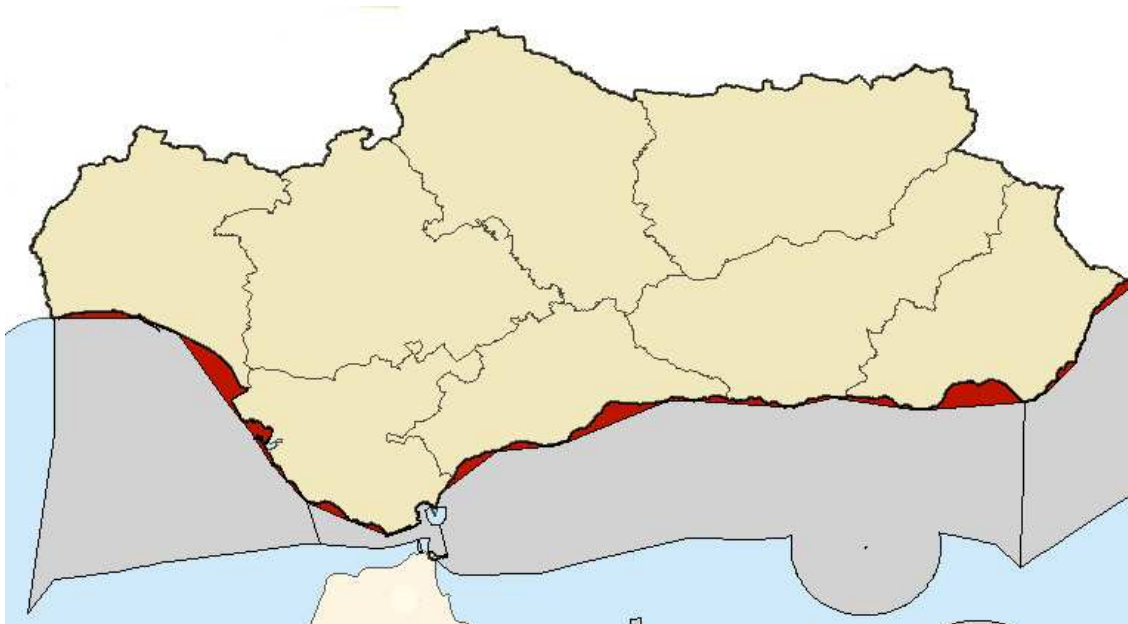


Figura 2. Ámbito de la categoría “Ecosistemas marinos de aguas exteriores”, definido entre la línea de base recta que encierra las aguas interiores (en rojo, ámbito del “Ecosistema litoral”) y la línea exterior de la jurisdicción marítima española. La figura ha sido tomada de <http://www.marineplan.es/es/subregional.html> y se han eliminado los elementos relacionados con la costa norteafricana a excepción del área del estrecho de Gibraltar. En el ámbito atlántico de Andalucía, este límite lo establece la Zona Económica Exclusiva (ZEE) Española. En el ámbito del Estrecho de Gibraltar y del mar de Alborán, la imposibilidad de establecer una ZEE lleva a la aplicación de diferentes criterios jurídicos que resultan en la propuesta de la figura. La región al Este del cabo de Gata (Almería) resulta de la combinación de la zona contigua y la zona de protección pesquera establecida por España para controlar el acceso a los recursos pesqueros (Suárez-Vivero, 2009).

Fronteras jurídicas aparte, lo importante del establecimiento de este límite exterior es que permite la inclusión de los ecosistemas de aguas profundas que en la introducción se presentaban como objeto de preocupación ambiental creciente (Gjerde y Breyde, 2003).

2.2. El sistema socioecológico marino regional: modelo conceptual

Por otra parte, a pesar de los límites operativos establecidos en el punto 2.1, la caracterización del sistema socioecológico marino requiere la integración de procesos ecológicos a una escala espacial más amplia que la determinada por el ámbito jurídico-administrativo. Igualmente, el modelo conceptual del ecosistema debe reconocer la incidencia de los procesos antropogénicos fundamentales, los cuales operan de forma mayoritaria a través del ecosistema litoral o, lo que es lo mismo, resultan principalmente de la interacción entre los ecosistemas marino y terrestre.

Geográficamente, el ecosistema marino regional comprende el mar de Alborán (Mediterráneo occidental) y el golfo de Cádiz (Atlántico nororiental), conectados por el estrecho de Gibraltar. El límite occidental lo impondría la frontera terrestre con Portugal, situándose el límite oriental en la frontera con las aguas de la comunidad autónoma de Murcia.

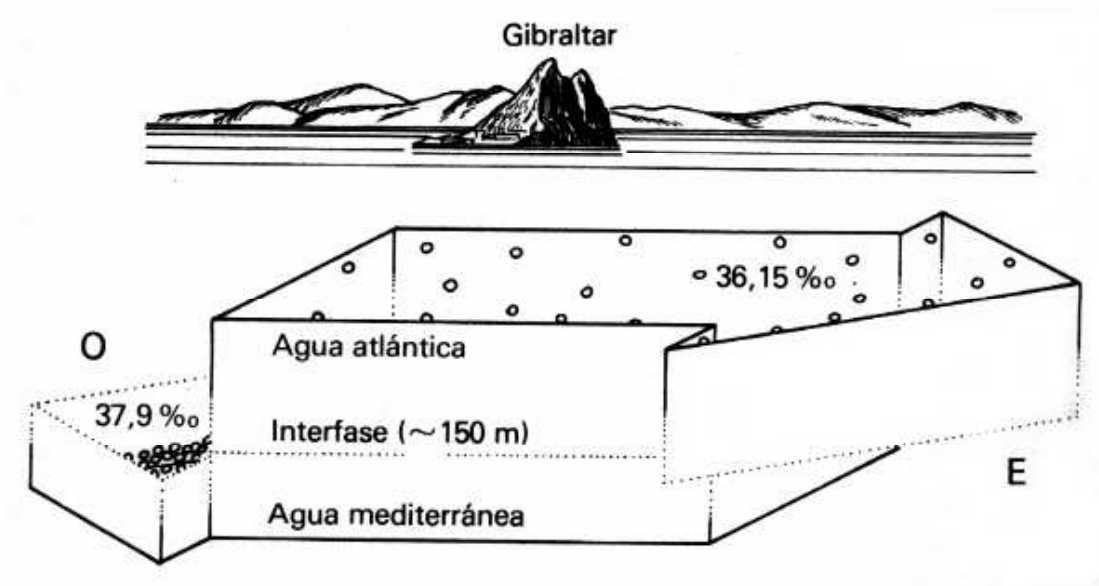
Ecológicamente, el conjunto del ecosistema marino regional andaluz representa una de las áreas de mayor interés en el marco del océano global al incluir los intercambios entre el océano Atlántico y el mar Mediterráneo a través del estrecho de Gibraltar. De hecho, podría considerarse globalmente como un ecosistema de transición entre el Atlántico y el Mediterráneo (Duarte et al, en prensa). No obstante, la regionalización que se presentará más adelante pondrá de manifiesto patrones de heterogeneidad espacial altamente relevantes en cuanto a su significación tanto ecológica como socioeconómica.

2.2.1. El marco mediterráneo

La estructura y dinámica del ecosistema marino regional no puede comprenderse sin la consideración del papel que juega el motor climático mediterráneo (Rodríguez, 1982). Por su posición y configuración geográfica, la cuenca mediterránea está sometida a un régimen climatológico que le impone unas pérdidas de agua por evaporación superiores a las ganancias debidas a la suma de precipitación y aportes fluviales. La evaporación neta o déficit hídrico suele expresarse mediante el descenso del nivel del mar que tendría lugar en la cuenca si no existiesen otros aportes de agua compensatorios. El valor más aceptado para el mar Mediterráneo se sitúa en torno a 0.6 m año^{-1} , equivalente a $\approx 1.6 \times 10^{12} \text{ m}^3 \cdot \text{año}^{-1}$ o 0.05 Sv ($1 \text{ sverdrup} = 10^6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) (García Lafuente, 2000). El exceso de evaporación determina el funcionamiento del Mediterráneo como cuenca de concentración y produce un doble efecto: un aumento de la salinidad (y densidad) y un descenso del nivel medio del mar de $\approx 14 \text{ cm}$ respecto al Atlántico, que son factores determinantes para el intercambio de agua a través del Estrecho.

Como consecuencia de lo expuesto, la estructura vertical de la columna de agua en el estrecho de Gibraltar responde fundamentalmente un sistema bi-capa, con la capa superior formada por aguas atlánticas menos densas y saladas con flujo neto hacia el Mediterráneo, y la inferior formada por aguas mediterráneas más densas y salinas con flujo neto hacia el Atlántico (figura 3), aunque la realidad es bastante más compleja tanto en la tipología de las masas de agua presentes en la región como en el comportamiento del proceso de intercambio.

(a)



(b)

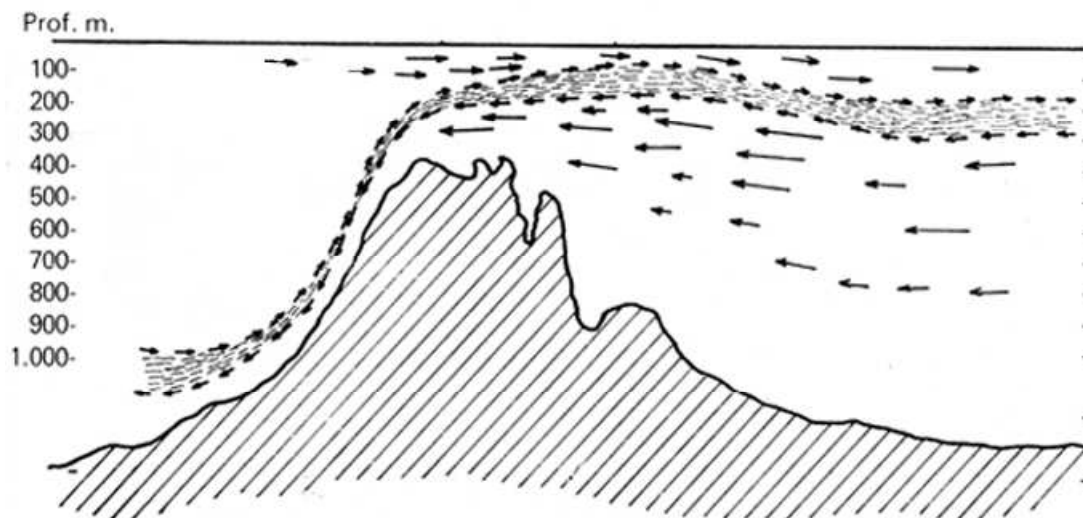


Figura 3. (a) Corrientes de intercambio de agua entre el Atlántico y el Mediterráneo en el estrecho de Gibraltar y (b) posición de la interfase entre aguas atlánticas y mediterráneas en el golfo de Cádiz, estrecho de Gibraltar y mar de Alborán. (Rodríguez, 1982).

2.2.2. El ecosistema marino regional

De hecho, la estructura bi-capa puede extenderse al conjunto del ecosistema marino regional (figura 4), teniendo en cuenta que, como sugiere la figura 3-b, el espesor de los compartimentos verticales de características atlánticas y mediterráneas varía fuertemente desde el golfo de Cádiz hasta el margen oriental del mar de Alborán. La figura 3 representa un modelo ecológico conceptual de compartimentos y flujos en el que se incluyen los procesos más relevantes, tanto naturales como antropogénicos.

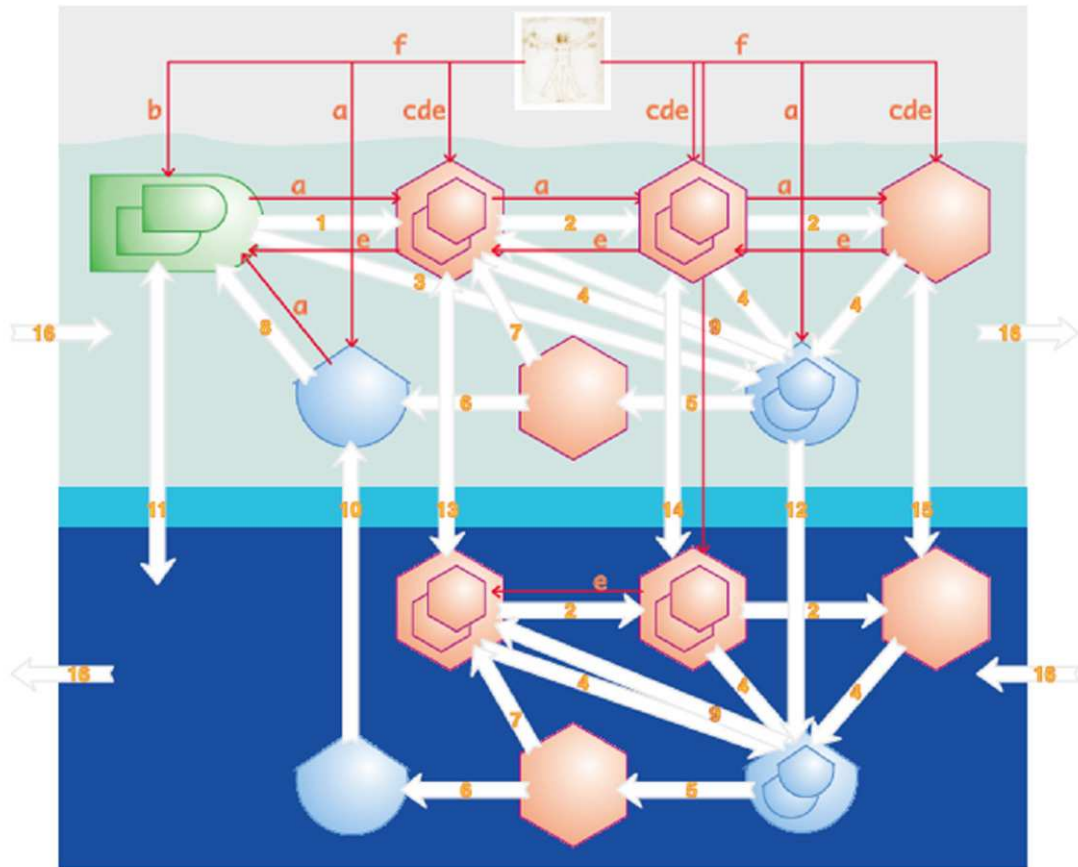


Figura 4. Modelo conceptual del ecosistema marino regional, estructurado verticalmente para identificar la organización vertical en capas de aguas atlánticas y mediterráneas. Aunque el modelo se ha concebido para el mar de Alborán puede extenderse al conjunto regional teniendo en cuenta que el espesor relativo de los compartimentos verticales varía fuertemente en el eje espacial horizontal (ver procesos en Cuadro 1) (Rodríguez et al. En preparación)

Cuadro 2. Identificación de los procesos representados en la Figura 4

Procesos naturales

1. Producción primaria, metabolismo y consumo de fitoplancton y fitobentos por zooplancton y zoobentos .
2. Producción secundaria, metabolismo y flujos de materia entre depredadores y presas en el plancton y en el bentos .
3. Producción primaria no consumida que se transforma en materia orgánica particulada o es exudada como carbono orgánico disuelto.
4. Producción secundaria no consumida y productos de excreción que pasan al compartimento de detritus.
5. Producción heterotrófica bacteriana.
6. Mineralización de materia orgánica por bacterias heterotróficas .
7. Consumo de biomasa bacteriana por bacterívoros y flujo de materia en la red trófica microbiana (bacterias, flagelados, ciliados)
8. Absorción de nutrientes inorgánicos por el fitoplancton y fitobentos. Bombeo de nutrientes entre sedimento y agua en praderas de fanerógamas.
9. Consumo de materia orgánica por detritívoros.
10. Transporte de nutrientes inorgánicos en la región de afloramiento noroccidental y frentes
11. Transporte de biomasa fitoplanctónica asociado a la dinámica vertical de mesoescala en frentes y región de afloramiento.
12. Sedimentación de materia orgánica particulada asociada a la bomba biológica de carbono; transporte de MOP plataforma-talud en cañones submarinos; transporte vertical de MOD en giros, frentes y zonas de afloramiento (García Lafuente, J. et al., 1991; Palanqués et al., 2005).
13. Flujo de biomasa, materia orgánica y nutrientes ligado a las migraciones verticales de mesozooplancton e ictioplancton (Rubin, 1994; Andersen et al., 2004).
14. Migraciones plataforma - talud relacionadas con el ciclo biológico de la ictiofauna.
15. Migraciones relacionadas con el comportamiento alimentario de mamíferos marinos.
16. Flujo de biomasa, materia orgánica y nutrientes ligado a los intercambios atlanto-mediterráneos.

Procesos antropogénicos

- a. Eutrofización: aportes de materia orgánica y nutrientes en estuarios y áreas costeras urbanizadas; alti
- b. Destrucción física de hábitat y particularmente de vegetación bentónica por pesca de arrastre y ancla
- c. Sobreexplotación de poblaciones de especies vulnerables (p.e. coral rojo), mortalidad inespecífica li
- d. Sobreexplotación pesquera de poblaciones demersales en plataforma y aguas profundas.
- e. Cambios estructurales y funcionales de las redes tróficas por eliminación de depredadores mediante pesca deportiva (perturbaciones "top-down").
- f. Impactos generales derivados del cambio climático; pérdida de biodiversidad común a todos los agentes de presión citados.

El modelo representado en la figura 4 está íntimamente acoplado a otros modelos de forzamiento físico y químico (no representados) que ilustran el control básico que la hidrodinámica ejerce sobre la disponibilidad de nutrientes, la productividad, las interacciones entre especies y, finalmente, la biodiversidad regional (figura 5).

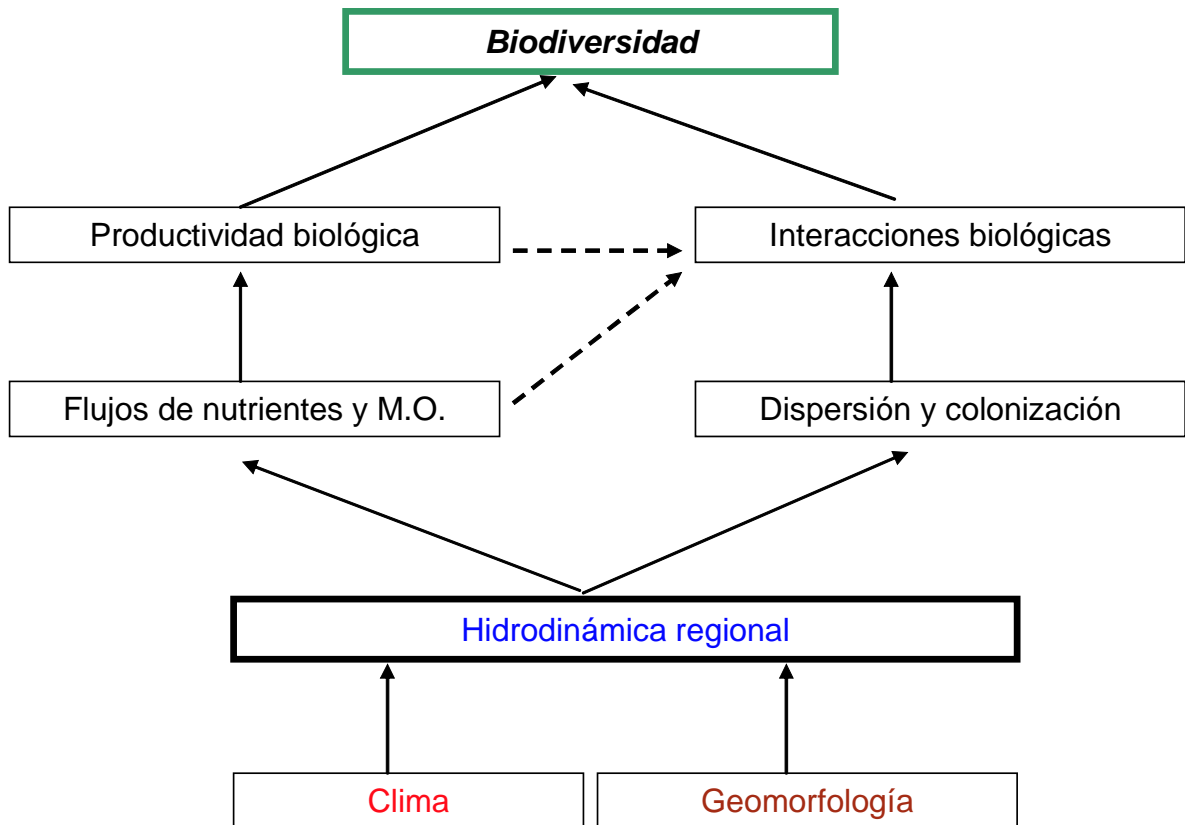


Figura 5. La hidrodinámica juega un papel básico en la configuración estructural y dinámica de los ecosistemas marinos, lo que es particularmente cierto en el caso de los ecosistemas marinos regionales de Andalucía debido a las peculiares condiciones de contacto entre el océano Atlántico y el mar Mediterráneo.

La consideración del marco conceptual de la Evaluación de Ecosistemas del Milenio (Montes y Sala, 2007) permite el examen de la estructura y dinámica del sistema natural no solo en conjunción con los agentes de presión antropogénicos (agentes impulsores de cambio) sino muy particularmente con los servicios que el ecosistema proporciona a la sociedad, servicios que derivan de aquellas funciones ecológicas que son aprovechadas por el ser humano (figura 6).

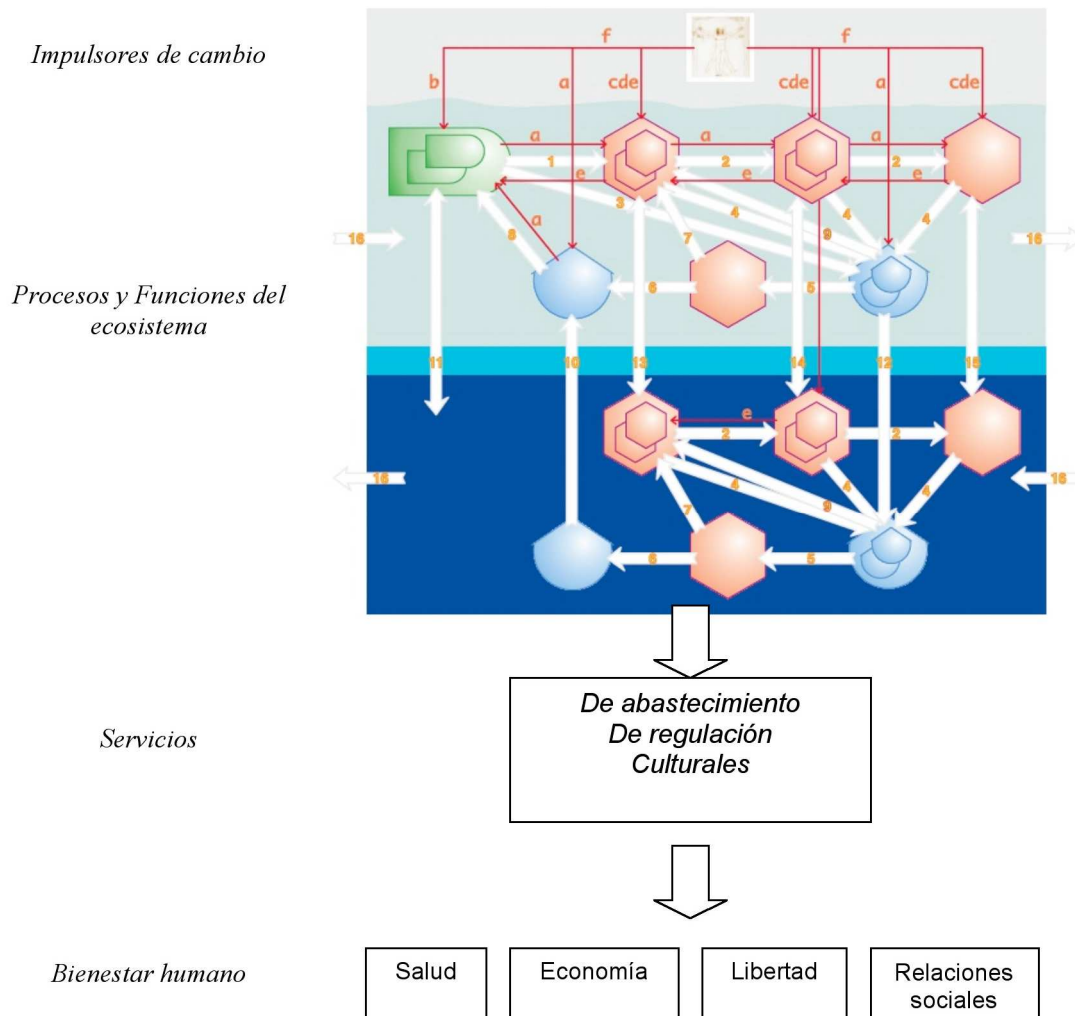


Figura 6. Aplicación del marco conceptual del Milenio al ecosistema marino regional de la figura 4 y Cuadro 1. Algunas de las funciones ecológicas del sistema se traducen en servicios una vez que de ellas se aprovecha directa o indirectamente el ser humano.

2.3. Regionalización ecológica del ecosistema marino de Andalucía

La implementación de un enfoque de gestión de ecosistemas requiere la disponibilidad de información acerca de la naturaleza y distribución de los ecosistemas. A cualquier escala de referencia, esto implica hacer una regionalización ecológica expresada en una cartografía de distribución de ecosistemas o “regiones ecológicas”, de las que se espera que contribuyan al conocimiento de los procesos ecológicos asociados con las características bióticas y abióticas de una determinada región. Sin embargo, a pesar de la amplia difusión y uso de “regiones ecológicas” en temas de conservación y gestión ambiental, no existe una base teórica globalmente aceptada para el proceso de este tipo de regionalización [McMahon 2004].

Las clasificaciones ecológicas y la cartografía de ecosistemas son una herramienta para satisfacer necesidades de gestión. Sin embargo (y, particularmente en el caso de cuencas marinas que incluyen los dominios pelágico y bentónico), la definición de fronteras o límites puede llegar a ser un artefacto poco apropiado teniendo en cuenta el carácter gradual de los cambios espaciales que muestran los ecosistemas. No obstante, la necesidad de la regionalización se impone y la solución pasa por la utilización de métodos científicos tan objetivos como sea posible para la identificación de los

ecosistemas regionales, permitiendo, también hasta donde sea posible, cierta elasticidad en la posición de los límites entre ellas.

2.3.1. Ventajas del enfoque físico a escala de cuenca marina

En comparación con el mismo problema planteado en el medio terrestre, la regionalización ecológica de una cuenca marina choca con dos problemas íntimamente relacionados entre sí : (1) el inferior conocimiento que generalmente se tiene sobre la biodiversidad y procesos ecológicos del sistema pelágico y de los ecosistemas bentónicos de sustratos profundos a una escala comparable a la del conocimiento de los hábitat y ecosistemas litorales y terrestres; (2) el elevado esfuerzo y coste económico de la adquisición de información científica.

En este marco, y asumiendo la relevancia de los procesos hidrodinámicos como soporte físico de los procesos ecológicos, cobran especial relevancia las técnicas de teledetección, las cuales permiten la obtención de información sinóptica de variables fundamentales para la identificación de la estructura y distribución de los principales ecosistemas marinos regionales. Como se ha indicado anteriormente, uno de los pilares de la oceanografía biológica es el reconocimiento del estrecho acoplamiento existente, a diferentes escalas, entre hidrodinámica, procesos ecológicos y patrones de distribución de diferentes propiedades de los ecosistemas, entre ellas la diversidad biológica (figura 5). En consecuencia, la puesta en marcha de estrategias de gestión de ecosistemas en el ámbito de cuencas marinas puede beneficiarse de aproximaciones basadas en la regionalización ecológica sobre una base física, como soporte sobre el que proyectar la información, generalmente más dispersa y de pequeña escala, de la heterogeneidad de hábitat y especies, particularmente en el dominio bentónico.

2.3.2. El caso de los ecosistemas marinos de Andalucía

En el conjunto de los mares ibéricos, las aguas que soportan el ecosistema marino de Andalucía, por su carácter de tránsito entre el interior del Mediterráneo y el océano Atlántico, representan sin duda el entorno ideal donde aplicar esta aproximación física. Unas pocas imágenes de la distribución superficial de la temperatura y de la concentración de clorofila durante el verano suelen mostrar los principales patrones hidrodinámicos y productivos de la región pero también una fuerte variabilidad a corto término que dificulta la propuesta, aunque solo sea de forma aproximada, de una regionalización ecológica.

Es por esta razón por la que se hace necesario algún tipo de análisis numérico que extraiga aquellos patrones estructurales y dinámicos que explican la mayor parte de la variabilidad exhibida a corto término. El análisis de *funciones empíricas ortogonales* (Venegas, 2001) permite la extracción de los principales gradientes de variación en las propiedades básicas del sistema (en nuestro caso la temperatura y clorofila superficial, la primera usada como variable aproximada o indicadora de patrones hidrodinámicos y la segunda como variable aproximada de la productividad biológica).

Para el trabajo presente se ha analizado la serie temporal de 5 años (enero 2005 - diciembre 2010) de imágenes diarias de temperatura y clorofila superficial con una resolución espacial de 1.1 km². Una vez adquiridas las imágenes (<http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/cgi/browse.pl>), se promediaron cada 3 días y se eliminaron las imágenes con una cobertura de nubes superior al 15% de la superficie. Finalmente se elaboró para cada variable una matriz tridimensional de Longitud (X), Latitud (Y) y tiempo (Z) con una resolución espacial de 1km² y una resolución temporal de 3 días, matriz sobre la que se calcularon las funciones empíricas ortogonales que se presentan en este informe.

Análisis similares se han realizado para sectores geográficos de menor extensión: el golfo de Cádiz (Navarro y Ruiz, 2006), el mar de Alborán (Rodríguez et al., 2010a) o a una escala tan fina como es en la zona noroccidental de afloramiento (Macías et al., 2007).

Los resultados a escala del conjunto de la región andaluza (Figuras 7 y 8) son coherentes con los obtenidos separadamente para el golfo de Cádiz y el mar de Alborán. Además, los resultados del

análisis numérico son coherentes con aquellos que, derivados del examen de los patrones de distribución de temperatura superficial obtenidos de sensores remotos y de medidas in situ durante campañas oceanográficas, condujeron a la propuesta de *Unidades Ecológicas de Gestión* (UEG) para los ecosistemas marinos de Andalucía (Rodríguez et al., 2004; figura 9):

- 1- Golfo de Cádiz
- 2- Estrecho de Gibraltar
- 3- Afloramiento Noroccidental
- 4- Transición o Ecotono Atlántico-Mediterráneo
- 5- Levante Almeriense

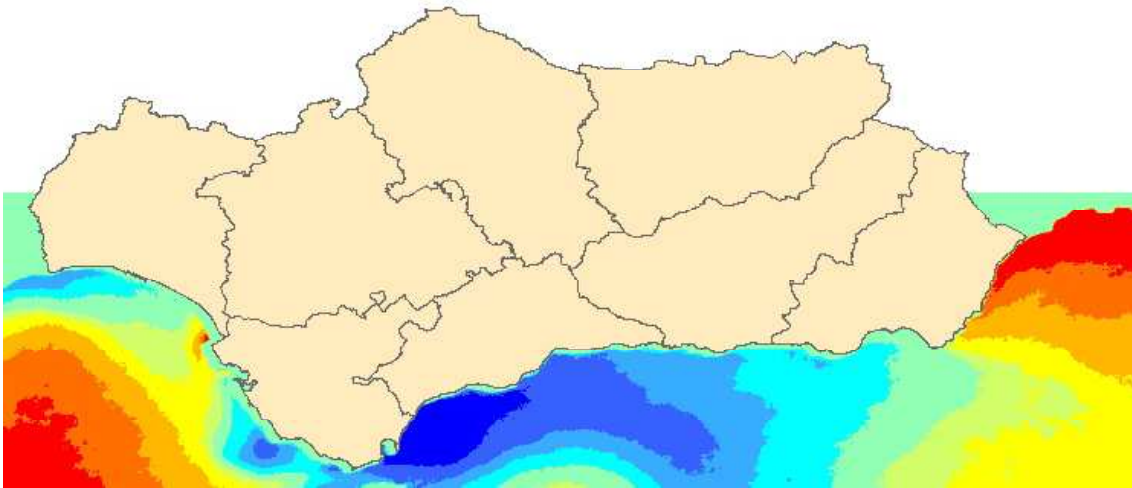


Figura 7. Distribución de los valores del vector propio 1 derivado del análisis EOF de la temperatura superficial (Datos brutos obtenidos de (<http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/cgi/browse.pl>))

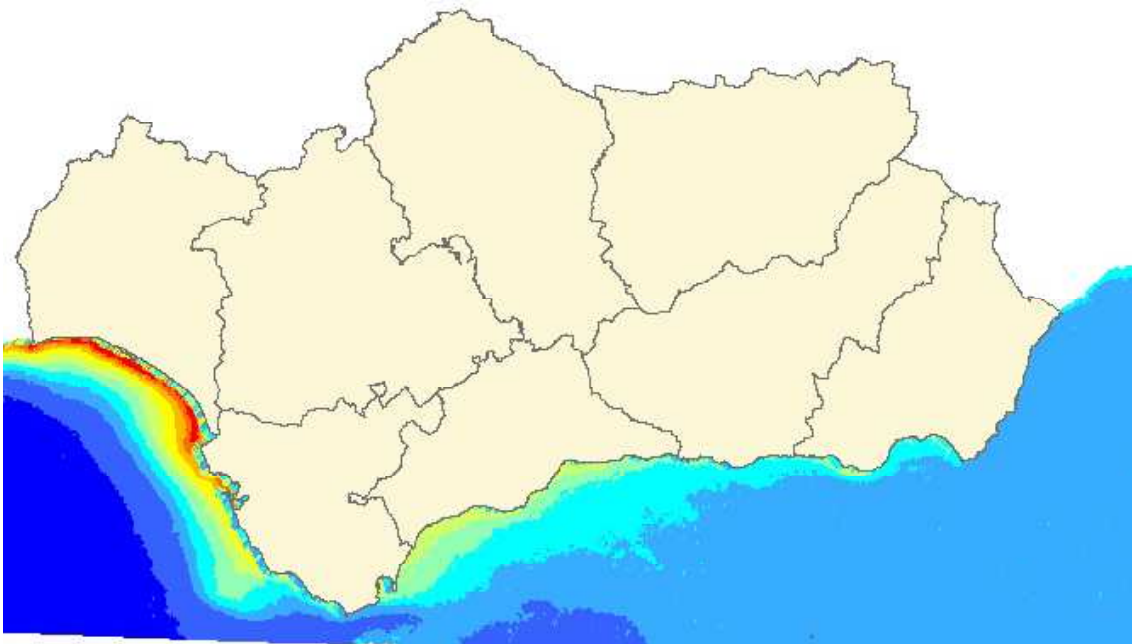


Figura 8. Distribución de los valores del vector propio 1 derivado del análisis EOF de la concentración superficial de clorofila. (Datos brutos obtenidos de (<http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/cgi/browse.pl>))

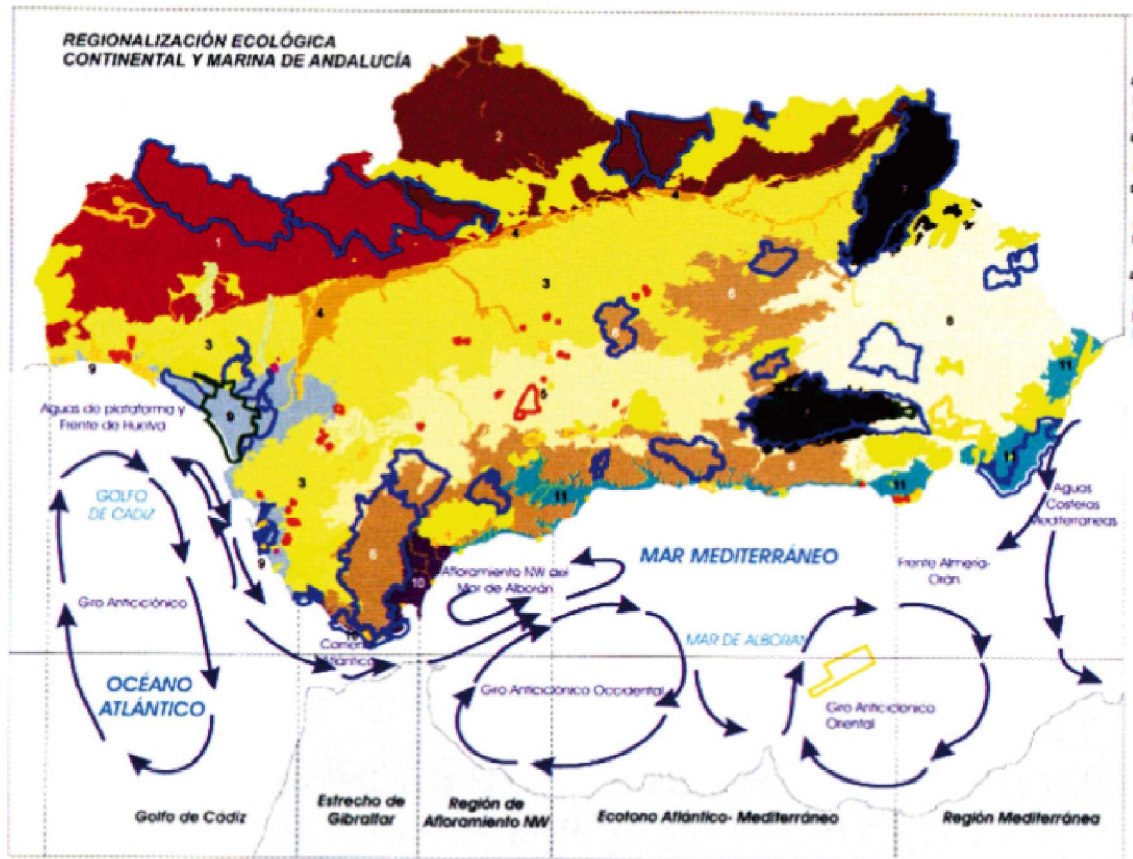


Figura 9. Unidades Ecológicas de Gestión identificadas en el Borrador de Plan Director de la RENPA (Rodríguez et al., 2004).

2.4. Regiones ecológicas y tipos operativos de ecosistemas

La cuestión es ¿Deben estas regiones ecológicas ser consideradas como Tipos Operativos de Ecosistemas de cara a la Evaluación de Ecosistemas del Milenio en Andalucía? La respuesta es que, en efecto, deberían ser consideradas como tales pero la realidad es que la información disponible acerca de los servicios ecológicos raramente se manifiesta a esta escala (téngase en cuenta que en la “Evaluación del Milenio en España” toda la región marina meridional, básicamente correspondiente con la región andaluza, es considerada como un solo tipo operativo).

Un nivel adecuado de agregación y simplificación de las UEG sugiere trabajar con los siguientes tipos de ecosistemas (figura 10):

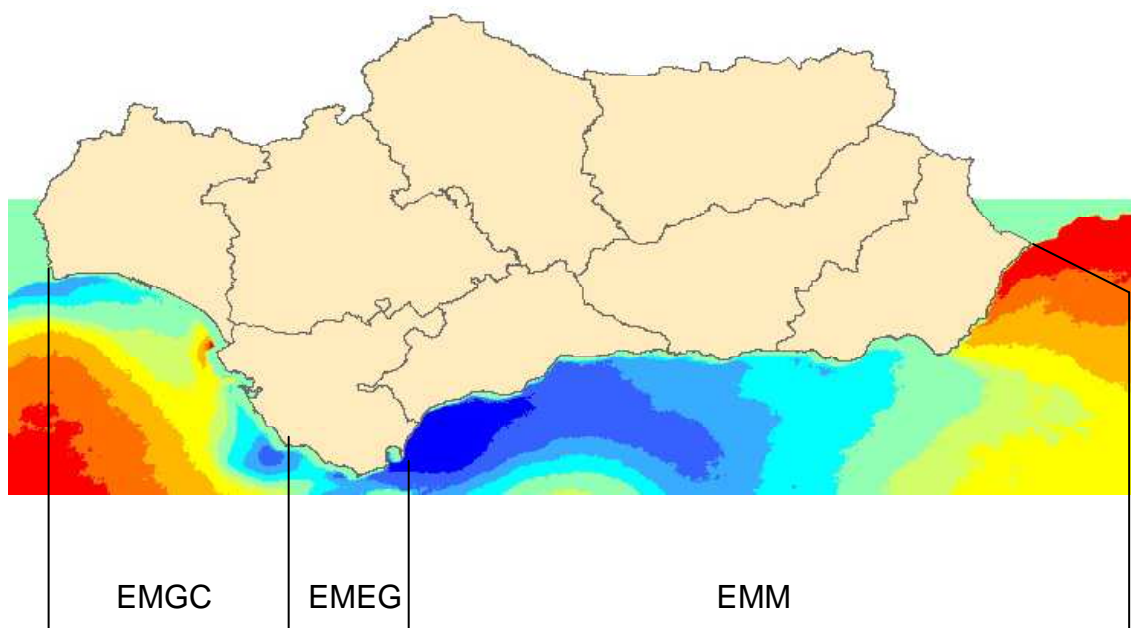


Figura 10. Posibles tipos operativos de ecosistemas marinos de Andalucía

A) Ecosistema Marino del Golfo de Cádiz (**EMGC**):

Entre las longitudes correspondientes a la frontera con Portugal (Huelva) y la Punta de Trafalgar (Cádiz).

B) Ecosistema Marino del Estrecho de Gibraltar (**EMEG**):

Entre las longitudes correspondientes a la Punta de Trafalgar (Cádiz) y Punta Europa en Gibraltar.

C) Ecosistema Marino Mediterráneo (**EMM**):

Entre la longitud correspondiente a Punta Europa (Gibraltar) y una línea perpendicular a la costa en el límite entre las provincias de Almería y Murcia.

Las diferencias en la importancia relativa de ciertos servicios de los ecosistemas entre estos posibles tipos operativos derivan de las diferencias básicas en la estructura y las funciones de los ecosistemas identificados así como en su interacción con un paisaje litoral también globalmente diferente:

A) **EMGC**: el ámbito litoral, formado en su mayoría por costas bajas y aplaceradas, se prolonga en un ámbito marino dominado por la distribución generalmente suave de las isobatas y la dominancia de sustratos blandos. Las masas de agua que ocupan la región son fundamentalmente el *Agua Superficial Atlántica* (ASA) y el *Agua Central del Atlántico Norte* (ACAN) (Figura 11, a y b). Los aportes fluviales tienen un claro impacto sobre las propiedades físicas y químicas así como sobre la productividad de las aguas de la plataforma continental (figuras 7 y 8), estableciéndose un fuerte gradiente (frente de Huelva) con las aguas superficiales oligotróficas del Giro Anticiclónico del Golfo de Cádiz. Por otra parte, los aportes fluviales y el régimen de mareas confieren al EMGC un fuerte carácter de integración estructural y funcional con la zona costera. El carácter atlántico de las masas de agua y la geomorfología dominante (ancha plataforma continental y sustratos blandos) favorecen la existencia de un flujo de servicios propios de este tipo operativo de ecosistema.

B) **EMEG**: las peculiaridades topográficas, hidrodinámicas y biológicas del área del Estrecho le confieren propiedades únicas que permiten asignarle una identificación propia como tipo operativo de

ecosistema marino. En él se da la superposición de las corrientes de ASA hacia el mar de Alborán y la corriente de *Agua Profunda Mediterránea* (APM) hacia el Atlántico, con una interfase muy pronunciada entre ambas, identificada por la posición de la isohalina de valor 37,5 (Gascard and Richez, 1985) (Figura 11, c). La interacción con la topografía, particularmente al nivel del umbral de Camarinal, genera una dinámica vertical de submesoescala con implicaciones en la fertilización de la propia región del Estrecho y del sector noroccidental del mar de Alborán (Gómez et al., 2000)

C) **EMM**: región oceanográficamente heterogénea que, como se refleja en las figuras 7 a 10, cambia entre dos situaciones extremas: la región del afloramiento noroccidental de Alborán y la región del Levante almeriense, con una zona de transición entre ellas. La figura 11 pone de manifiesto el diferente espesor de las capas de agua separadas por la interfase que, de hecho, puede llegar a situarse prácticamente en superficie en la región de afloramiento (figura 11, e).

Esta estructura resulta de los patrones hidrodinámicos derivados de la entrada de la corriente de ASA en el mar de Alborán. Entre dicha corriente y la costa española, en el ámbito en que la corriente sigue una dirección SW a NE, el balance geostrofico y otros factores locales determinan el afloramiento de aguas subsuperficiales frías y ricas en nutrientes (biológicamente productivas, consecuentemente). En el otro extremo, las aguas atlánticas viejas y superficiales que han sido modificadas a lo largo de su viaje por el interior del Mediterráneo Occidental (figura 11, f,g), retornan hacia el mar de Alborán formando un frente oceánico con las aguas atlánticas modificadas del giro anticiclónico oriental (figuras 7 a 10), el denominado frente Almería-Orán. En toda la región, por debajo de la interfase atlanto-mediterránea aparece la masa de APM que ocupa toda la cuenca y vierte en el Atlántico a través del estrecho de Gibraltar (Lacombe y Tchernia; Lanoix, 1974).

Las propiedades hidrodinámicas y los rasgos biogeográficos que caracterizan a la cuenca de Alborán, con la presencia de algunas especies endémicas mediterráneas que encuentran aquí el límite occidental a su distribución geográfica (como es el caso de la fanerógama marina *Posidonia oceanica*) y de especies de origen atlántico que se extienden en mayor o menor grado por la costa mediterránea andaluza otorgan el carácter propio necesario para considerar esta región como un tipo operativo de ecosistema marino

El examen que más adelante se hará de los indicadores de servicios de los ecosistemas pondrá de manifiesto que incluso esta propuesta de Tipos Operativos de Ecosistemas es más un deseo y una necesidad que una opción realista, pues la información disponible sobre tendencias de indicadores en relación con los ecosistemas marinos pelágicos y bentónicos de aguas exteriores solo en unos pocos casos distingue los ámbitos atlántico y mediterráneo y frecuentemente se refiere de forma exclusiva a uno de los ámbitos en particular o, más aún, a un determinado sector dentro de alguno de los ámbitos.

En cualquier caso, con el fin de dejar constancia del nivel deseable de actuación futura, a continuación se sintetizan los rasgos e identifican los límites de lo que serían los Tipos Operativos en el ámbito marino definido en el Apartado 1.1.

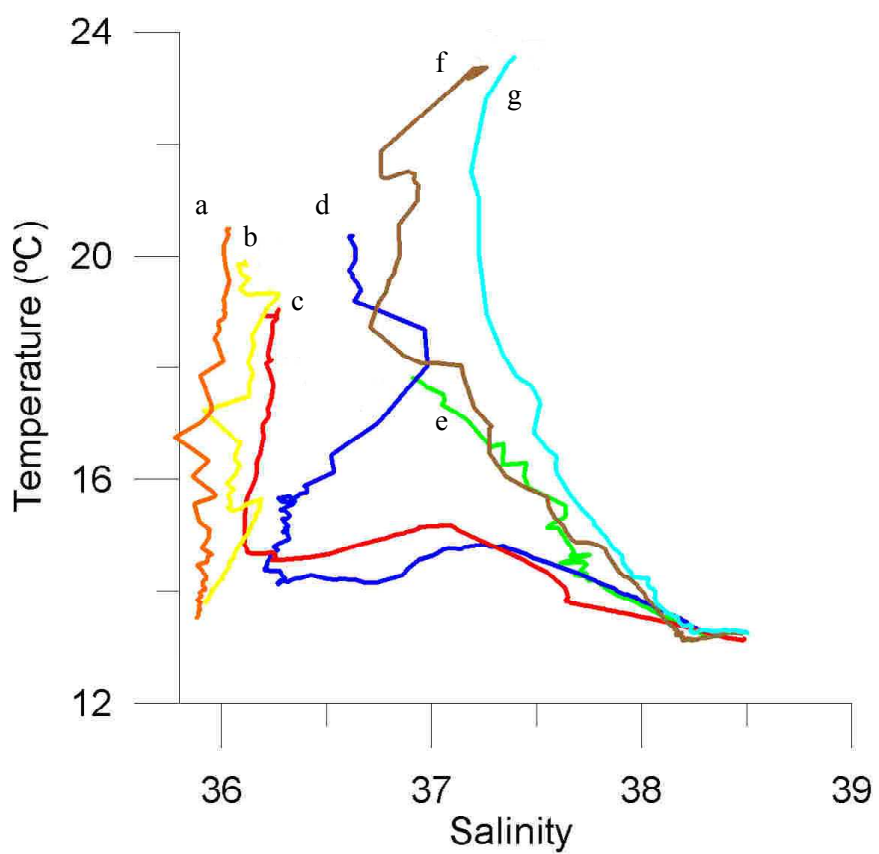


Figura 11. Diagramas Temperatura-Salinidad característicos de las aguas de Andalucía (ver texto para explicación).

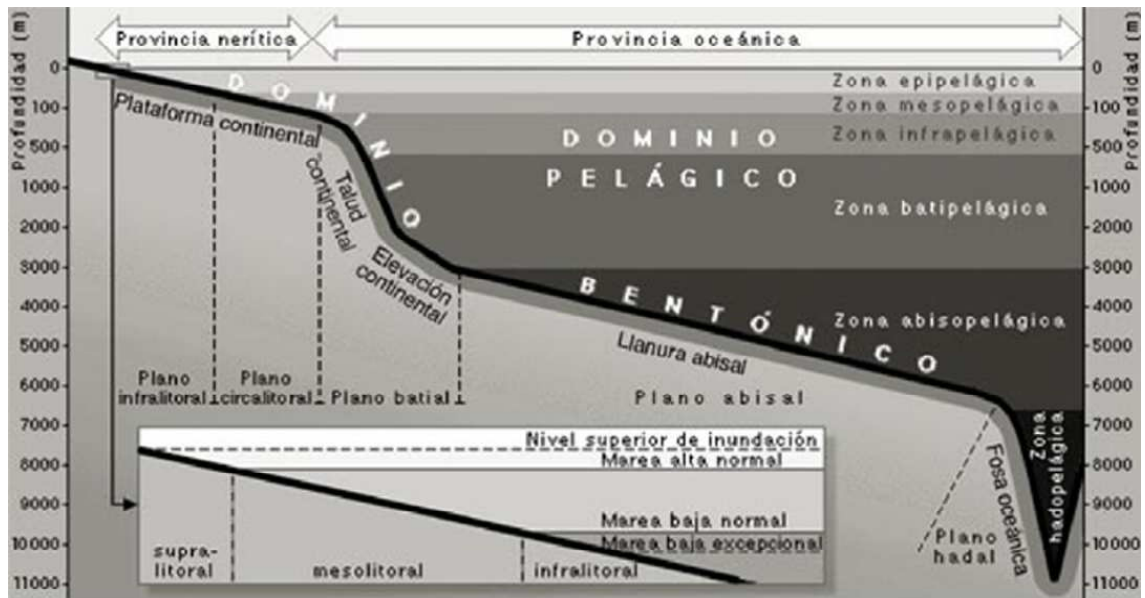
Tipo Operativo de ecosistema	Rasgos biofísicos y socioecológicos esenciales	Criterios básicos para cartografía	Fuente Cartográfica	Correspondencia con fuente cartográfica
EMEG	<p>Superposición de las corrientes de ASA hacia el mar de Alborán y la corriente de Agua Profunda Mediterránea hacia el Atlántico, con una interfase muy pronunciada entre ambas, interfase identificada por la posición de la isohalina de valor 37,5. La interacción con la topografía, particularmente al nivel del umbral de Camarinal, genera una dinámica vertical de submesoescala con implicaciones en la fertilización de la propia región del Estrecho y del sector noroccidental del mar de Alborán</p>	<p>Límites jurisdiccionales:</p> <p>(N) Línea de Base Recta</p> <p>(S) Límite del ámbito de jurisdicción marítima española</p> <p>(W) Longitud correspondiente a Punta de Trafalgar</p> <p>(E) Longitud correspondiente a Punta Europa</p>	<p>ESREDIAM20081003004355.xml</p> <p>http://www.marineplan.es/es/subregional.html</p>	<p>Delimitación del espacio marítimo andaluz formado por las Aguas Interiores (delimitadas por la línea de base recta) y el límite jurisdiccional marítimo español</p> <p>Límite de jurisdicción marítima española</p>

Tipo Operativo de ecosistema	Rasgos biofísicos y socioecológicos esenciales	Criterios básicos para cartografía	Fuente Cartográfica	Correspondencia con fuente cartográfica
EMM	Región oceanográficamente heterogénea que cambia entre dos situaciones extremas: la región del afloramiento noroccidental de Alborán y la región del Levante almeriense, con una zona de transición entre ellas. Presencia de algunas especies endémicas mediterráneas que encuentran aquí el límite natural a su distribución geográfica (como es el caso de la fanerógama marina <i>Posidonia oceánica</i>)	Límites jurisdiccionales: (N) Línea de Base Recta (S) Límite del ámbito de jurisdicción marítima española que, al Este del cabo de Gata está definido por el límite exterior de la Zona de Protección Pesquera (W) Longitud correspondiente a Punta Europa (E) Longitud correspondiente al límite entre las provincias de Almería y Murcia	ESREDIAM20081003004355.xml http://www.marineplan.es/es/subregional.html Zona de Protección Pesquera,: delimitada por una línea imaginaria que, partiendo del punto de coordenadas 36° 31' 42" de latitud norte y 002° 10' 20" de longitud oeste, situado a 12 millas náuticas de Punta Negra-Cabo de Gata, se dirige en dirección 181° (S 001 W) hasta el punto de 35° 54' 05"de latitud norte y 002° 12' 00" de longitud oeste, distante 37 millas náuticas del referido punto de partida, continuando al este hasta la línea equidistante con los países ribereños.	Delimitación del espacio marítimo andaluz formado por las Aguas Interiores (definidas por la línea de base recta) Límite de jurisdicción marítima española Límite de jurisdicción marítima española al Este del Cabo de Gata

2.5. Principales subtipos operativos de ecosistemas marinos

La propuesta de Subtipos Operativos puede apoyarse en la identificación de las entidades más relevantes a nivel regional dentro de un esquema general fisiográfico como el de la figura 12 que, aunque desarrollado para el Mediterráneo, puede servir de base para el conjunto de los mares regionales de Andalucía.

(a)



(b)

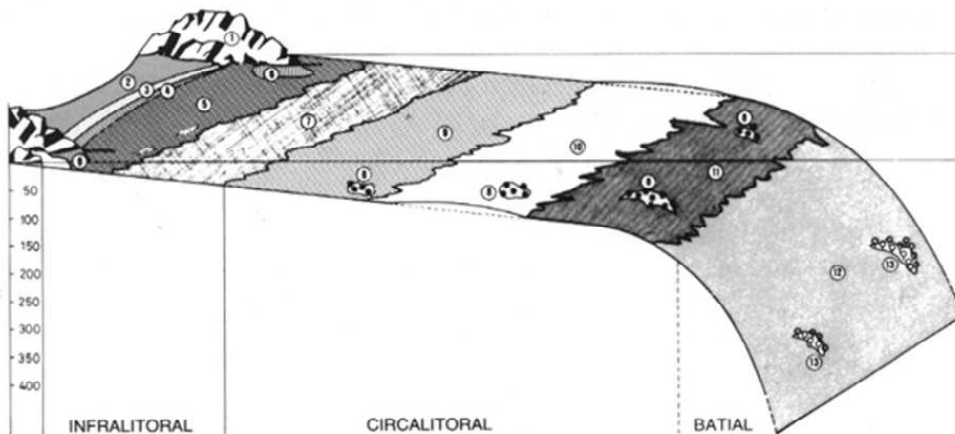


Figura 12. (a) Grandes divisiones del medio oceánico (ligeramente modificada de Pérès, 1968). (b) Distribución típica de las comunidades bentónicas de la plataforma continental y comienzo del talud continental en el Mediterráneo (Pérès y Picard, 1964). Los sustratos más frecuentemente asociados a las aguas exteriores, ámbito operativo de la categoría “ecosistemas marinos” de este proyecto, son los correspondientes al piso circalitoral y los del talud continental. Las praderas de Posidonia (última franja del piso infralitoral en la figura inferior) pueden ubicarse también en aguas exteriores aunque desde el punto de vista de los servicios su consideración más oportuna es en el ámbito litoral

En el margen de contacto con los hábitat y comunidades infralitorales, las praderas de fanerógamas marinas pueden formar parte puntualmente del ámbito de las aguas exteriores aunque, como se ha expuesto, tanto los agentes de presión que les afectan como la proyección de los servicios ecológicos que proporcionan son especialmente relevantes en el marco del ecosistema litoral.

Son varias las especies de fanerógamas que se han adaptado a la vida en el mar y que están presentes en los ecosistemas marinos de Andalucía (Luque y Templado, 2004):

Posidonia oceanica (Figura 13, Imagen 1): especie endémica del Mediterráneo cuya distribución alcanza el límite occidental en la zona límite entre las provincias de Málaga y Cádiz, aunque más del 90% de la superficie cubierta por las praderas de esta especie se encuentra en las costas de Almería y, particularmente, en las aguas templadas y claras, típicamente mediterráneas, del Levante almeriense, donde se extiende entre 0 y unos 40 m de profundidad sobre sustratos blandos y duros. Su cobertura disminuye fuertemente al oeste del Cabo de Gata, disminución que se acentúa en esa dirección a lo largo de la costa. En las costas de Málaga solamente se han citado algunas manchas o plantas sueltas, las más occidentales en el límite entre las provincias de Málaga y Cádiz.

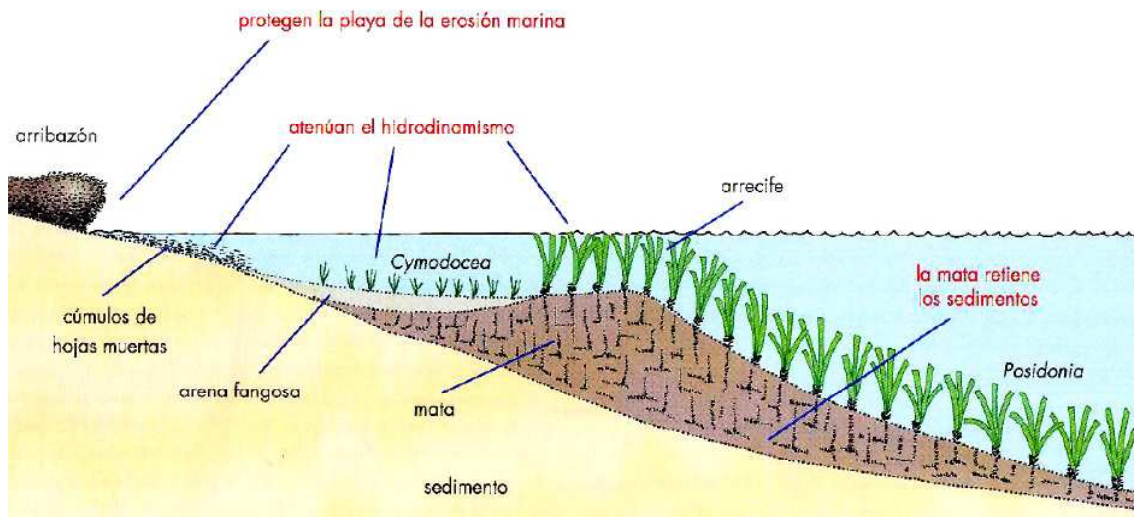


Figura 13. Esquema de una pradera de *Posidonia oceanica*, mezclada con *Cymodocea nodosa* y de la formación del “arrecife-barrera” que protege al litoral del oleaje (Duarte, 2004. Dibujo de J. Corbera, modificado de Boudouresque y Meinesz, 1982)



Imagen 1. *Posidonia oceanica* (Foto: José Carlos Moreno).

Cymodocea nodosa: especie de origen tropical restringida al Mediterráneo y Atlántico nororiental, donde forma praderas entre 0 y unos 30 m de profundidad sobre sustratos blandos arenoso-fangosos, colonizando frecuentemente los espacios abiertos en las praderas de *Posidonia* o praderas mixtas con otra fanerógama marina de origen atlántico, *Zostera marina*. Como en el caso de *Posidonia*, su cobertura es mucho mayor en las aguas orientales del Mediterráneo andaluz .

Zostera marina: especie ampliamente distribuida en el Atlántico y que forma praderas en el mediterráneo andaluz entre Almería y Málaga, a veces mezclada con *Cymodocea* y preferentemente en ambientes de aguas someras y tranquilas .

Zostera noltii: especie ampliamente distribuida en las zonas intermareales atlánticas. En el Mediterráneo aparece restringida a estuarios, lagunas costeras y bahías protegidas, lo que la hace característica del ámbito litoral tal como se define en este proyecto .

Más allá del valor que todas estas especies de fanerógamas tienen como capital natural de los mares de Andalucía, no cabe duda de que el protagonismo en el ámbito marino recae en *Posidonia oceanica*, cuyas praderas se identifican como subtipo operativo de ecosistema suministrador de servicios altamente relevantes para el conjunto del ámbito costero-litoral y el ecosistema marino en general. Aunque mayoritariamente ubicada en aguas interiores y exclusivamente en el ámbito mediterráneo, en función del perfil de costa su distribución batimétrica puede extenderse a aguas exteriores, razón por la cual se hace aquí mención a este subtipo.

También limitadas por la penetración de la luz se instalan bosques de laminariales. En los fondos infralitorales y circalitorales del estrecho de Gibraltar, zonas aledañas e isla de Alborán, se encuentran bosques y manchas dispersas de cuatro especies de laminariales: *Laminaria ochroleuca*, *Phyllariopsis brevipes*, *P. purpurascens* y *Saccorhiza polyschides* (Flores, 2004). Se han citado otras especies en litoral gaditano aunque su presencia es dudosa. En algunos casos, como *Laminaria ochroleuca* (Imagen 2), puede alcanzar 70 m de profundidad estando la mayoría de especies (*Saccorhiza*

polyschides, *Phyllariopsis spp*) restringida a profundidades menores y ámbitos más litorales (Flores, 2004).

Los bosques de laminariales representan un capital natural de enorme valor tanto por su singularidad como por el valor añadido por la diversidad de especies que se asocian a ellos. Aunque parece ser que el impacto de agentes de presión como la pesca de arrastre es mínimo y que su estado de conservación se considera más que satisfactorio (Flores et al, 2004), no hay que olvidar la presencia de esta amenaza y de otras que, a través de modificaciones del litoral, pueden llegar a afectar a estas valiosas comunidades.



Imagen 2. *Laminaria ochroleuca* (Foto: José Carlos Moreno).

Los sustratos mayoritariamente asociados a las aguas exteriores, ámbito operativo de este capítulo, son los correspondientes al piso circalitoral, talud continental (mayoritariamente caracterizados por fondos de sustrato blando -arenoso, fangoso o detrítico- y la presencia de cañones submarinos que conectan la plataforma continental con las planicies abisales. Aquí y allá, afloramientos rocosos, promontorios, montes submarinos, volcanes de fango y chimeneas de metano representan elementos altamente relevantes en relación con la biodiversidad marina, aunque en el marco de los servicios de los ecosistemas estamos lejos aún de disponer de la información básica necesaria para su evaluación.

La extensa plataforma continental y las planicies profundas constituyen los rasgos más característicos de los ecosistemas marinos de aguas exteriores en el golfo de Cádiz, frente a la estrechez de la plataforma y la abundancia de cañones y montes submarinos del ámbito mediterráneo. El otro extremo del ámbito de los ecosistemas marinos de aguas exteriores queda bien ejemplificado por el ecosistema de las chimeneas de metano del golfo de Cádiz (Figura 14). Estas chimeneas son estructuras formadas por la precipitación de carbonato cálcico (entre otros minerales) gracias a los procesos metabólicos de un consorcio formado por arqueas metanogénicas, que producen metano en el interior del sedimento, y bacterias sulfato-reductoras que oxidan con sulfato el metano que escapa del sedimento (Michaelis et al., 2002; Rodríguez et al., 2010), reduciendo o evitando de esta forma el

paso a la atmósfera de este gas de efecto invernadero. Su consideración como ecosistema único, soporte de una elevada biodiversidad y ecosistema merecedor de protección es objeto de evaluación en el marco del Proyecto Indemares de la Fundación Biodiversidad (<http://www.indemares.es/>).

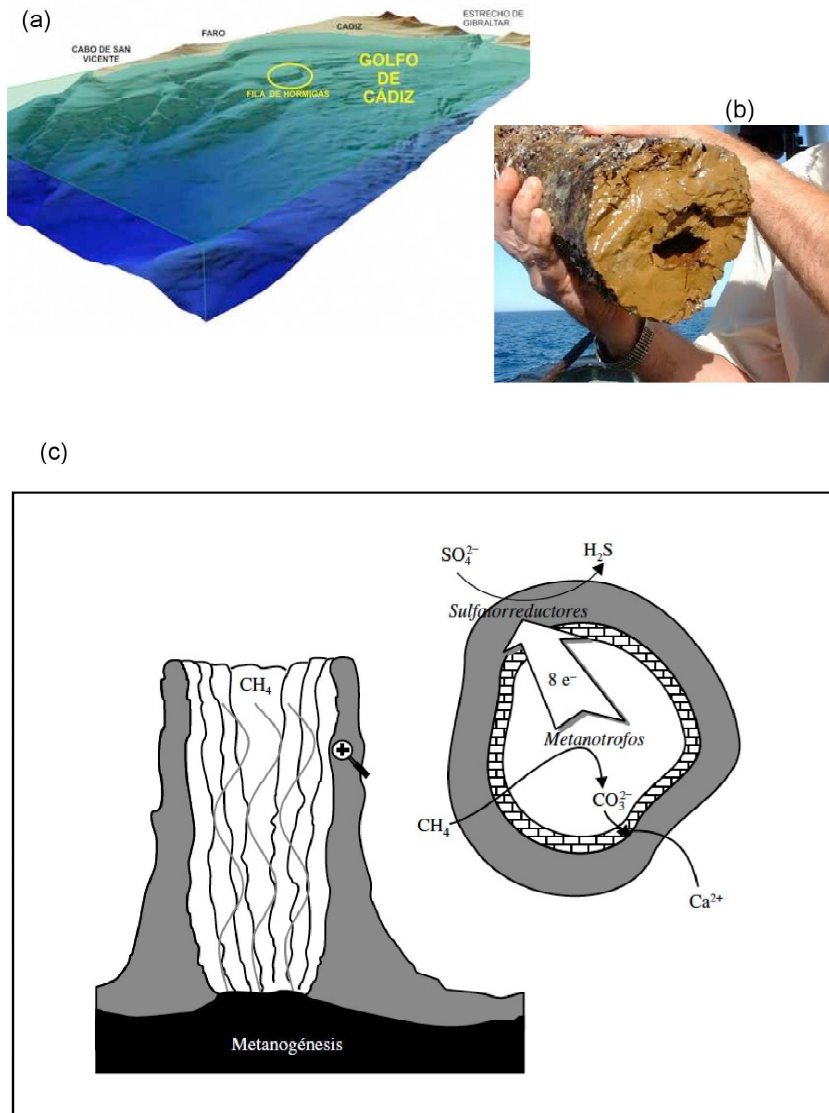


Figura 14. (a) Imagen 3D de los fondos marinos del Golfo de Cádiz, vista desde el Suroeste. En el centro se puede apreciar el lugar que ocupa una de las dorsales más características de la zona de expulsión de fluidos, que es la llamada Fila de Hormiga (Díaz del Río, 2009). (b) Fragmento de chimenea de metano del golfo de Cádiz (Proyecto Indemares, Fundación Biodiversidad). (c) Consorcio de arqueas metanógenas y bacterias sulfato-reductoras que dan lugar a la formación de las chimeneas carbonatadas (Rodríguez et al., 2010).

Otras formaciones profundas en las aguas del golfo de Cádiz están constituidas por los “jardines” de corales profundos (Imagen 3), entre los que destaca *Lophelia pertusa*. Estos arrecifes profundos representan el hábitat y refugio para muchas otras especies sobre cuya diversidad se tiene un gran

desconocimiento. Las formaciones de corales profundos tienen una extraordinaria entidad espacial y relevancia ecológica en diversas áreas oceánicas y, en nuestro caso, tanto el golfo de Cádiz como el mar de Alborán albergan este tipo de ecosistemas. Lamentablemente, por su propia estructura son altamente vulnerables a los efectos de pesca de arrastre que, de forma continua, expande su ámbito de operación a sustratos cada vez más profundos (Fosså et al., 2002). La destrucción de este tipo de hábitat por la pesca de arrastre muestra ya signos claros en los corales profundos del mar de Alborán.

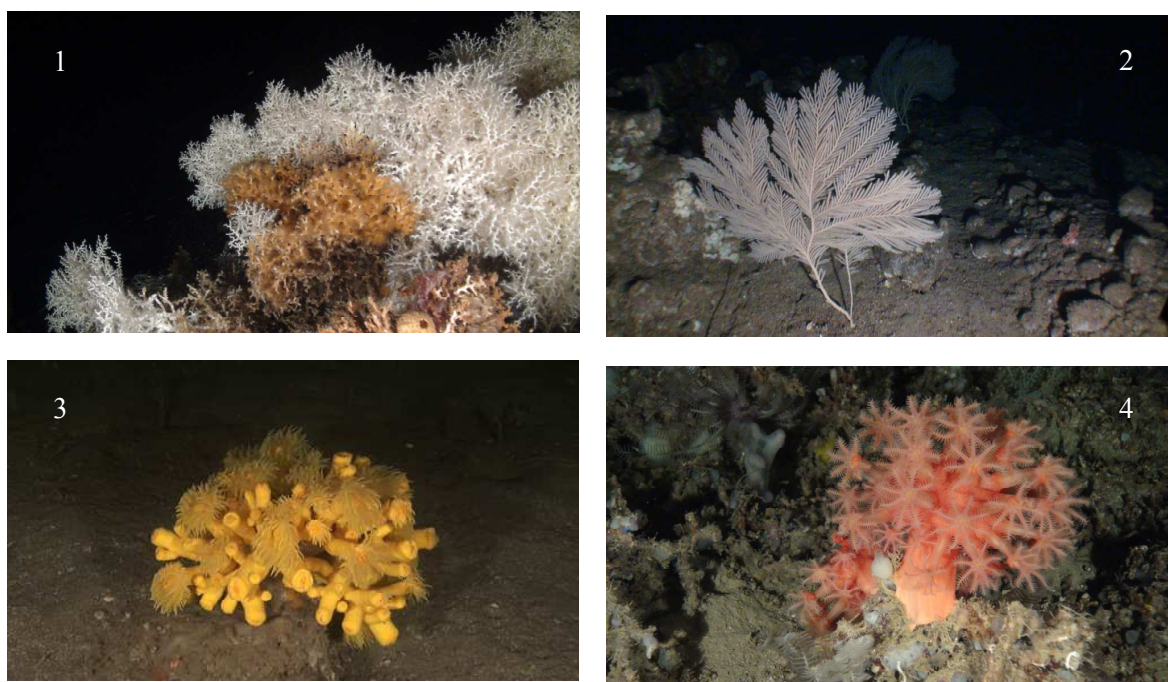


Imagen 3. Algunas especies de corales profundos del Mar de Alborán. (1) *Lophelia pertusa* y *Madrepora oculata*; (2) *Callogorgia verticillata*; (3) *Dendrophyllia cornigera*; (4) *Anthomastus cf. grandiflorus*. Fotos: Cortesía de OCEANA (Expedición Oceana Ranger 2011).

La consideración y valoración de estos ecosistemas profundos (incluyendo cañones y montes submarinos) se ha acelerado con proyectos como el citado Indemares y el Proyecto MEDRAS de UICN (<http://www.uicnmed.org/medras/>), cuyo objetivo es fomentar el desarrollo de una red de espacios que constituyan los hábitat más representativos y críticos a proteger en el Mediterráneo. El mar de Alborán es una de las zonas piloto de MEDRAS y en su propuesta preliminar se incluyen áreas como el monte submarino del Seco de los Olivos, el cañón submarino de Almería, y otros ecosistemas profundos.

La conclusión es que la diversidad de hábitat y comunidades en los ecosistemas marinos regionales es muy alta por las razones hidrodinámicas, geomorfológicas y ecológicas ya descritas. Una selección mínima de los subtipos de ecosistemas sobre los que sería deseable poseer la información requerida en la evaluación de servicios de los ecosistemas podría ser la siguiente:

Tabla 2. Subtipos de ecosistemas marinos de aguas exteriores sobre los que sería deseable poseer la información requerida en la evaluación de servicios de los ecosistemas.

	EMGC	EMEG	EMM
Columna de agua	Ecosistema Pelágico Atlántico	Ecosistema pelágico del EMEG	Ecosistema Pelágico Mediterráneo
Sustrato duro	Fondos Duros Atlánticos	Fondos Duros del EMEG	Fondos Duros Mediterráneos
Sustrato blando	Fondos Blandos Atlánticos	Fondos Blandos del EMEG	Fondos Blandos Mediterráneos
Praderas vegetales		Bosques de Laminariales	Praderas de Fanerógamas Bosques de Laminariales
Talud y fondos profundos	Chimeneas de metano del EMGC Formaciones de corales profundos		Cañones y montes submarinos Formaciones de corales profundos

Lamentablemente, de forma todavía más acusada que en el caso de los Tipos Operativos, la información disponible y susceptible de ser usada en la elaboración de indicadores de los servicios de los ecosistemas es muy escasa o simplemente inexistente a escala de los subtipos operativos identificados, lo que nos lleva a la siguiente propuesta de Tipos y Subtipos para la evaluación de servicios de los ecosistemas:

- 1) Reducir los tipos operativos a dos:
 - “Ecosistema marino del Golfo de Cádiz y Estrecho de Gibraltar” (EMGCEG)
 - “Ecosistema Marino Mediterráneo” (EMM).
- 2) Reducir los Subtipos Operativos a las siguientes unidades:
 - Ecosistema Pelágico Atlántico (EPA) y
 - Ecosistema Pelágico Mediterráneo (EPM).
 - Fondos Blandos Atlánticos (FBA)
 - Fondos Blandos Mediterráneos (FBM) (que incluirían las diversas formas de fondos detríticos como el maërl o los fondos de fango), y
 - Praderas de *Posidonia oceanica* (PPo).

Tabla 3. Tipos y subtipos operativos para la evaluación de servicios de los ecosistemas. Los correspondientes al ecosistema de Praderas de *Posidonia* se evalúan en el capítulo de Ecosistemas Litorales.

	EMGCEG	EMM
Columna de agua	Ecosistema Pelágico Atlántico	Ecosistema Pelágico Mediterráneo
Sustrato blando	Fondos Blandos Atlánticos	Fondos Blandos Mediterráneos
Praderas de fanerógamas		Praderas de <i>Posidonia oceanica</i>

Ecosistemas Pelágicos Atlántico y Mediterráneo

Las diferencias biofísicas ya descritas a escala de Tipo Operativo se manifiestan en diferencias en la explotación de servicios fundamentales de abastecimiento: importancia relativa de los diferentes artes

de pesca pelágica (por ejemplo: cerco y palangre de superficie) de los tamaños de flota y volumen de capturas o de las especies objetivo de las pesquerías. Asimismo, la atención prestada a los posibles impactos del cambio climático sobre una cuenca semicerrada como es la del mar Mediterráneo permite evaluar ciertos servicios de regulación climática asociados a propiedades de las masas de agua mediterráneas pero no, por el momento, a las Atlánticas.

Ecosistemas de Fondos Blandos Atlánticos y Mediterráneos

En este caso las diferencias biofísicas se manifestarían también en la importancia relativa de artes de pesca que explotan el medio bentónico (artes de arrastre) y de las especies objetivo de las pesquerías. En todo caso es necesario hacer notar algo en lo que se insistirá más adelante: la información sobre pesquerías se refiere a desembarcos en las lonjas, no existiendo necesariamente una relación directa entre lugar de desembarco y origen de la captura, siendo ésta una de las limitaciones del uso de estos indicadores en la evaluación del estado de los ecosistemas y de los servicios que suministran.

Ecosistema de las Praderas de Posidonia oceanica

El carácter de endemismo mediterráneo, su entidad espacial y el valor de los servicios ecológicos que presta lo hacen merecedor de un tratamiento específico en el marco de la evaluación de ecosistemas. Más allá de lo presentado aquí y de la identificación de los servicios que proporciona, el análisis de los indicadores ambientales relacionados con este ecosistema se presenta en el capítulo de Ecosistemas Litorales.

3. Estado de conservación general

El medio ambiente del litoral andaluz es probablemente el más diverso y complejo de la Península Ibérica. Geográficamente dividido en dos sectores bañados por aguas tan diferentes como las del Mar Mediterráneo (Mar de Alborán) y el Océano Atlántico (Golfo de Cádiz), el litoral andaluz muestra un grado de diversidad biológica muy superior al esperable simplemente de su ya importante extensión superficial. La compleja hidrología resultante del intercambio de agua entre el Mar Mediterráneo y el Océano Atlántico (ver Apartado 2) genera, además, una elevada heterogeneidad en la diversidad biológica y la biomasa de recursos a diferentes escalas espaciales, tanto en la dimensión horizontal como en la vertical. Corrientes de aguas atlánticas y mediterráneas, giros a diferentes escalas, frentes de elevada actividad, áreas de afloramiento de aguas frías y nutritivas, etc, son algunos de procesos que contribuyen a la elevada heterogeneidad y diversidad de los ecosistemas marinos regionales.

El hecho de que Andalucía tenga fachadas marítimas al Atlántico y al Mediterráneo permite reconocer a escala regional la mayor parte de los problemas ambientales identificados y valorados a escala europea. El recurso a esta escala para la valoración del estado de conservación general de nuestros ecosistemas marinos se justifica, además, por la insuficiente información disponible para contrastar, a escala regional, los hechos básicos observados a escala europea (EEA, 2010):

1. Prácticamente todos los mares europeos, incluyendo el Mediterráneo y el Atlántico nor-oriental, muestran señales de degradación en sus ecosistemas marinos (Figura 15), degradación causada por las actividades de la pesca, agricultura, industria, turismo, transporte marítimo y explotación de recursos energéticos. Es probable que las previsiones futuras de cambio climático aumenten el impacto de estas actividades.
2. El enriquecimiento en nutrientes es un problema grave particularmente en el medio marino costero, donde acelera el crecimiento del fitoplancton y puede causar problemas de hipoxia. Las concentraciones de metales pesados y de contaminantes orgánicos persistentes en los organismos marinos supera los límites alimentarios en todos los mares europeos.
3. Todos los mares europeos están afectados por el problema de pesquerías insostenibles, lo que pone en riesgo la viabilidad de los stocks pesqueros. Entre el 21 y el 60% de los stocks de especies de peces comerciales en el Atlántico nor-oriental, el Báltico y el Mediterráneo se consideran fuera de los límites de seguridad biológica.
4. Tanto la temperatura superficial como el nivel del mar están aumentando y es probable que lo sigan haciendo. Los cambios resultantes en la distribución geográfica y estacional de muchas especies marinas requerirá procesos de adaptación en la gestión de las pesquerías y de los hábitat naturales para asegurar la sostenibilidad ambiental.
5. La inclusión de áreas marinas en la red Natura 2000, aunque en proceso de crecimiento, es lento y difícil. Es necesario aún evaluar el estado de conservación de algunos hábitat costeros y marinos, mientras que el 22% de las especies de mamíferos marinos están amenazadas de extinción. Los datos disponibles sugieren que el objetivo de frenar la pérdida de biodiversidad en 2010 no se ha alcanzado.
6. El uso sostenible de los mares y la conservación de los ecosistemas marinos mediante un enfoque ecosistémico forman parte de la Directiva Marco de Estrategia Marina (2008), que persigue el “buen estado ambiental” de los mares europeos para 2020. Además, se ha propuesto una reforma de la Política Pesquera Común europea para conseguir la gestión sostenible de las pesquerías europeas y globales.
7. Se espera que continúe el crecimiento de los sectores de actividades marítimas, agricultura y turismo. Un objetivo futuro e importante de la Directiva Marco de Estrategia Marina será asegurar que este crecimiento es compatible con el alcance y mantenimiento del “buen estado ambiental” del medio marino. Para ello será necesario implantar principios de planificación en línea con los enfoques de Gestión Integrada de la Zona Costera y de la Planificación Espacial Marítima.

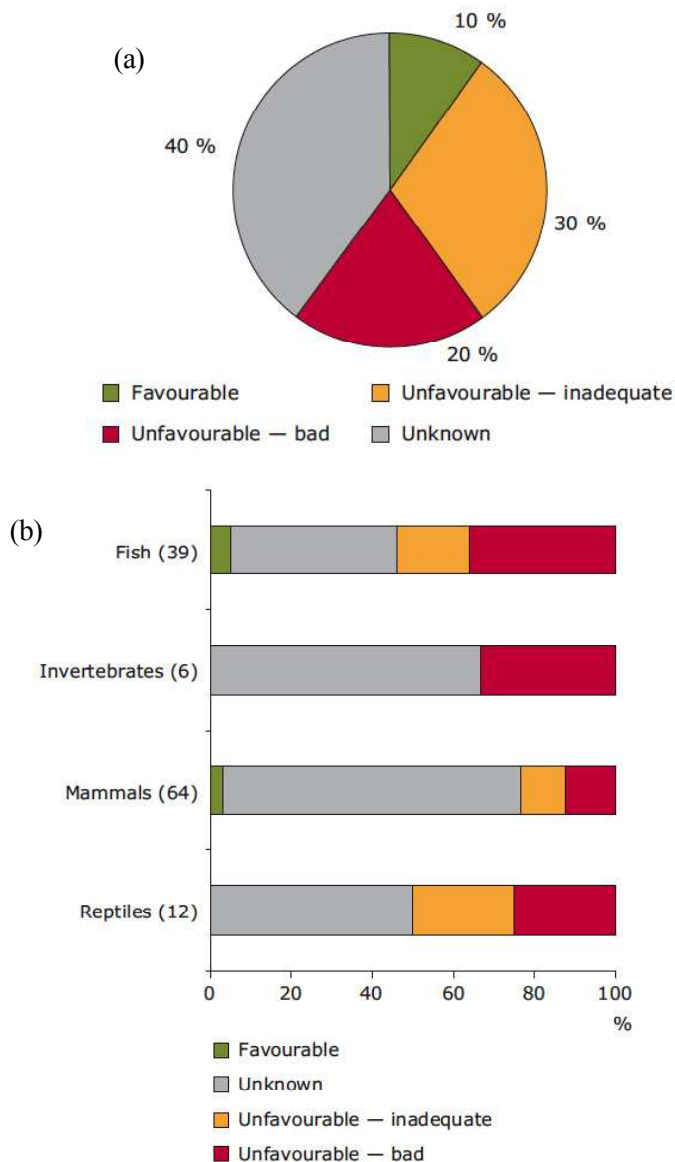


Figura 15. (Superior) Estado de conservación de hábitat marinos europeos.(Inferior) Estado de conservación especies de interés en dichos hábitat. Solamente 6 tipos de hábitat son considerados “marinos” en el Anexo I de la Directiva Hábitat: sustrandos de arena, praderas de Posidonia, grandes bahías, arrecifes, chimeneas de gases y grutas marinas (EEA, 2010) frente a 50 hábitat clasificados como “costeros”. La figura pone de manifiesto el gran desconocimiento existente sobre la mayoría de los hábitat marinos. (EEA, 2010).

A nivel español (Duarte et al., 2010) y andaluz, el problema de la escasez de información suficiente para evaluar la pérdida de los ecosistemas marinos españoles de aguas exteriores es aún más grave que para las aguas costeras, lógicamente debido a la dificultad de estudio de los ecosistemas profundos y al hecho del reciente reconocimiento de su relevancia para la integridad estructural y la funcionalidad del ecosistema marino global.

Los ecosistemas marinos andaluces de aguas exteriores no escapan a la presión ejercida por el catálogo de procesos comunes a toda la cuenca mediterránea y mares europeos. Algunos de estos procesos tienen lugar a escala global, como es el caso de los efectos del cambio climático y nuestra región marina puede jugar un papel clave en la transmisión de la cadena de impactos debido a su carácter único de contacto entre el mar Mediterráneo y el océano atlántico. Cambios en los flujos de intercambio de aguas en el estrecho de Gibraltar (que pueden tener su origen en el impacto del calentamiento global o en la reducción drástica de los aportes de agua dulce del Nilo) pueden tener consecuencias a una escala regional mucho más amplia que la regional o nacional (Cuadro 3)

Cuadro 3. Un ejemplo de teleconexiones en el sistema climático

Un ejemplo ya clásico (Johnson, 1997) y controvertido (Briden and Webb, 1998) predice el cambio del clima en el Atlántico Norte como consecuencia, en una parte fundamental, de la desviación de los aportes de agua del Nilo hacia el regadío mediante la construcción de la presa de Assuán. El consecuente aumento de salinidad de las aguas profundas en la cuenca mediterránea oriental, en combinación con los efectos del cambio climático regional (incremento del déficit hídrico de la cuenca mediterránea) llevarían a una modificación de los flujos de intercambio de aguas con el Atlántico a través del Estrecho de Gibraltar (el elemento clave en todo este proceso de teleconexiones), lo que afectaría a la dinámica de corrientes nor-atlánticas influidas por la vena de agua mediterránea saliente y finalmente resultaría en un cambio de las condiciones climáticas de aquella región (Johnson, 1997).

Los efectos genéricos derivados y esperables de cambios globales planetarios, como son el calentamiento global o la reducción de la capa de ozono e incremento de radiación ultravioleta, así como las posibles respuestas de los ecosistemas marinos, son objeto de continuo estudio y debate básicamente sobre la base del uso de modelos predictivos. En este sentido, la Agencia Europea del Medio Ambiente (AEMA, 2001) recoge algunas predicciones realizadas por el PNUMA/PAM acerca de los posibles efectos del cambio climático global sobre áreas mediterráneas concretas. En el marco de los ecosistemas marinos regionales en Andalucía se ha producido un notable avance gracias al establecimiento del programa de observación RADMED (Series Temporales de Datos Oceanográficos del Mediterráneo) del Instituto Español de Oceanografía, en el que colaboran otras instituciones como el Instituto de Ciencias del Mar (ICM/CSIC), Instituto Mediterráneo de Estudios Avanzados (IMEDEA/CSIC), Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), Puertos del Estado (PE), Universidad de las Islas Baleares (UIB) y Universidad de Málaga (UMA) (Vargas et al., 2010).

Aunque existe un acuerdo general sobre la identificación de los problemas ambientales que afectan a los ecosistemas marinos regionales, su valoración relativa es claramente diferente para los ecosistemas litorales y los ecosistemas de aguas exteriores (Figura 16). Todos los problemas identificados en la figura 16 afectan a los ecosistemas litorales, pero algunos de ellos están muy particularmente ligados a este ámbito, como aquellos que desembocan en la eutrofización o la propagación de especies invasoras (en este caso hay que añadir “con la información actualmente disponible”). En el ámbito de los ecosistemas marinos de aguas exteriores hay que destacar la importancia inmediata de la destrucción de hábitat, la sobreexplotación de recursos biológicos y los riesgos de contaminación derivados del transporte marítimo. Todo ello, como ya se ha indicado, en el marco global de los efectos del cambio climático y el factor agravante que supone el desconocimiento y insensibilidad ciudadana ante el estado de los ecosistemas marinos no inmediatamente perceptibles como fuente de alimento y soporte de actividades recreativas estivales.

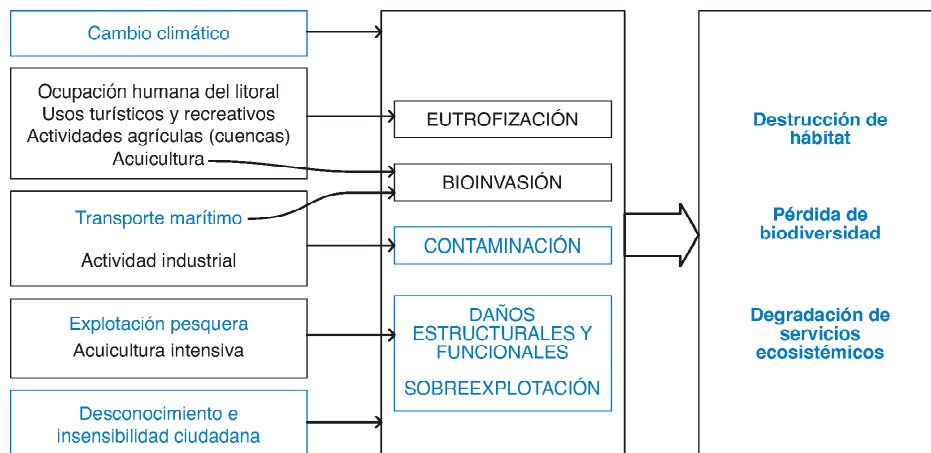


Figura 16. Principales problemas ambientales que afectan al conjunto de los Ecosistemas Marinos regionales. Se identifican en color aquellos que son especialmente relevantes para los E. M. de aguas exteriores.

Un paso fundamental para la evaluación del estado ecológico de los ecosistemas marinos es la *Directiva Marco sobre Estrategia Marina* (UE, 2008), una especie de extensión de las ideas y conceptos desarrollados en la Directiva marco del Agua (que incluye, entre las aguas superficiales, las aguas de transición y costeras) al resto de aguas y ecosistemas marinos europeos.

La directiva establece principios comunes sobre cuya base los Estados miembros deberán elaborar, en colaboración con los Estados miembros y terceros Estados, sus propias estrategias para alcanzar un *estado ecológico* satisfactorio de las aguas marinas de las que sean responsables. El objetivo es proteger y restablecer los ecosistemas marinos europeos y garantizar la viabilidad ecológica de las actividades económicas relacionadas con el medio marino de aquí al año 2021.

En primer lugar, los Estados deberán evaluar el estado ecológico de sus aguas y el impacto de las actividades humanas, evaluación que incluye:

- un análisis de las características esenciales de esas aguas (especificidades físicas y químicas, tipos de hábitat, poblaciones animales y vegetales, etc.);
- un análisis de los principales impactos y presiones, especialmente debidos a las actividades humanas que influyen en las características de esas aguas (contaminación por productos tóxicos, eutrofización*, asfixia o sellado de los hábitats por construcciones, introducción de especies no autóctonas, daños físicos por las anclas de los buques, etc.);
- un análisis económico y social de la utilización de esas aguas y del coste del deterioro del medio marino.

En una segunda fase, los Estados han de determinar el «estado ecológico satisfactorio» de las aguas teniendo en cuenta, por ejemplo, la diversidad biológica, la presencia de especies alóctonas, la salud de las reservas, la red trófica, la eutrofización, la modificación de las condiciones hidrográficas y la concentración de contaminantes, la cantidad de residuos o la contaminación acústica.

En función de la evaluación de las aguas, los Estados definirán objetivos e indicadores para alcanzar el estado ecológico satisfactorio. Dichos objetivos deberán ser mensurables, coherentes dentro de una misma región o subregión marítima, y estarán sujetos a un plazo de realización.

Sólo a través de la aplicación de la Directiva Marco sobre Estrategia Marina, junto con el completo desarrollo de la Directiva Marco del Agua, tendremos una valoración rigurosa del estado de conservación de los ecosistemas marinos españoles y andaluces en particular.

4. Servicios evaluados, métodos de evaluación y fuentes de datos

El océano cubre el 70% de la superficie del planeta, está constituido mayoritariamente por masas de agua de gran espesor y sustratos profundos sobre los que existe un gran desconocimiento científico; además, la mayor parte de esta extensión no está sometida a regulación (las denominadas “aguas internacionales”) o los acuerdos de regulación de usos no son legalmente efectivos. En definitiva, el gran ecosistema oceánico es un ámbito ecológico fuertemente determinado por “la tragedia de lo común” (Hardin, 1968) cuya gestión ambiental plantea problemas logísticos, científicos y legales.

El océano es fuente de recursos que ya no podemos calificar de inagotables. Pero los servicios que el ecosistema oceánico presta a la biosfera van mucho más allá de la producción de recursos nutritivos. Las condiciones actuales de vida en el planeta no pueden concebirse sin el papel que los procesos ecológicos oceánicos juegan en la regulación del clima a través de su interacción con la atmósfera y el transporte de calor y compuestos químicos (oxígeno, CO₂, nutrientes) con las corrientes oceánicas. La perturbación planetaria que supone el incremento de CO₂ en la atmósfera es aliviada por la absorción y secuestro, en una compleja interacción entre procesos físicos, químicos y biológicos, de parte de ese CO₂ en las aguas profundas y sedimentos (Raven and Falkowsky, 1999); pero la capacidad de absorción del océano tiene un límite y además, el proceso tiene efectos negativos sobre la integridad ecológica del ecosistema al provocar su acidificación, lo que implica una seria amenaza para organismos calcáreos que juegan un papel relevante en las redes tróficas oceánicas, como son los pterópodos (Orr et al., 2005; Raven et al., 2005). El desarrollo tecnológico ha provocado un enorme incremento de la capacidad de explotación pesquera de las poblaciones oceánicas y de fondos profundos (WWF/IUCN, 2004) a la vez que el empleo de determinadas artes de pesca oceánica como las redes a la deriva llevan a especies que no son objetivo de la explotación (tiburones, mamíferos marinos y tortugas marinos) a situaciones cercanas a la extinción (Cavanagh and Gibson, 2007).

Siguiendo el esquema básico de los tipos de servicios definidos en la Evaluación del Milenio, la Tabla x.x es un simple ejercicio de identificación de algunos de los tipos de servicios que el ecosistema marino de las aguas exteriores proporciona a la sociedad.

Tabla 4. Ejemplos de servicios proporcionados por los ecosistemas marinos de aguas exteriores. Se propone una valoración de su importancia mediante la clave de colores mostrada al final de la tabla.





Tipo	Servicios	Subservicio	Definición	Ejemplos de importancia
Abastecimiento	Alimentos	Pesca profesional	Actividad pesquera de carácter profesional (tamaño de barco, tipo de artes, fines comerciales)	Pesca de arrastre
		Pesca deportiva	Actividad pesquera de carácter deportivo en aguas exteriores	Pesca deportiva del atún
	Materias primas de origen mineral		Materiales de origen mineral que se transforman para elaborar bienes de consumo humano	Explotación de yacimientos de áridos
	Energías renovables		Fenómenos de origen físico que sirven como fuente de energía para el consumo humano	Producción de energía eólica en zonas de aguas exteriores
	Acervo genético		Reservorio genético para la conservación de la biodiversidad o producción de alimento	Recolección de reproductores para su explotación en acuicultura
	Medicinas naturales y principios activos y biotecnología		Búsqueda de sustancias útiles en biomedicina	Recolección de organismos bentónicos para la búsqueda de fármacos

Tipo	Servicios	Subservicio	Definición	Ejemplos importancia	e
	Transporte marítimo		Utilización del medio marino para el transporte	Transporte de personas y mercancías a través del Estrecho de Gibraltar	
Regulación	Regulación climática	Global	Papel de los ecosistemas marinos en la regulación de los procesos que afectan al clima a nivel del Planeta	Absorción de gases de efecto invernadero. Oxidación anaeróbica del metano en chimeneas profundas	
		Regional y Local	Papel de los ecosistemas marinos en la regulación de los procesos que afectan al clima regional y local	Influencia del mar sobre el régimen de vientos y temperaturas regional	
	Regulación de la calidad del aire		Papel de los ecosistemas marinos sobre la calidad del aire	Dispersión de contaminante atmosféricos con las brisas marinas	
	Regulación de la calidad del agua		Papel de la hidrodinámica en la calidad del agua	Capacidad de dilución y dispersión de aportes externos	
	Regulación morfosedimentaria		Papel de los ecosistemas marinos en el transporte profundo de sedimentos a través del talud continental, cañones submarinos, etc	Formación de volcanes de fango y chimeneas de metano	
	Fertilidad del medio		Capacidad del medio marino para proporcionar los nutrientes necesarios para la vida.	Fijación de N ₂ ; Afloramientos de nutrientes	
	Control biológico		Capacidad de los ecosistemas marinos para establecer mecanismos de control biológico (depredación, competencia, etc) en la regulación de la biodiversidad	Control por de proliferaciones de organismos nocivos o gelatinosos	
Culturales (1)	Conocimiento científico		Contribución de los ecosistemas marinos al aumento del conocimiento científico.	Descubrimiento de nuevas especies; Conocimiento de las relaciones entre océano y clima	
	Conocimiento ecológico tradicional		Contribución de los ecosistemas marinos al aumento del conocimiento ecológico a nivel local.	Conocimiento del comportamiento de especies emblemáticas locales y de las técnicas de pesca artesanal	
	Identidad cultural y sentido de pertenencia		Influencia de los ecosistemas marinos en la creación y mantenimiento de identidad cultural y sentido de pertenencia de las poblaciones de su ámbito.	Gastronomía local asociada a productos marinos	
	Disfrute espiritual y religioso		Capacidad de los ecosistemas marinos para evocar sentimientos y/o pensamientos de tipo espiritual y/o religioso	Prácticas religiosas ligadas al ámbito marinero	

Tipo	Servicios	Subservicio	Definición	Ejemplos de importancia
	Paisaje-Servicio estético		Capacidad de los ecosistemas marinos para proporcionar el contexto adecuado para el goce a nivel estético	Inspiración para la pintura o la poesía
	Actividades recreativas y ecoturismo	Turismo de naturaleza	Actividad que implica el desplazamiento temporal de personas hacia una zona marina por su atractivo natural.	Ecoturismo para el avistamiento de cetáceos
		Turismo de navegación	Actividad que tiene en la navegación su mayor motivación.	Regatas de veleros
	Educación ambiental		Contribución de los ecosistemas marinos a actividades de tipo educativo.	museos marítimos, webs educativas sobre el océano

(1) El análisis de los servicios culturales no se incluye en los objetivos de este capítulo.

Significado de los colores: importancia de los servicios identificados:

	Alta
	Alta-media
	Media-baja
	Baja
	No aplicable

El criterio fundamental aplicado para la selección de los servicios a evaluar es la disponibilidad de series temporales de datos que permitan examinar las respectivas tendencias. Si el ecosistema marino de aguas exteriores ya se caracteriza por la escasez de información en comparación con los ecosistemas terrestres y litorales, el criterio apuntado reduce el inventario de indicadores evaluables y los servicios de abastecimiento relacionados con la actividad pesquera son los protagonistas por la importancia del sector socioeconómico pesquero en Andalucía.

En cualquier caso, las estadísticas disponibles y la capacidad de análisis en el contexto de este proyecto no permiten analizar los tipos operativos de ecosistemas previamente identificados como sería deseable: en algunos casos, los indicadores se refieren a la región andaluza en su conjunto (por ejemplo, los referentes a tamaño de la flota pesquera); solamente en algunos casos se diferencian los sectores sur-atlántico y sur-mediterráneo (por ejemplo, los referentes a las capturas de las diferentes flotas); algunos indicadores tienen un valor geográfico concreto dentro del tipo operativo de ecosistema correspondiente (por ejemplo, la anomalía de temperatura en un sector determinado de Alborán norte), y así sucesivamente.

Todo ello supone un problema fundamental a la hora de generalizar (o particularizar) estas observaciones y datos a los tipos de ecosistemas identificados en el Apartado 2 y, sobre todo, a la hora de interpretar las tendencias observadas. Hay que insistir, además, en el carácter indirecto de la información suministrada por algunos de los indicadores básicos de abastecimiento. Por ejemplo, cuando se habla de “capturas” por una determinada flota pesquera el dato directo es el desembarco en las correspondientes lonjas. Es decir, el origen de las capturas no tiene por qué estar restringido al ámbito espacial del tipo operativo de ecosistema identificado en el Apartado 2. Solamente en algunos casos (por ejemplo, las capturas de sardina y boquerón en Alborán norte) el control del origen ejercido por el Consejo General de Pesca del Mediterráneo (FAO) garantiza que las capturas proceden de una región determinada que forma parte de uno de los tipos operativos de ecosistema identificados.

Por último, es necesario recordar que, aunque en este capítulo se haga referencia a algún subtipo operativo como es la pradera de *Posidonia*, la selección y análisis de indicadores (sean de presión, estado o respuesta) pertenecen al ámbito de los denominados ecosistemas litorales.

Quede constancia de que, a pesar de la frecuente queja de los investigadores acerca de los problemas de acceso, dispersión, etc de los datos existentes, aquella relacionada con los indicadores seleccionados en este capítulo, procedente fundamentalmente de la Consejería de Agricultura y Pesca y del Instituto Español de Oceanografía, ha sido puesta a nuestra disposición de forma muy eficiente y hemos contado con la colaboración de varios de los investigadores responsables de la recogida, elaboración e interpretación de los datos (ver Agradecimientos).

Con las limitaciones expresadas, la Tabla 5 recoge los indicadores analizados en este capítulo, cuyas fichas individualizadas se agrupan en documento aparte.

Tabla 5. Indicadores evaluados en relación con los ecosistemas marinos de aguas exteriores.

Tipo Servicio		Sub-servicio	P-E-R	Indicador	Fuente	Serie	Unid.
Abastecimiento	Alimentación	Pesca profesional	P	Número de buques de la flota de arrastre	Consejería de Agricultura y Pesca	2004-2010	Núm.
			P	Potencia total de la flota de arrastre	Consejería de Agricultura y Pesca	2004-2010	Cv.
			P	Arqueo total de la flota de arrastre	Consejería de Agricultura y Pesca	2004-2010	GT
			P	Potencia media de la flota de arrastre	Consejería de Agricultura y Pesca	2004-2010	Cv
			P	Arqueo medio de la flota de arrastre	Consejería de Agricultura y Pesca	2004-2010	GT
			P	Número de buques de la flota de cerco	Consejería de Agricultura y Pesca	2004-2010	Núm
			P	Potencia total de la flota de cerco	Consejería de Agricultura y Pesca	2004-2010	Cv
			P	Arqueo total de la flota de cerco	Consejería de Agricultura y Pesca	2004-2010	GT
			P	Potencia media de la flota de cerco	Consejería de Agricultura y Pesca	2004-2010	Cv
			P	Arqueo medio de la flota de cerco	Consejería de Agricultura y Pesca	2004-2010	GT
			P	Número de buques de la flota de palangre de superficie	Consejería de Agricultura y Pesca	2004-2010	Núm
			P	Potencia total de la flota de palangre de superficie	Consejería de Agricultura y Pesca	2004-2010	Cv
			P	Arqueo total de la flota de palangre de superficie	Consejería de Agricultura y Pesca	2004-2010	GT
			P	Potencia medio de la flota de palangre de superficie	Consejería de Agricultura y Pesca	2004-2010	Cv
			P	Arqueo medio de la flota de palangre de superficie	Consejería de Agricultura y Pesca	2004-2010	Gt
			E	Captura total de la flota de arrastre (sector sur-Mediterráneo)	Consejería de Agricultura y Pesca	2004-2010	t
			E	Captura total de la flota de arrastre (sector sur-Atlántico)	Consejería de Agricultura y Pesca	2004-2010	t
			E	Captura por buque de la flota de arrastre	Consejería de Agricultura y Pesca	2004-2010	t
			E	Captura por unidad de potencia de la flota de arrastre	Consejería de Agricultura y Pesca	2004-2010	Kg/Cv
			E	Biomasa descartada por la flota de arrastre	Inst. Español de Oceanografía	2003-2010	%
			E	Biodiversidad descartada por la flota de arrastre	Inst. Español de Oceanografía	2003-2010	Núm máx de especies
			E	Captura total de la flota de cerco (sector sur-Mediterráneo)	Consejería de Agricultura y Pesca	2004-2010	t
			E	Captura total de la flota de cerco (sector sur-Atlántico)	Consejería de Agricultura y Pesca	2004-2010	t
			E	Captura por buque de la flota de cerco	Consejería de Agricultura y Pesca	2004-2010	t
			E	Captura por unidad de potencia de la flota de cerco	Consejería de Agricultura y Pesca	2004-2010	Kg/Cv
			E	Captura de sardina y boquerón en Alborán norte	Consejería de Agricultura y Pesca	1990-2010	t
			E	Tasa de explotación de stocks de sardina y boquerón en Alborán norte	Consejería de Agricultura y Pesca	2002-2009	l/año
			E	Captura total de la flota de palangre de superficie (sector sur-Mediterráneo)	Consejería de Agricultura y Pesca	2004-2010	t

Tipo	Servicio	Sub-servicio	P-E-R	Indicador	Fuente	Serie	Unid.
			E	Captura total de la flota de palangre de superficie (sector sur-Atlántico)	Consejería de Agricultura y Pesca	2004-2010	t
			E	Captura por buque de la flota de palangre de superficie	Consejería de Agricultura y Pesca	2004-2010	t
			E	Captura por unidad de potencia de la flota de palangre de superficie	Consejería de Agricultura y Pesca	2004-2010	Kg/Cv
Regulación	Clima		E	Anomalía térmica superficial del agua en Alborán norte	Inst. Español de Oceanografía	de 1950-2009	°C
			E	Anomalía de temperatura en la columna de agua de alborán norte	Inst. Español de Oceanografía	de 1992-2009	°C
			E	Anomalía de salinidad en la columna de agua de alborán norte	Inst. Español de Oceanografía	de 1992-2009	ups
			E	Anomalía del transporte de Ekman en alborán norte	Inst. Español de Oceanografía	de 1950-2009	m ² s ⁻¹
			E	Absorción de calor por el agua en alborán norte	Inst. Español de Oceanografía	de 1992-2009	Wm ²
			E	Anomalía del nivel del mar en Alborán norte	Inst. Español de Oceanografía	de 1942-2009	cm

Tendencias generales

En general, tanto los servicios de abastecimiento como los de regulación climática sugieren una tendencia decreciente en su funcionamiento, en ambos casos como parte de una tendencia general contrastada a mayor escala espacial y temporal y sin menoscabo de que en casos particulares (la explotación de alguna especie-recurso en concreto) el servicio pueda considerarse en buen estado o en recuperación. Por otra parte, en ambos servicios el componente de fluctuación natural puede ser importante, aspecto que se retomará en relación con los impulsores directos de cambio o agentes de presión que pueden afectar a la disponibilidad de estos servicios.

Tabla 6. Tendencia del estado de los servicios analizados.

Ecosistema	Servicios	
	Abastecimiento (alimentación)	Regulación climática
Marino de aguas exteriores	↘	↘

Importancia de los servicios identificados	Tendencias actuales de los servicios identificados
Alta	Disminuye muy rápido el servicio ↓
Alta-media	Disminuye el servicio ↘
Media-baja	Continúa el servicio →
Baja	Aumenta el servicio ↗
No aplicable	Aumenta muy rápido el impacto ↑

Un aspecto a tener en cuenta es que la regulación de los agentes de presión que operan sobre los recursos biológicos es más eficaz y tiene efectos a una escala más local que las respuestas diseñadas en relación con el servicio de regulación del clima. Por otra parte, no hay que olvidar que el cambio gradual y continuo en algunas de las variables que describen el estado del ecosistema puede desembocar en un cambio brusco, de carácter catastrófico, que lleve al sistema a un estado estable diferente. La transición de un estado a otro tiene lugar cuando alguna variable crítica supera un valor umbral y se produce un cambio brusco o cambio de estado en el sistema (May, 1977). En este contexto, el cambio gradual de los ecosistemas expuestos a presiones (clima, aporte de nutrientes, fragmentación de hábitat, explotación de recursos, pérdida de especies, etc.) que también operan gradualmente, puede verse interrumpido por un cambio brusco de estado relacionado con la pérdida de “resiliencia ecológica” (Holling, 1996). Una revisión de ejemplos de este tipo de cambios en ecosistemas marinos puede encontrarse en Scheffer (2001).

5. Impulsores directos del cambio

El concepto de impulsor directo de cambio es, en términos generales, equivalente al de agente de presión propuesto por la agencia europea de medio ambiente (EEA, 1999) al referirse al conjunto de factores relacionados con la emisión de sustancias o agentes biológicos, cambios de uso del suelo, explotación de recursos, alteración o destrucción de hábitat, cambio climático, introducción de especies invasoras, etc (Figura 30) . Los impulsores directos derivan de la existencia de fuerzas motrices (impulsores *indirectos* del cambio) y a su vez provocan cambios en el *estado* ambiental que se manifiestan en *impactos* sobre los ecosistemas. Las *respuestas* ante estos cambios e impactos pueden dirigirse hacia cualquiera de los componentes del problema: modificar o eliminar impulsores indirectos, reducir la intensidad de los impulsores directos, mejorar el estado ecológico y mitigar los impactos ecológicos o adaptarse a ellos.

El marco analítico conceptual de la Evaluación del Milenio es diferente (Figura 30). Considera igualmente la existencia de impulsores indirectos e impulsores directos de cambio cuyo afectan al capital natural y a los servicios que proporcionan los ecosistemas y, consecuentemente, al bienestar del ser humano. Ambos modelos coinciden en la necesidad de elaborar respuestas para la corrección de los impulsores que han llevado a la pérdida de capital natural, servicios de los ecosistemas y bienestar humano.

Los impulsores directos de cambio seleccionados en la Evaluación del Milenio en España y aplicados también para el caso de Andalucía son los siguientes:

1. Cambios de usos del suelo (“Cambios de usos del medio” en el caso de los ecosistemas marinos)
2. Cambio climático
3. Insumos externos
4. Especies invasoras
5. Explotación intensiva de los servicios
6. Cambio en los ciclos biogeoquímicos

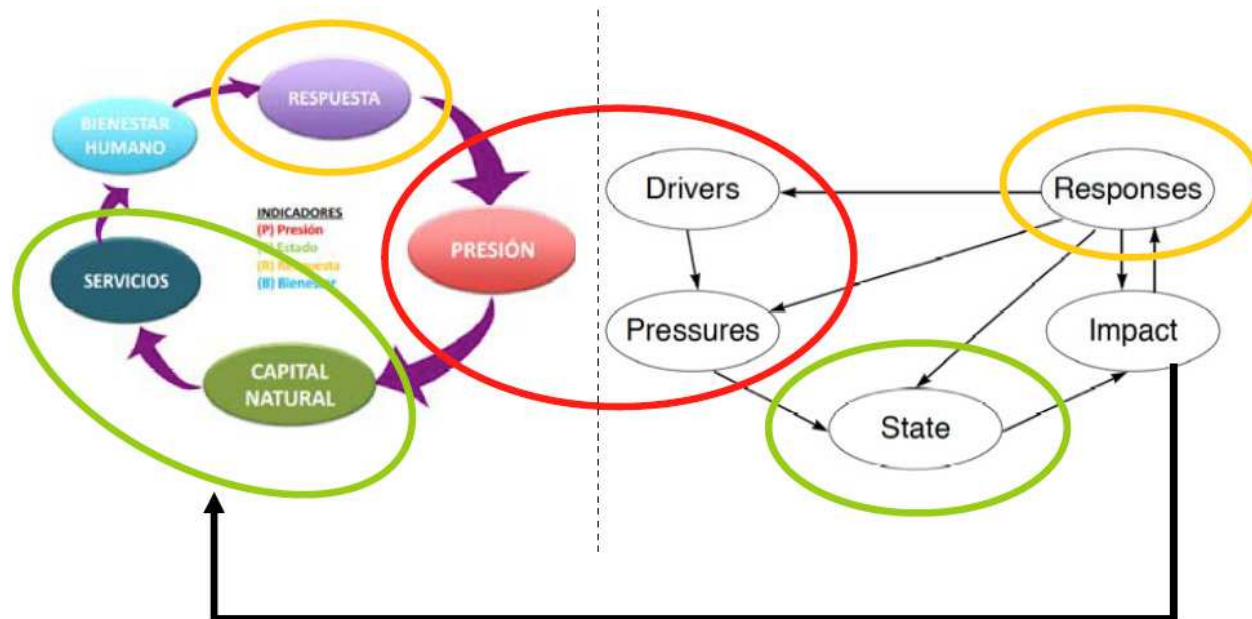


Figura 17. Comparación de los modelos analíticos propuestos por la EEA (1999, derecha) y la Evaluación del Milenio en España (2010, izquierda). Aunque en esta figura el modelo de la EME agrupa Impulsores Indirectos y Directos del Cambio en un solo compartimento (Presión), estos son equivalentes respectivamente a las Fuerzas Motrices o Impulsoras (“Drivers”) y a las Presiones (“Pressures”) de la EEA. Los cambios de estado (“State”) que identifica la EEA se manifiestan en cambios del Capital Natural y de los Servicios en la EME. Obviamente, estos cambios se corresponden y están íntimamente relacionados con los Impactos (“Impact”) que los agentes de presión provocan en los ecosistemas. El elemento diferencial entre ambos modelos es la consideración del Bienestar Humano en el marco analítico de la Evaluación de Ecosistemas del Milenio. Finalmente, ambos modelos incluyen la necesidad de tomar decisiones (Respuestas) que, en el caso de la EEA, se indica explícitamente que pueden ir dirigidas hacia cada uno de los elementos del modelo.

Cambios de uso del medio

La identificación y definición de este impulsor directo en el caso de los ecosistemas marinos requiere algunas consideraciones.

En primer lugar, en el caso de los ecosistemas marinos (particularmente en el caso de las aguas exteriores) puede resultar extraño hablar de un impulsor directo como el “cambio de uso del suelo”, expresión claramente pensada para su aplicación en el ámbito terrestre-litoral (sustitución de suelo forestal por suelo agrícola, desecación de humedales para su conversión en suelo urbano o industrial, etc). La EME utiliza la expresión “cambios de uso del medio” para hacer referencia a aquellos cambios en el medio marino que destruyen o alteran físicamente ecosistemas, citando como casos más relevantes la ampliación de nuevos caladeros de pesca, la intensificación de la pesca, la instalación de jaulas de acuicultura, la proliferación de instalaciones EDAR y sus emisarios submarinos, la extracción de servicios geóticos, las prospecciones marinas, la ampliación e intensificación de las vías de transporte marítimo y, finalmente, el aumento y diversificación de las actividades de recreo (Duarte et al., 2010). Como puede apreciarse, en este contexto el impulsor “Cambios de uso del medio” engloba a otros impulsores directos propuestos como la “explotación intensiva de los servicios” o los “insumos externos”.

En los ecosistemas litorales se cambia el uso del suelo o del medio cuando se urbaniza, cuando se modifica para construir un puerto deportivo, un dique o espigón para protección del oleaje o cuando se aprovecha para instalar un emisario submarino, entre otras actividades. En los ecosistemas marinos de aguas exteriores, la idea de “cambio de usos del medio” pudiera asociarse con la expansión de la explotación pesquera a caladeros profundos y montes submarinos cuyo incipiente conocimiento científico está revelando la existencia de comunidades extraordinariamente diversas (<http://www.indemares.es/>, etc), explotación de recursos energéticos, tanto en el subsuelo marino (yacimientos de gas, hidratos de metano, etc) como en la superficie (potencial ocupación del

espacio marino por el establecimiento de parques eólicos), con el uso de fondos profundos como receptor de residuos tóxicos, etc.

La realidad, en cualquier caso, es que “cambios de usos del suelo o del medio” engloba diferentes impulsores directos que, particularmente en el medio marino, se traducen en un impacto común: la destrucción, fragmentación o alteración de hábitat natural.

Por coherencia con la terminología empleada en la Evaluación del Milenio Estatal y con el concepto de “impulsor directo de cambio” (ya que “destrucción o alteración de hábitat” es un *impacto* derivado de la acción de los impulsores directos o agentes de presión), se mantendrá la expresión “Cambios de usos del medio”, identificándose el más relevante a escala regional como la expansión de la presión pesquera a los sustratos profundos.

Cambio climático

El cambio climático es uno de los elementos principales del cambio global que afecta al planeta. La existencia de un componente de variabilidad natural no excluye la realidad de que la actividad humana es en gran parte responsable de los cambios que están teniendo lugar (IPCC, 2007). El agente de presión representado por los aportes a la atmósfera de gases de efecto invernadero es el causante de una cadena de impactos que afectan a todos los ecosistemas y particularmente al océano: calentamiento global, alteración de las propiedades termohalinas de las masas de agua y de los patrones de circulación oceánica, elevación del nivel del mar por diferentes mecanismos (expansión térmica, aumento del volumen de agua, cambios en los campos de presión atmosférica y otros), cambios en la distribución de las especies y acidificación de las aguas marinas. Este último impacto es, paradójicamente, consecuencia de uno de los servicios más importantes prestados por el océano a la humanidad: la regulación del clima a través de la absorción y secuestro de CO₂ desde la atmósfera.

El pH de las aguas superficiales ha disminuido 0,1 unidades en los 200 años transcurridos desde la época preindustrial (Raven et al., 2005), lo que representa un incremento del 30% en la concentración de H⁺. Mediante el empleo de modelos, se predice que, si el CO₂ procedente de la actividad humana continúa en su actual tendencia, la disminución del pH en 2100 alcanzará 0,5 unidades, llevando al pH oceánico fuera del rango de variación natural experimentado durante miles de años o más aún. Téngase en cuenta que las fuertes variaciones (naturales) de CO₂ que tuvieron lugar durante la última transición glacial se produjeron a una tasa de aumento de unas 80 ppm en 6000 años, valor muy inferior a la actual velocidad de incremento de CO₂. La lentitud de los cambios naturales permite la interacción del sistema carbónico-carbonato con los sedimentos, disolviendo carbonatos y evitando o frenando el cambio del pH. El análisis del aire atrapado en las burbujas del hielo antártico indica que el CO₂ atmosférico aumentó desde unas 190 ppm a 300 ppm a lo largo de unos 420.000 años, lo que supuso un incremento de 0,16 unidades en pH. Como puede deducirse, la velocidad de los cambios debidos al aporte de CO₂ de origen antropogénico no tiene parangón en la historia geológica del planeta. El impacto biológico más claro de la disminución del pH se manifestará sobre los organismos que desarrollan estructuras de carbonato cálcico, sea en forma de calcita (foraminíferos o cocolitofóridos del plancton) o de aragonito (pterópodos planctónicos y corales), muchos de ellos fundamentales en los flujos de energía de las redes tróficas oceánicas.

El ámbito meridional de la península ibérica se presenta como uno de los más vulnerables en cuanto a los efectos derivados del cambio climático, lo que sin duda debe manifestarse también en la estructura y dinámica de los ecosistemas marinos, en los cuales ya es inequívoca la tendencia al aumento de la temperatura y salinidad de las aguas intermedias y profundas (Vargas et al., 2010) y requiere la máxima atención la observación de cambios drásticos en el nivel del mar para identificar la importancia relativa de las diferentes causas.

Insumos externos

El aporte de sustancias externas al medio marino es uno de los agentes de presión de más fácil percepción y repercusión social y, como en ocurre con la mayoría de los impulsores directos de cambio, tanto el protagonismo de

los agentes de presión como los impactos producidos son muy diferentes en los ecosistemas litorales y en los de aguas exteriores.

Los aportes de aguas residuales de origen urbano, la contaminación orgánica procedente de las instalaciones de acuicultura y los aportes de nutrientes y materia orgánica procedentes de las cuencas fluviales provocan la eutrofización de las aguas costeras, con algún impacto en aguas exteriores en las zonas de influencia de los grandes ríos. Los aportes fluviales y los efluentes industriales pueden aportar también sustancias tóxicas más persistentes en el medio marino (herbicidas procedentes de la actividad agrícola, metales pesados, etc). De carácter también local y litoral es el impacto derivado de los vertidos de la salmuera derivada de la actividad de las instalaciones desaladoras.

La contaminación con hidrocarburos puede tener su origen en las actividades de descarga en instalaciones costeras y como resultado del proceso ilegal de lavado de tanques en alta mar. Los accidentes marítimos con escape de hidrocarburos suelen tener consecuencias dramáticas sobre los ecosistemas litorales pero no hay que olvidar que los agentes floculantes empleados para eliminar el escape transportan grandes cantidades de hidrocarburos al lecho marino profundo.

Uno de los agentes de presión más específicamente ligado a los ecosistemas marinos de aguas exteriores se relaciona con las actividades de sondeo, prospección y explotación de recursos del subsuelo marino. La adquisición sísmica y los sondeos de exploración son actividades que vienen realizándose en diferentes áreas marinas de Andalucía. La explotación de los yacimientos de gas del golfo de Cádiz (y la eventual explotación de los depósitos de hidratos de metano localizados en el mar de Alborán) se realiza mediante la construcción de un gasoducto submarino sin que existan instalaciones flotantes en la vertical de los yacimientos (Robles et al., 2010). En cualquier caso, la posibilidad del desarrollo de este tipo de explotaciones y de escapes de sustancias contaminantes causa una gran alarma sobre el sector litoral andaluz, tan fuertemente dependiente de los servicios turísticos ligados a la franja marina costera.

Especies invasoras

La introducción de especies invasoras (también conocidas como exóticas o no-indígenas, aunque no todas éstas tienen por qué tener comportamiento invasor) es un proceso dinámico y prácticamente irreversible, cuya velocidad ha aumentado paralelamente al desarrollo del transporte marítimo, la conexión física entre diferentes regiones marinas, la expansión de la acuicultura y el comercio de especies, sin olvidar la incidencia que el calentamiento global pueda tener en favorecer la expansión de algunas de estas especies. Tantas y tan diferentes causas hacen de este problema uno de los más difíciles de resolver, si es que ello es posible.

Los efectos negativos sobre los ecosistemas resultan básicamente de la eliminación por competencia de especies nativas, aunque los impactos pueden extenderse a todo el ecosistema mediante interacciones indirectas que pueden afectar al comportamiento de depredadores y modificaciones del medio físico. La mayoría de las especies invasoras conocidas con cierto detalle son de carácter litoral y bentónico, pues es en este ámbito donde sus efectos pueden ser más dramáticamente visibles, como es el caso de la expansión del alga *Caulerpa racemosa* sobre las praderas de fanerógamas marinas o del alga *Asparagopsis taxiformis* sobre las poblaciones del coral *Astroides calicularis*.

Aunque el problema de las especies invasoras se reconoce como el cuarto en importancia para el ecosistema marino, tras la contaminación, la sobreexplotación de recursos y la destrucción de hábitat (IMO 2000-2004; Streftaris et al, 2005), el grado de conocimiento de este problema en el ámbito de los ecosistemas marinos de aguas exteriores es mucho menor y probablemente también lo sea su impacto ecológico en comparación con los ecosistemas litorales; se conocen especies pelágicas (medusas, peces) que forman parte de este colectivo en las aguas mediterráneas pero en ningún caso el problema alcanza la dimensión observada en el ámbito de la zona costera.

Sobreexplotación pesquera

La actividad pesquera constituye, sin duda, uno de los impulsores directos de cambio más importantes en los ecosistemas marinos sean litorales o de aguas exteriores. Las pesquerías demersales son llevadas a cabo por las flotas arrastreras sobre más de un centenar de especies de fondo de plataforma y talud. Por su carácter mínimamente selectivo, descarta al mar por no comercial a un porcentaje importante de su pesca, lo que supone un serio problema para el estado del ecosistema bentónico.

Las pesquerías de pequeños pelágicos de superficie que llevan a cabo las flotas de cerco capturan principalmente la sardina (*Sardina pilchardus*) y el boquerón o anchoa (*Engraulis encrasicolus*), mientras que el jurel (*Trachurus sp.*), la caballa (*Scomber scombrus*) y algo la boga (*Boops boops*) constituyen capturas que sustituyen a las anteriores en caso de ausencia o son complementarias a las dos principales (Robles et al., 2010). Los recursos de pequeños pelágicos sufren grandes oscilaciones interanuales, que en ocasiones provocan grandes colapsos o recuperaciones, de ahí la necesidad de evaluaciones directas del recurso cada año y la dificultad de la identificación inequívoca de los cambios observados. En cualquier caso, las capturas de boquerón muestran una tendencia decreciente en las últimas décadas, y fuertes repuntes puntuales (p.e. en el año 2002) debidos a un reclutamiento excepcional en el año 2001. En la actualidad el recurso se encuentra en una situación crítica sin que se pueda mantener una mínima estabilidad en su explotación (Robles et al., 2010).

Las pesquerías oceánicas de túnidos y especies afines, se desarrollan fundamentalmente en aguas internacionales, excepto la pesca con el arte de almadraza, de larga tradición histórica, que aún se mantiene en áreas costeras del estrecho de Gibraltar. En esta pesquería también se capturan una serie de especies asociadas, especialmente tiburones y algunas especies de mamíferos y tortugas marinas, lo cual puede llegar a producir impactos en el ecosistema. La pesca comercial en la zona española es llevada a cabo por la flota de palangreros de superficie, unos pocos grandes cerqueros y embarcaciones de línea de mano; hay también una serie indeterminada de cerqueros que capturan pequeños atunes rojos y otros túnidos menores (Robles et al. 2010). Las redes de enmalle a la deriva para pez espada están prohibidas por la UE, la CGPM y la ICCAT, pero aún se siguen usando en Marruecos. Las especies de mayor importancia en el área de estudio son el atún rojo (*Thunnus thynnus*), atún blanco (*Thunnus alalunga*) y especies de pequeños túnidos como la melva (*Auxis sp.*), el bonito del sur (*Sarda sarda*), la bacoreta (*Euthynnus alletteratus*) y, ocasionalmente, el listado (*Katsuwonus pelamis*) (Fig. 29). Entre las especies afines hay que destacar sin duda al pez espada (*Xiphias gladius*).

Cambios en los ciclos biogeoquímicos

La alteración en el régimen de uno o varios nutrientes supone cambios en los ciclos biogeoquímicos que determinan cambios en la estructura, productividad y biodiversidad de los ecosistemas. Lógicamente, el impacto de tales alteraciones tiene mayor intensidad y variabilidad en los ecosistemas litorales, en contacto con el medio terrestre y, consecuentemente, sometidos a numerosos y diversos agentes de presión con impacto sobre la disponibilidad absoluta y relativa de nutrientes.

En los ecosistemas marinos de aguas exteriores, estas alteraciones de origen antropogénico están amortiguadas y, generalmente, pierden relevancia frente a los cambios naturales regulados por los cambios termohalinos, la hidrodinámica y, en último lugar, por el clima. Como resultado de la combinación de cambios naturales y antropogénicos que afectan a la temperatura, la estabilidad o turbulencia de la columna de agua, la disponibilidad de nutrientes, la presencia de depredadores y otros que probablemente se nos escapan, se producen proliferaciones masivas de algunas especies de fitoplancton, medusas o plancton gelatinoso en general, las cuales pueden a su vez tener un impacto negativo sobre la actividad pesquera, la calidad de las aguas costeras y la salud pública, impactos que se manifiestan especialmente en el ámbito de los ecosistemas marinos litorales.

En síntesis, la valoración de los impulsores directos de cambio en los ecosistemas marinos de aguas exteriores (Tabla xx) asigna la mayor relevancia a la sobreexplotación pesquera seguida de la destrucción de hábitat ligada a los denominados cambios de usos del medio, considerándose que los restantes impulsores juegan un papel relativamente bajo en la producción de servicios por parte de este ecosistema.

Tabla 7. Intensidad y tendencia de los impulsores directos de cambio en los ecosistemas marinos de aguas exteriores de Andalucía

Ecosistema	Impulsores directos					
	Cambio de usos del medio	Cambio climático	Contaminación	Especies invasoras	Sobre-explotación	Cambio en los ciclos biogeoquímicos
Marino	↗	↗	→	→	↗	↗

Intensidad de los impulsores directos del cambio		Tendencias actuales de los impulsores directos del cambio	
Bajo		Disminuye el impacto	↘
Moderado		Continúa el impacto	→
Alto		Aumenta el impacto	↗
Muy alto		Aumenta muy rápido el impacto	↑

La comparación con la valoración hecha en el EME (2010) (Tabla x.x) pone de manifiesto la inclusión en este último de los ecosistemas litorales. Siendo también máxima la valoración del problema de la sobreexplotación (explotación excesiva de los servicios), a todos los impulsores directos se les asigna una intensidad mayor que en el caso de los ecosistemas de aguas exteriores: tanto la destrucción de hábitat (como parte de los cambios de uso del suelo) como la contaminación alcanzan una valoración máxima y muy alta en el caso de las especies invasoras.

Tabla 8. Intensidad y tendencia de los principales impulsores directos de cambio en los ecosistemas marinos en España, en los últimos 50 años (Duarte et al., 2010).

ECOSISTEMA	Cambios de usos de suelo	Cambio climático	Insumos externos	Especies invasoras	Explotación intensiva de los servicios	Cambio en los ciclos biogeoquímicos
Marino	↑	↗	→	→	→	↘

Intensidad de los impulsores directos del cambio

Bajo	
Moderado	
Alto	
Muy alto	

Tendencias actuales de los impulsores directos del cambio

Disminuye el impacto	↘
Continúa el impacto	→
Aumenta el impacto	↗
Aumenta muy rápido el impacto	↑

6. Análisis de compromisos (*trade-offs*) y sinergias

La conectividad y acoplamiento estructural y funcional de los ecosistemas marinos está en la base de la interconexión entre diferentes servicios de los ecosistemas, de forma que la explotación de cualquiera de ellos suele tener repercusiones sobre el flujo de otros servicios, sea de forma directa o indirecta. La toma de decisiones, en este marco de sinergia entre servicios de los ecosistemas, tiene, de hecho, un doble efecto:

- un efecto común que se manifiesta sobre propiedades del capital natural como son la integridad estructural de los ecosistemas y la biodiversidad.
- un efecto particular sobre un conjunto de servicios más allá del que representa el objetivo de la decisión.

Las figuras 31 a 33 ilustran algunos de los compromisos o conflictos que pueden aparecer en la toma de decisiones relacionadas con los servicios evaluados en este capítulo.

La decisión de aumentar el servicio de abastecimiento representado por la captura total de biomasa de especies de interés comercial (figura 31) suele tomarse con el objetivo de aumentar los beneficios económicos particulares y el desarrollo socioeconómico del sector ligado (directa e indirectamente) a la actividad pesquera. La decisión, expresada en un aumento del esfuerzo de la flota de arrastre (por ejemplo) tiene efectos, en primer lugar, sobre el capital natural debido a que esta actividad destruye hábitat con la consiguiente pérdida de biodiversidad, pérdida que se también incrementada por la mortalidad asociada a los descartes. Aunque a corto plazo el servicio de abastecimiento se vea favorecido y se produzca un aumento en las capturas, es muy probable que a medio-largo plazo el servicio disminuya por sobreexplotación del recurso. Además, la sobreexplotación de algunas especies que actúan como depredadores-clave reducirá el servicio de regulación de la estructura de la comunidad favoreciendo el crecimiento de especies presa, frecuentemente herbívoros que, a su vez, pueden alterar la estructura de las comunidades de algas bentónicas. El valor estético del paisaje submarino (servicio cultural) puede verse fuertemente afectado tanto por el daño físico directo sobre comunidades como las que albergan las praderas de fanerógamas marinas, como por el efecto indirecto de la sobrepesca de depredadores sobre la cobertura de algas blandas (Rodríguez et al., 2010-b).

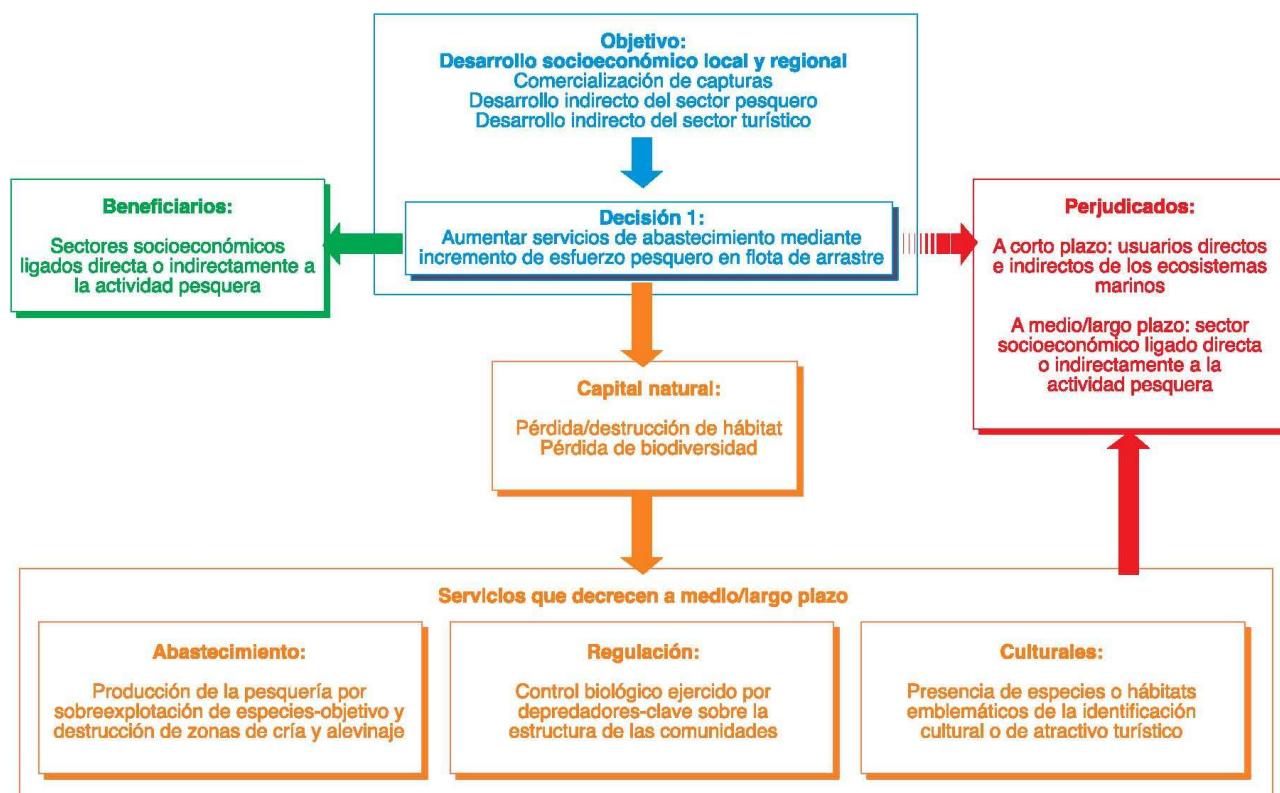


Figura 18. Ejemplo de compromisos y sinergias relacionados con una decisión sobre gestión pesquera

Cualquier decisión relacionada con la mitigación o adaptación al cambio climático proporciona ejemplos interesantes sobre la necesidad de considerar el efecto sobre el capital natural y los servicios. La figura 32 ilustra la cadena de efectos derivados de una decisión simple: la continuidad en los hábitos de consumo energético que han llevado al estado actual del problema. El objetivo de este planteamiento es el mantenimiento o aumento de las tasas de crecimiento económico de los países, lo cual proporciona beneficios a corto plazo a sectores concretos de la sociedad pero afecta negativamente al capital natural y a diversos servicios de los ecosistemas, con la expansión, a medio-largo plazo, de perjuicios a la sociedad en general y muy especialmente a los sectores más desfavorecidos.

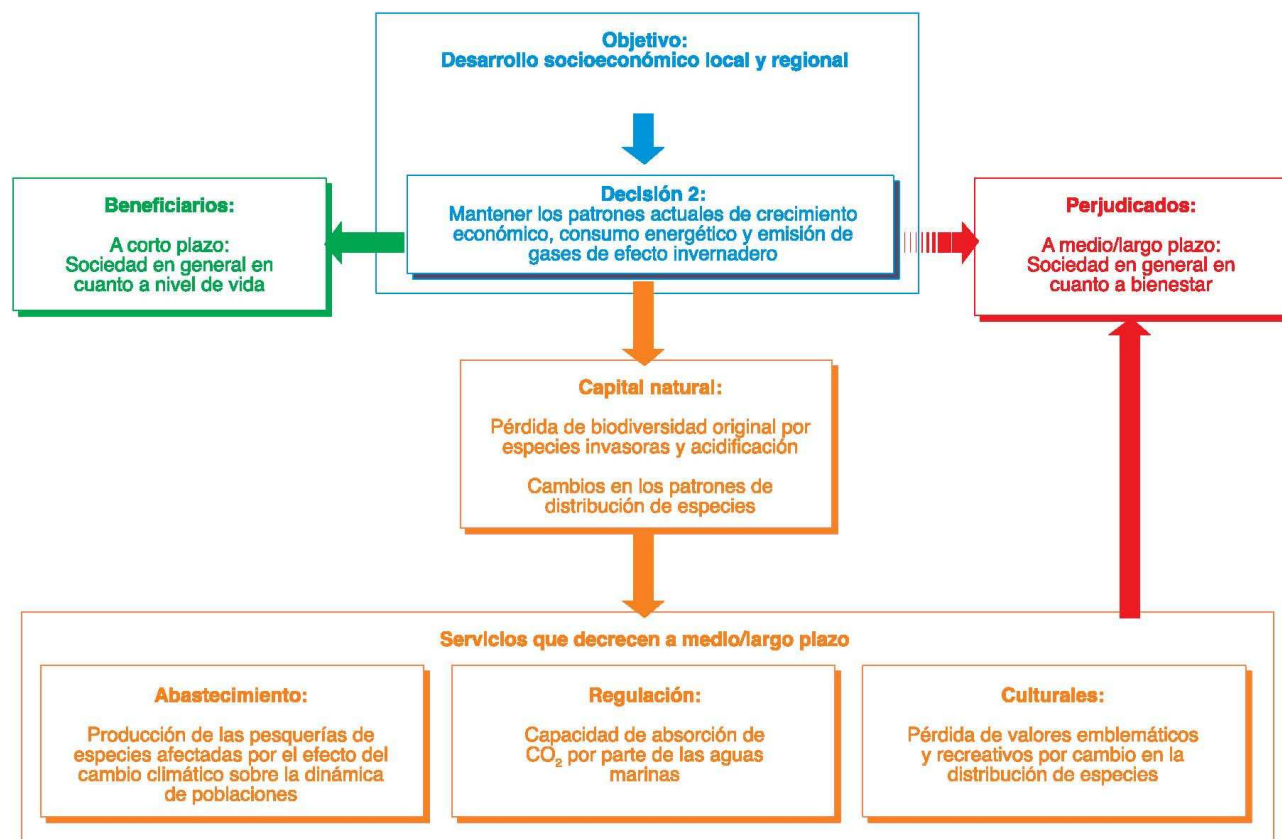


Figura 19. Ejemplo de compromisos y sinergias relacionados con una decisión sobre gestión del problema del cambio climático.

La figura 33 ilustra el caso de una decisión que pretende promover la protección de ecosistemas marinos mediante la creación de áreas marinas protegidas y reservas de pesca (por ejemplo, las existentes en el Paraje Natural de la isla de Alborán). Esta decisión se toma con el objetivo de preservar y recuperar los recursos biológicos junto con la biodiversidad y la integridad ecológica de los ecosistemas marinos incluidos. En términos de servicios, se trata de optimizar los servicios de abastecimiento reflejados en las capturas pesqueras permitidas ahora y en el futuro, así como otros servicios de regulación asociados, como el mantenimiento de los procesos de control biológico y servicios culturales de ecoturismo (entre otros). Esto tiene beneficios indudables sobre el capital natural (recursos y biodiversidad) pero la restricción pesquera puede suponer – a corto plazo y en términos absolutos - un menoscabo del servicio de abastecimiento para algún segmento de la flota pesquera y un perjuicio para el sector socioeconómico dependiente. A medio-largo plazo, sin embargo, es muy probable que no existiera ningún colectivo perjudicado, aunque ello puede requerir otras decisiones encadenadas y dirigidas a la compensación o reconversión del sector socioeconómico inicialmente afectado.

Por último, este apartado es quizás especialmente relevante a la hora de destacar la necesidad de hacer un esfuerzo de síntesis a escala del conjunto de ecosistemas marinos litorales y de aguas exteriores, pues los efectos directos, indirectos y las sinergias derivadas de la continua toma de decisiones no debe hacerse separadamente o, al menos, una vez estudiadas separadamente, debe dedicarse un esfuerzo similar a las consecuencias derivadas de decisiones que se toman en relación con alguno de los ámbitos en particular.

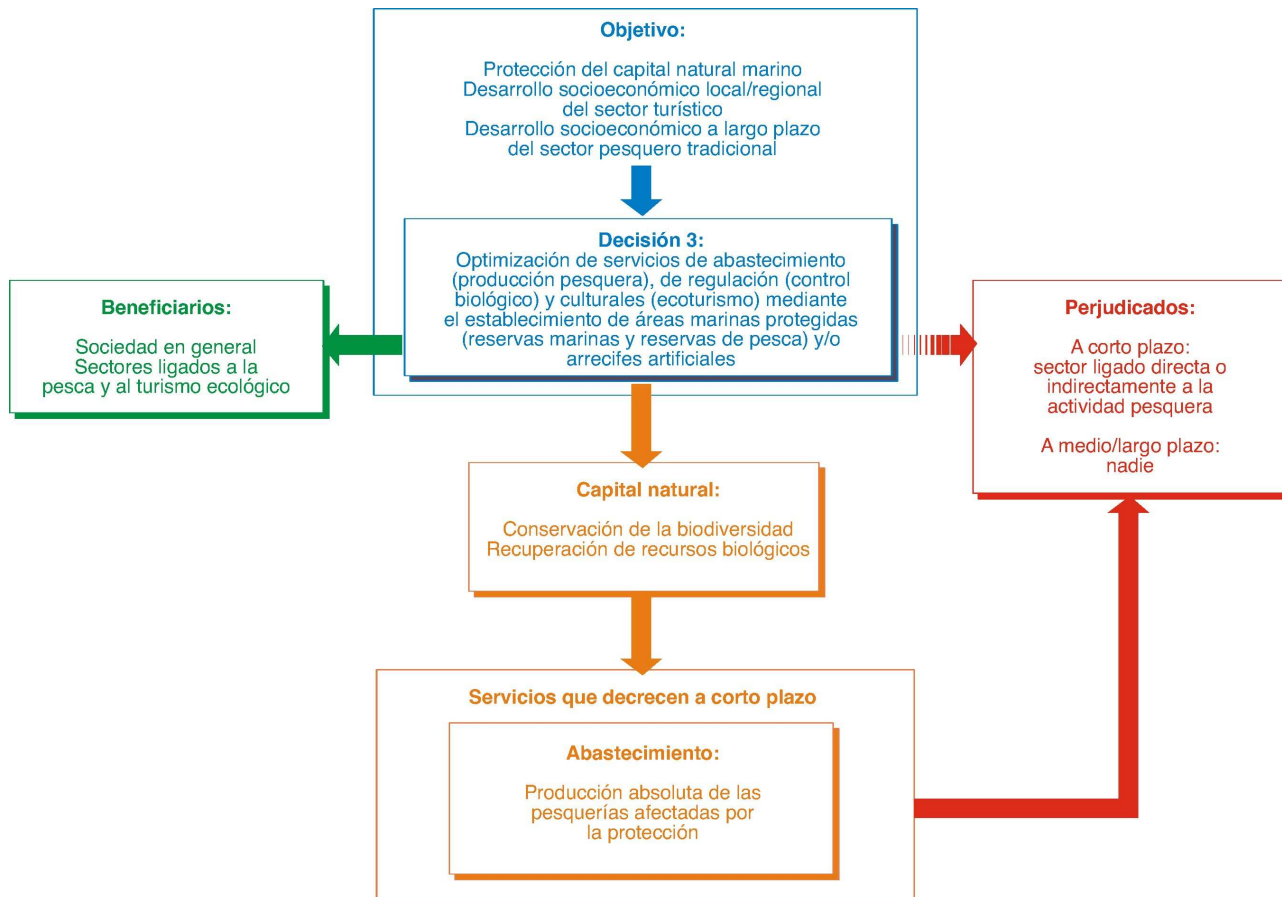


Figura 20. Ejemplo de compromisos y sinergias relacionados con una decisión sobre gestión ambiental

7. Respuestas e intervenciones de gestión

El marco conceptual

La política ambiental europea relacionada con la gestión del medio marino se basa en un enfoque basado en el ecosistema (“*ecosystem approach*”, “*ecosystem management*” y denominaciones parecidas), que requiere la aplicación de estrategias de gestión integrada de las actividades humanas (en mar y tierra) y de los recursos vivos que faciliten la conservación y el uso sostenible y tenga en cuenta los efectos combinados de múltiples agentes de presión.

De acuerdo con la Evaluación del Milenio en España, el enfoque esencial para garantizar el buen estado de los servicios de los ecosistemas marinos es el del mantenimiento de los procesos socioecológicos que en su seno se dan lugar, a través de estrategias de sostenibilidad. Los ecosistemas marinos se pueden percibir como sistemas formado por diversos elementos básicos interconectados: el capital natural (tanto terrestre, de agua dulce, estuárico, litoral, como marino), los sectores extractores o utilitarios de los servicios (como la industria pesquera, el turismo, el transporte marítimo, la producción de energía, etc.) y los diferentes actores sociales (consumidores, grupos ecologistas, asociaciones de pescadores, asociaciones empresariales, etc.). Una aproximación sistémica es, por lo tanto, necesaria para conocer las conexiones existentes dentro de y entre estos elementos del ambiente marino, y para dar apoyo al nivel político en la toma de decisiones. Las características de los ecosistemas marinos, la necesidad de un tratamiento integral y la gran cantidad de factores naturales u originados por el ser humano que intervienen en éstos, obligan a considerarlos de forma unificada para que las medidas que se tomen tengan efectos reales (Duarte et al., 2011).

Respuestas legislativas , Acuerdos y Actividades

7.2.1. Principales hitos

Durante los años 50 y 60 del siglo XX se toma conciencia de la sobreexplotación y degradación de los ecosistemas marinos por diferentes actividades humanas y emerge en la comunidad internacional la necesidad de afrontar estos problemas mediante medidas legislativas y acuerdos internacionales. Los principales hitos en el proceso de regular los usos y las relaciones entre el hombre y el mar son los siguientes:

1958: Convención de Ginebra sobre la Ley del Mar.

Establece un marco internacional para la protección de los recursos marinos, a través de acuerdos sobre la plataforma continental, aguas oceánicas, Pesca y Conservación de Recursos Biológicos.

1962: Primera Conferencia Mundial sobre Parques Nacionales.

Considera la necesidad de protección para áreas costeras y marinas y desarrolla el concepto de protección de áreas específicas.

1971: Convenio RAMSAR sobre humedales.

Proporciona las bases para la gestión de los humedales, incluyendo aquellos de carácter costero que pueden formar parte o ser considerados como AMP's.

1972: Convenio para la Protección del Patrimonio Natural y Cultural Mundial

Propone normas para la protección de áreas terrestres y marinas de importancia global.

1972: Programa de Mares Regionales de las Naciones Unidas.

Proporciona el marco para la consideración regional de los problemas que afectan al medio marino, incluyendo la consideración de las AMP's, con el objetivo de que tales problemas reciban la adecuada atención por parte de los gobiernos. El primer Plan establecido en este marco es el Plan de Acción para el Mediterráneo (1975).

1973-1978: IMO (International Maritime Organization): Convención Internacional para la Prevención de la Contaminación desde Barcos (MARPOL).

La IMO puede identificar Áreas Especialmente Sensibles donde se regulan las descargas de productos contaminantes

1973-1977: Conferencia de Naciones Unidas sobre la Ley del Mar.

Proporciona las bases legales que permiten el establecimiento de AMP's y la conservación de los recursos marinos más allá de las aguas estrictamente territoriales.

1975: Conferencia de la IUCN sobre AMP's en Tokio.

Recomienda el establecimiento de un sistema de AMP's representativo de los ecosistemas marinos a escala mundial.

1979: Convención de Bonn sobre la Conservación de Especies Migradoras

En el caso de los ecosistemas marinos, y en particular al ámbito mediterráneo, se refieren básicamente a especies de cetáceos.

1980: IUCN/WWF/UNEP publican la "World Conservation Strategy".

Destacan la importancia de los ecosistemas marinos en el objetivo global de las medidas de conservación y alcance de un desarrollo sostenible.

1982: IUCN: Conferencia Mundial sobre Parques Nacionales (Bali)

Entre los diferentes "workshops" se profundiza en el tema de creación y gestión de AMP's, lo que se tradujo posteriormente en la publicación citada más abajo (IUCN, 1984).

1983: UNESCO: Primer Congreso Mundial sobre Reservas de la Biosfera (Minsk)

Se propone la adaptación del modelo de "Reserva de la Biosfera" a las AMP's asignándoles el carácter multifuncional e integral (social, administrativo y científico) que define a estas reservas en el contexto del Programa "Man and Biosphere".

1984: IUCN: publica "Marine and Coastal Protected Areas: A Guide for Planners and Managers".

1986-1990: La Comisión de Parques y Áreas Protegidas de la IUCN crea el puesto de "Vice-chair" específicamente para el tema de las AMP's. Como resultado, los mares son divididos en 18 regiones sobre la base de criterios principalmente biogeográficos y se crean comisiones adscritas a cada región.

1987-1988: IUCN 17th Asamblea General.

Se define qué es una AMP, se identifican los objetivos principales y específicos y las condiciones necesarias para su alcance.

1988: Ley de Costas.

Puede considerarse una de las herramientas fundamentales legislativas a nivel estatal en relación con el dominio costero. Su propósito es garantizar el carácter público del dominio "marítimo-terrestre" o "ribera marina" y conservar sus características naturales conciliando las exigencias de desarrollo con los imperativos de protección. Establece la actuación administrativa sobre el dominio público marítimo-terrestre, con los siguientes objetivos: determinar el dominio público y asegurar su integridad y adecuada conservación, adoptando, en su caso, las medidas de protección y restauración necesarias; garantizar el uso público del mar, de su ribera y del resto del dominio público marítimo-terrestre, sin más excepciones que las derivadas de razones de interés público debidamente justificadas; regular la utilización racional de estos servicios en términos acordes con su naturaleza, sus fines y con el respeto al paisaje, al medio ambiente y al patrimonio histórico; y conseguir y mantener un adecuado nivel de calidad de las aguas y de la ribera del mar.

1992: *Agenda 21, United Nations Conference on Environment and Development.*

Los estados firmantes se comprometen a identificar y proteger aquellos ecosistemas marinos de elevada diversidad y productividad.

1992: *Directiva "Hábitat" de la UE.*

Tiene como objetivo garantizar la biodiversidad mediante la conservación de los hábitats naturales y de la fauna y de la flora silvestres en el territorio europeo de los estados miembros. Se estructura sobre la creación de la Red Natura 2000 y representa el principal instrumento de protección de la naturaleza en el ámbito regional europeo.

1994: *Convención de Naciones Unidas sobre la Ley del Mar (UNCLOS)*.

Establece los derechos de las naciones para establecer una Zona Económica Exclusiva, facilitando el establecimiento de AMP's fuera de las estrictas aguas territoriales. También permite a los estados, sujeto a aprobación por la IMO, identificar Áreas Especialmente Sensibles incluyendo criterios de protección de los recursos marinos.

1994: *Convención de Naciones Unidas sobre Diversidad Biológica (CBD)*.

Identifica obligaciones que las naciones firmantes deben asumir a favor de la conservación de la diversidad biológica y la productividad, tanto terrestre como marina.

1995: *PNUMA Convenio de Barcelona para la Protección del Mar Mediterráneo contra la Contaminación* (Protocolo concerniente a Áreas Especialmente Protegidas y Biodiversidad Marina)

Promueve la cooperación internacional en aplicación al Mar Mediterráneo del Plan de Mares Regionales previamente planteado a mediados de los años 70.

1995: *FAO. Código de Buena Conducta para las Pesquerías*.

Recomienda un código de conducta coherente con la explotación sostenible de los recursos biológicos y la integridad de los ecosistemas marinos, aunque no hace mención explícita a las AMP's.

1995: IUCN/World Bank/GBRMPA publican "*A Global Representative System of Marine Protected Areas*".

Se analizan las AMP's existentes en las 18 regiones biogeográficas definidas previamente.

1999: IUCN publica "*Guidelines for Marine Protected Areas*".

Se actualizan las iniciativas con éxito en el establecimiento y gestión de AMP's.

1999: *CIESM Workshop on Mediterranean Marine Protected Areas*.

La Comisión Internacional para la Exploración Científica del Mar Mediterráneo revisa la situación relativa al diseño científico y seguimiento de las AMP's en el ámbito mediterráneo.

2000: *Directiva de Aguas de la UE*.

Establece el marco de protección para las aguas superficiales, continentales, subterráneas, de transición y costeras, estén o no sometidas a algún tipo de protección legal, por lo que tiene incidencia sobre todo aquello que se refiera a AMP's.

2001: *Ley 3/2001, de 26 de marzo, de Pesca Marítima del Estado*.

Constituye la normativa básica del Estado para la regulación de la pesca marítima española. El artículo 149.1.19 de la Constitución atribuye al Estado la competencia exclusiva en materia de pesca marítima, sin perjuicio de las competencias que en la ordenación del sector pesquero se atribuyan a las Comunidades Autónomas. (Libro blanco de la pesca, 2009). Las Comunidades Autónomas tienen competencia sobre la pesca que se realiza en aguas interiores, el marisqueo y la acuicultura, y en materia de ordenación del sector pesquero y de comercialización de los productos pesqueros, en desarrollo y ejecución del marco unitario. (Libro blanco de la pesca, 2009).

2001: *WWF, WCPA, IUCN. The Status of Natural Resources on the High Seas*

Primer documento que evalúa las amenazas sobre los recursos de los ecosistemas en aguas profundas internacionales y revisa la situación legal y las consideraciones políticas que pueden afectar a los esfuerzos de conservación de estos ecosistemas.

2002: *Reglamento (CE) n° 2371/2002 del Consejo, de 20 de diciembre de 2002*

Reglamento sobre la conservación y explotación sostenible de los recursos pesqueros en virtud de la política pesquera común, establece los siguientes parámetros de sostenibilidad para mejorar la política de recursos: Es precisa una explotación sostenible de los recursos basada en un asesoramiento científico sólido y en el criterio de precaución, teniendo en cuenta los aspectos medioambientales, económicos y sociales.

2003: *IUCN. Towards a Strategy for High Seas Marine Protected Areas.*

Se propone un conjunto de acciones dirigido al establecimiento de una Red de Áreas Marinas Protegidas en los ecosistemas de aguas profundas internacionales.

2007: *Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad*

Hasta la Ley de Protección del Medio Marino, ésta ha sido la normativa sobre la que se han basado las medidas de protección de los mares y costas españoles. Introdujo el medio marino en su momento como innovación a la anterior ley, estableciendo la áreas marinas protegidas como herramientas de conservación.

2007: *Propuesta de Estrategia Andaluza de Gestión Integrada de Zonas Costeras (GIZC)*

La Administración ambiental andaluza se hace eco de la Recomendación del Parlamento y del Consejo Europeo de 2002, sobre la aplicación de la GIZC en Europa, así como de la Proposición no de Ley, relativa a la Gestión Integrada de Zonas del Litoral, que el Pleno del Parlamento Andaluz aprobó en junio de 2005. En la Estrategia toman parte pescadores, autoridades portuarias, empresas turísticas, universidades, asociaciones conservacionistas, administraciones, etc., con el objetivo de disponer de un instrumento eficaz y consensuado que contribuya a conseguir un modelo más integrado y eficiente de la gestión de este territorio, que conjugue la conservación de sus valores ambientales y el progreso social y económico de sus habitantes a través de la cooperación y coordinación de todos los actores que intervienen en la franja litoral andaluza.

2008: *Directiva Marco sobre la Estrategia Marina (2008/56/CE)*

Establece un marco de acción comunitaria para la política de los ecosistemas marinos. La Directiva obliga a los Estados Miembros a adoptar las medidas necesarias para lograr o mantener un buen estado medioambiental de los ecosistemas marinos a más tardar en el año 2020.

1010: *Ley 41/2010, de 29 de diciembre, de Protección del Medio Marino*

Se establece por primera vez un marco jurídico para lograr un buen estado de los ecosistemas marinos, su protección y preservación, así como su recuperación, la prevención y eliminación de la contaminación en el contexto de una política marítima integrada. Los elementos clave de esta ley son: las Estrategias Marinas como instrumento de planificación; la creación de la Red de Áreas Marinas Protegidas y la incorporación de criterios ambientales en los usos de los ecosistemas marinos.

Como puede observarse, las iniciativas legales a escala estatal y europea van estrechamente unidas. En estos momentos, la Directiva Marco de Estrategia Marina de la UE, cuyo objetivo es alcanzar el “buen estado ambiental” de los ecosistemas marinos europeos para el año 2020 al tiempo que permite el uso sostenible de los servicios ecológicos de estos ecosistemas, representa el pilar sobre el que se apoya la Política Marítima Integrada de la Unión Europea, cuyo objetivo es garantizar la compatibilidad de actividades humanas y conservación ecológica, incluyendo la implementación de los objetivos conservacionistas en la Política Pesquera Común.

7.2.2. Iniciativas regionales destacables

Son muchas y diversas las iniciativas que a diferentes escalas, desde la local hasta la internacional, se desarrollan en el marco regional de los ecosistemas marinos de Andalucía y muy particularmente en el ámbito costero. Proyectos de investigación, ensayos de gestión integrada de la zona costera, programas municipales de educación y sensibilización ambiental, etc, han hecho de Andalucía una de las comunidades más avanzadas en la planificación y gestión ambiental. El objetivo de este apartado es modesto: se trata de presentar algunos ejemplos de estas iniciativas sin que ello desmerezca aquellas que aquí no se recogen.

El mar de Alborán es, en el marco mediterráneo y particularmente en el contexto de los mares de Andalucía, una de las regiones marinas de mayor interés por las razones ecológicas que se han expuesto al inicio de este capítulo, a lo que hay que añadir los retos que plantea su gestión ambiental y su gobernanza, habida cuenta del estrecho y nítido contacto entre las áreas marinas de soberanía española, marroquí y argelina en un espacio relativamente reducido y las posibilidades que ofrece en cuanto a cooperación en materia de protección ambiental.

UICN, operando a través de su Centro de Cooperación del Mediterráneo situado en Málaga desarrolla dos iniciativas en las que la cooperación para la conservación de los valores naturales de los ecosistemas marinos y el desarrollo social de los países ribereños van de la mano:

3) Proyecto RADMED: Series Temporales de Datos Oceanográficos del Mediterráneo

Este proyecto es el resultado se nutre de la información recogida por el propio IEO a través sus sistemas de observación marinos desde hace más de seis décadas y actualmente cuenta con la colaboración de otras instituciones como El Instituto de Ciencias del Mar (ICM/CSIC), Instituto Mediterráneo de Estudios Avanzados (IMEDEA/CSIC), Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), Puertos del Estado (PE), Universidad de las Islas Baleares (UIB) y Universidad de Málaga (UMA). Siguiendo el compromiso adquirido por el IEO en el estudio del Cambio Climático marino, desde la fecha de publicación del primer informe (Vargas et al., 2007), el informe de 2010 (Vargas et al., 2010) se enriquece con un sistema de observación multidisciplinar en e litoral mediterráneo español que aúna y amplía los anteriores sistemas de observación, ampliando la cobertura espacial de los programas anteriores hacia zonas que no estaban bien cubiertas (algunas de especial interés ecológico) así como hacia mar abierto (Figura 35). De este programa se beneficia especialmente el mar de Alborán, al dedicarse una especial atención a la observación del ecosistema marino en las inmediaciones del Cabo de Gata (Almería)

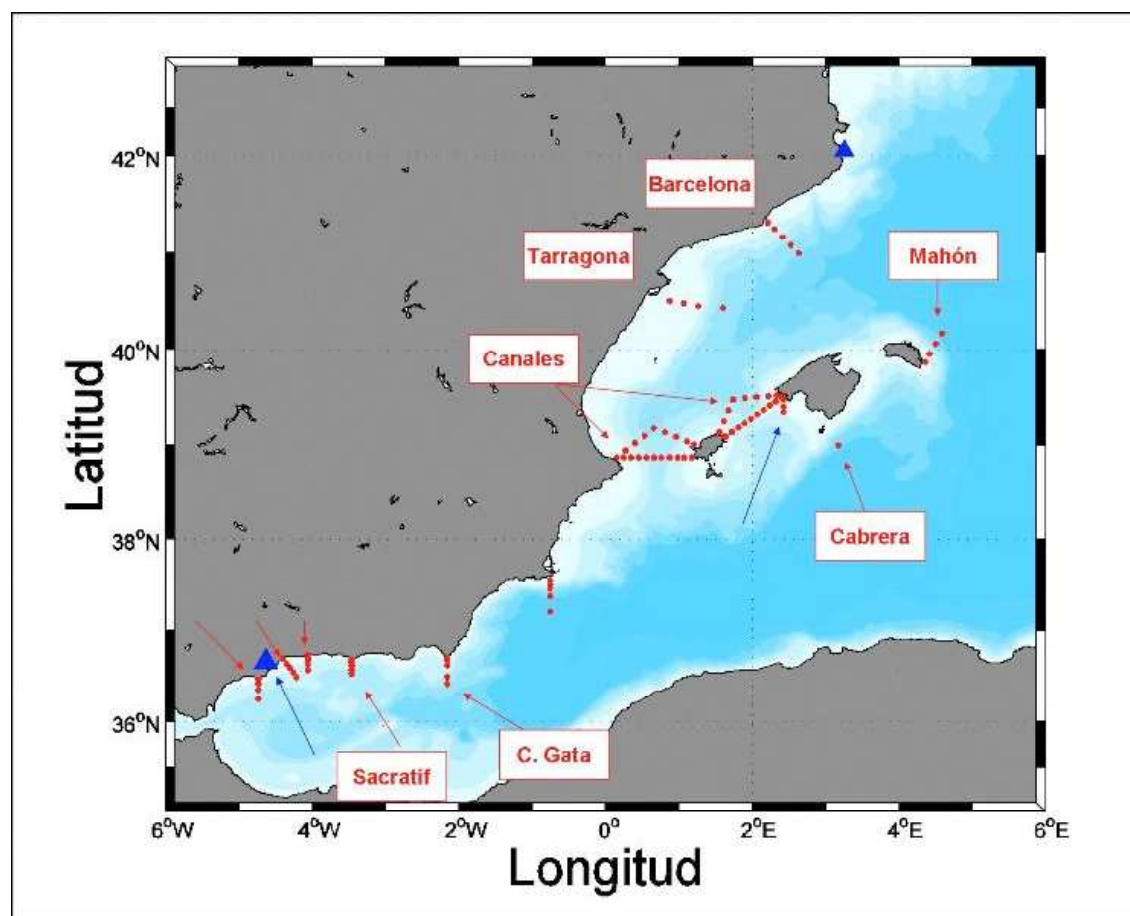


Figura 22. Red de estaciones de muestreo para la observación del cambio climático en el Mediterráneo .
http://www.ma.ieo.es/gcc/sistemas_observacion.htm

4) Plan de Acción para las Áreas Marinas Protegidas de Andalucía

Esta iniciativa de la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía pretendía generar un documento de principios y directrices (Figura 36) que permitiera “establecer y gestionar un sistema de áreas marinas protegidas que contribuya a la conservación, a largo plazo, de la biodiversidad y la funcionalidad de los ecosistemas marinos regionales, así como a la preservación de los recursos marinos y los bienes sociales, culturales y recreativos necesarios para el desarrollo sostenible del litoral andaluz” (Rodríguez et al., 2004).

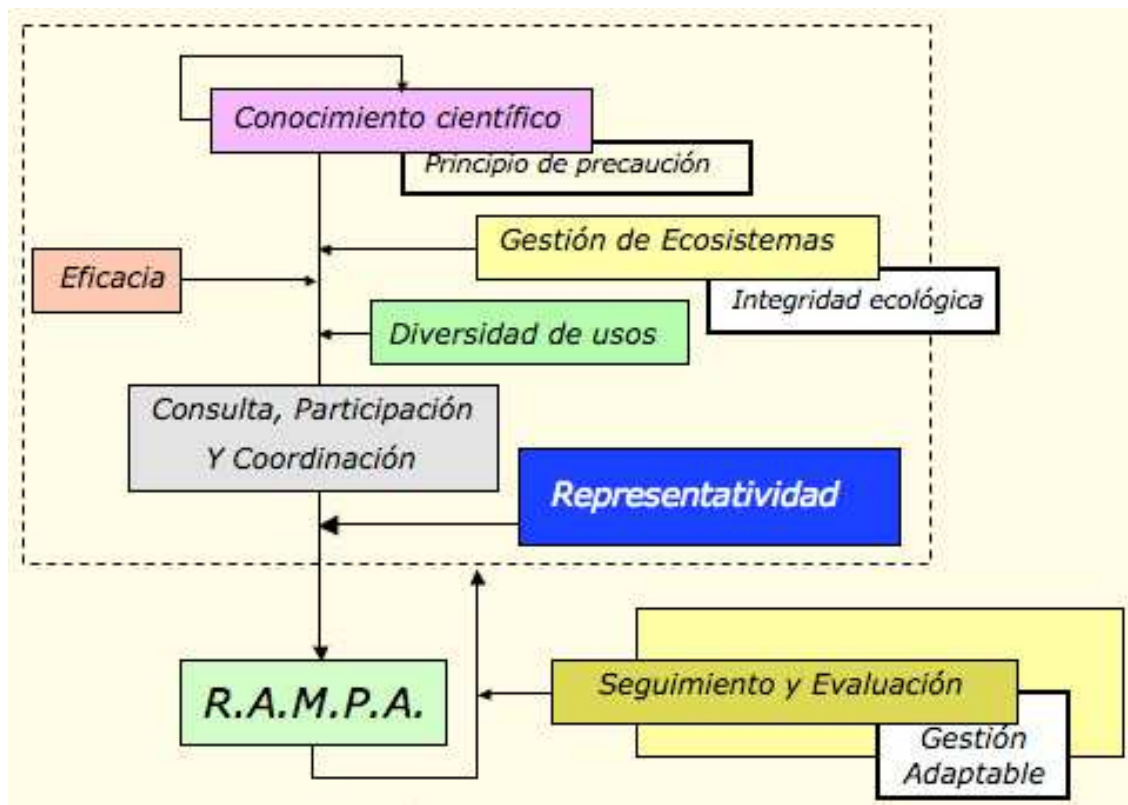


Figura 23. Principios y directrices sobre los que se fundamenta la propuesta de un Plan Andaluz de Áreas Marinas Protegidas (Rodríguez et al., 2004)

Una de sus iniciativas inmediatas era la de examinar la representatividad de la red de áreas marinas protegidas previamente existente, detectar y eliminar lagunas en la representatividad ecológica a escala regional y poner en marcha una serie de acciones que cubrieran desde la recogida de información en inventarios, la investigación, la mejora del marco legal, la aplicación de medidas de gestión adaptativa, la educación ambiental, participación ciudadana y el desarrollo social en un marco de sostenibilidad ambiental. Aunque el plan no llegó a materializarse en documento oficial, muchos de sus contenidos han alimentado o san encontrado aplicación en otras iniciativas como las presentadas anteriormente.

7.2.2. Necesidades de gestión y posibles medidas a tener en cuenta

Por todo lo expuesto hasta el momento, la propuesta de líneas de actuación dirigidas a garantizar la sostenibilidad de los ecosistemas marinos regionales en el marco conceptual de la Evaluación de Ecosistemas del Milenio no puede diferir mucho de lo que ya se viene proponiendo bajo la consideración de una aproximación ecosistémica. Así, la posibilidad de conservar a largo plazo la biodiversidad y la funcionalidad de los ecosistemas marinos regionales, así como su capacidad para proveer de servicios al ser humano se puede ver favorecida si los organismos gestores admiten la necesidad de:

- Impulsar un modelo de gestión dirigido hacia la conservación o la restauración de la integridad ecológica de los ecosistemas marinos andaluces.
- Garantizar la representatividad de todos los tipos de ecosistemas marinos presentes en los mares regionales de Andalucía.
- Asegurar la conservación todos los ecosistemas marinos incluidos en una Red Ecológica de Áreas Marinas Protegidas de Andalucía mediante la aplicación de las adecuadas figuras de protección.
- Desarrollar las actuaciones necesarias para la correcta gestión y/o restauración de hábitats y ecosistemas marinos.

- Establecer un sistema de levantamiento, almacenamiento y análisis operativo de la información sobre los ecosistemas marinos andaluces.
- Incrementar el conocimiento científico multidisciplinar de los ecosistemas marinos andaluces y de los sistemas socioeconómicos y culturales asociados a su uso y explotación.
- Difundir el valor social de las funciones de los ecosistemas marinos andaluces con el fin de incrementar la conciencia pública sobre la importancia y necesidad de su conservación.
- Promover modelos participativos de gestión que potencien, mediante incentivos, el uso racional de los ecosistemas marinos andaluces.
- Establecer foros y mecanismos de coordinación y cooperación entre instituciones, organismos y entidades tanto gubernamentales como no gubernamentales, incluyendo el sector privado, para el desarrollo de sus programas sectoriales.
- Incrementar y consolidar la capacidad de las instituciones ambientales para conseguir una gestión más efectiva de los ecosistemas marinos andaluces.
- Afianzar el desarrollo de un programa de seguimiento y evaluación en el marco del sistema de evaluación de la RENPA.
- Divulgar en el ámbito regional, estatal e internacional, los esfuerzos realizados por la administración ambiental andaluza para la conservación de sus ecosistemas marinos.
- Fomentar la Cooperación Internacional y apoyar, en el marco de sus competencias en materia de medio ambiente, el cumplimiento de los compromisos internacionales del Estado español con relación a los convenios, directivas y políticas europeas e internacionales relacionadas con la conservación de ecosistemas marinos.
- Asegurar la dotación de recursos financieros para llevar a cabo los distintos programas de un Plan de Acción y otras iniciativas que se ajusten a estos objetivos.

8. Respuestas e intervenciones de gestión

A lo largo de todo este capítulo se han examinado las relaciones entre los impulsores directos de cambio, los impactos que generan sobre la integridad funcional de los ecosistemas y la repercusión sobre los servicios de los que finalmente se beneficia la sociedad. Al principio de todo este marco analítico (Figura 37) se encuentra un conjunto de impulsores *indirectos* de cambio que suelen ser de carácter socioeconómico. En una sociedad como la andaluza, perteneciente a un país del ámbito de los considerados desarrollados económicamente, esos impulsores indirectos se relacionan con el aumento de población (con la inmigración como componente muy importante) y el consecuente aumento absoluto del consumo energético. El modo de vida de nuestra sociedad favorece el consumismo y la importación de materiales que requieren grandes inversiones en transporte e infraestructuras, y nuestra particular dependencia del sector turístico litoral estimula la acumulación de población cerca del mar, la especulación inmobiliaria y todas su secuela de impulsores directos: destrucción de hábitat, sobreexplotación de recursos, contaminación, etc.

Una vez conocidos y reconocidos los impactos ecológicos de estos impulsores directos sobre el capital natural y la capacidad de mantener el flujo de servicios por parte de nuestros ecosistemas marinos, al final de todo está el bienestar humano. La toma de conciencia de la diferencia entre nivel de vida y bienestar es fundamental para que la sociedad dirija su atención hacia el modo en el que los políticos y gestores ambientales manejan estos problemas. La valoración en su justa medida de lo que se ha perdido y de lo que se puede perder en términos de bienestar humano es un paso fundamental para la corrección de las medidas de gestión que se han mostrado inútiles o insuficientes y su orientación en el marco del reconocimiento de que la tecnología tiene un límite a la hora de solucionar los problemas ambientales que hemos provocado y, además, porque hay pérdidas de carácter cultural y emocional que inevitablemente afectan, si no al nivel de vida, sí al bienestar humano.

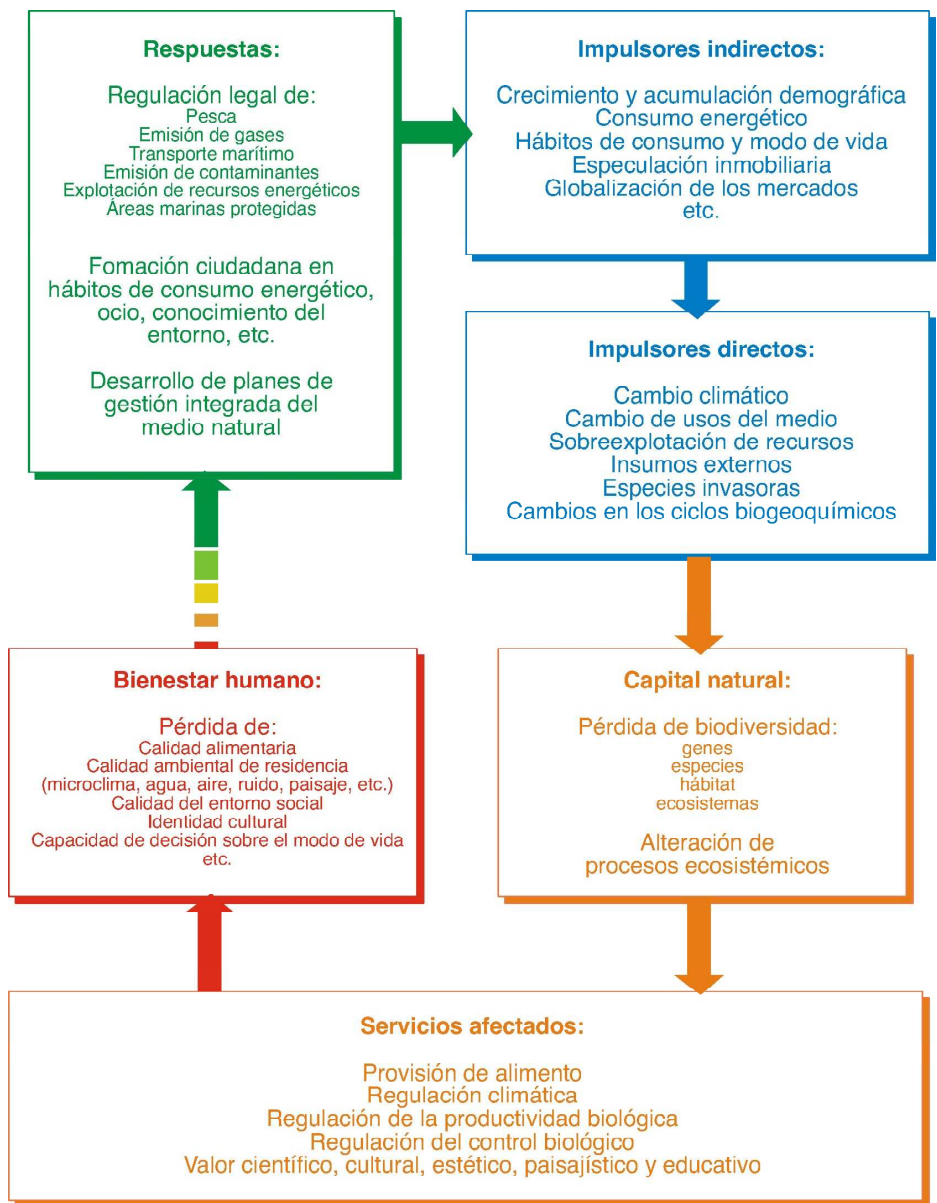


Figura 24. Síntesis de las relaciones entre impulsores, capital natural, servicios, bienestar humano y respuestas en relación con los ecosistemas marinos de aguas exteriores.

9. Agradecimientos

Los autores quieren agradecer las aportaciones de diferentes especialistas que han contribuido con datos, críticas y comentarios a diferentes apartados de este capítulo: Jorge Baro, Teresa García, Ana Giráldez y Manuel Vargas, del Centro Oceanográfico de Málaga (Instituto Español de Oceanografía, Ministerio de Ciencia e Innovación), Rogelio Abad (Delegación Provincial de Almería, Consejería de Agricultura y Pesca, Junta de Andalucía) y José Enrique Frieyro (Agencia de Medio Ambiente y Agua, Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía). Quede también testimonio de nuestro agradecimiento al resto de miembros del proyecto de Evaluación de Ecosistemas del Milenio en Andalucía y particularmente a Chary García Mora, Mateo Aguado y Carlos Montes por la ayuda prestada en la organización y desarrollo de este capítulo.

10. Referencias bibliográficas

- Barangé M. And R. Harris (eds.) (2003). *Marine Ecosystems and Global Change*. IGBP Science, 5.
- Bautista, B., V. Rodríguez y F. Jiménez-Gómez, 1994. Trophic interactions in the microbial food webs at a coastal station in the Alboran Sea (Western Mediterranean) in winter.(i). Size selective flagellate feeding on bacteria and its implication on the microbial loop size-structure. *Scientia Marina*, 58,143-152.
- Bethoux, J.P., B. Gentili, P- Morin, E. Nicolas, C. Pierre and D. Ruiz-Pino (1999). The Mediterranean Sea: a miniature ocean for climatic and environmental studies and a key for the climatic functioning of the North Atlantic. *Progress in Oceanography*, 44, 131-146.
- Botsford, L.W., J.C. Castilla and C.H. Peterson (1997). The management off fisheries and marine ecosystems. *Science*, 277: 509-515.
- Cavanagh, D. y C. Gibson (2007). *El estado de conservación de los peces cartilaginosos (Condictrios) del Mediterráneo*. UICN, Gland, Suiza y Málaga, España. vi + 37 páginas
- Consejería de Agricultura y Pesca (2010). *Localización de zonas idóneas para el desarrollo de la acuicultura en el litoral andaluz: datos básicos*. Junta de Andalucía, 45 p + CD.
- Costanza, R., et al (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387, 253-260.
- Díaz-del-Río, V. (2009). Nuestras amigas las bacterias: unas amistades nada peligrosas que habitan en los sedimentos marinos. <http://knol.google.com/k/víctor-díaz-del-río/nuestras-amigas-las-bacterias/3ir56hth1lgzd/3>.
- Duarte, C.M., (2004). El papel de las praderas en la dinámica costera. En Luque, A. y J. Templado (Coord.), *Praderas y bosque submarinos de Andalucía*, pp. 81-85. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía.
- Duarte, C.M. , I. Ferriz Murillo y L. Royo Marí, 2011. *Ecosistemas Marinos*. Capítulo 14 en EEME (2011)
- European Environment Agency (2010). *The European environment – state and outlook 2010*. <http://www.eea.europa.eu/soer/europe/marine-and-coastal-environment>
- European Environment Agency (1999). Environmental indicators: Typology and overview. *Technical report* No 25, 19 p.
- Evaluación de los Ecosistemas del Milenio de España (2011). *La Evaluación de los Ecosistemas del Milenio de España. Síntesis de resultados*. Fundación Biodiversidad. Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino.
- Fosså, J.H.; Mortensen, P.B. and Furevik, D.M. (2002). 'The deep-water coral *Lophelia pertusa* in Norwegian waters: distribution and fishery impacts'. *Hydrobiologia* (471) 1–12.

- Flores, A. (2004). Los bosques de Laminariales. En Luque, A. y J. Templado (Coord.), *Praderas y bosque submarinos de Andalucía*, pp. 183-198. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía.
- García, C.M., F. Echevarría y D. Macías (2008). Acoplamiento entre procesos hidrodinámicos y biológicos en el Estrecho de Gibraltar. En: X. Niell (ed). *Proyecto Andalucía. Serie Ecología*, vol XXIX, pp106-154. Publicaciones Comunitarias. Grupo Hércules, Sevilla
- García-Lafuente, J. (2000). Consideraciones sobre los flujos intercambiados a través del estrecho de Gibraltar. Variaciones estacionales. Pp. 135-148. En: J.J. Alonso y F. Ortega (eds.). *Actas de las II Jornadas de Análisis de Variables y Simulación Física Numérica del Intercambio de Agua a través del Estrecho de Gibraltar*. Universidad de Cádiz.
- García-Lafuente, J. (2008). Oceanografía del Estrecho de Gibraltar. En: X. Niell (ed). *Proyecto Andalucía. Serie Ecología*, vol XXIX, pp 14-40. Publicaciones Comunitarias. Grupo Hércules, Sevilla
- García-Lafuente, J., T. Sarhan, M. Vargas, J.M. Vargas and F. Plaza (1999). Tidal motion and tidally induced fluxes through La Linea submarine canyon, western Alboran Sea. *J. Geophys. Res.* 104, NO. C2, 3109-3119.
- Gascard, J.C. and Richez, C. (1985). Water masses and circulation in the Western Alboran Sea and in the Strait of Gibraltar. *Progress in Oceanography* 15, pp. 157–216.
- Gil de Sola, L. (1993). Las pesquerías demersales del Mar de Alborán. *Informes Técnicos de IEO*, 142, 179 pp.
- Gjerde, K. M. (2001). Current legal development. High Seas Marine Protected Areas. *Int. J. Marine and Coastal Law*, 16: 515-528.
- Gjerde, K.M. y C. Breyde (2003). Towards a strategy for High Seas marine protected areas. *Proceedings of the IUCN-WCPA-WWF Experts Workshop on High Seas Marine Protected Areas*, Málaga, Spain, 181 p.
- Gómez, F., Echevarría, F., García, C., Prieto, L., Ruiz, J., Reul, A., Jiménez-Gómez, F. y Varela, M. (2000). Microplankton distribution in the Strait of Gibraltar: coupling between organisms and hydrodynamic structures. *Journal of Plankton Research*, 22, 603-617.
- Guerrero, F. y V. Rodríguez (1994). Secondary production of a congeneric species assemblage of Acartia (Copepoda Calanoida): A calculation based on the size-frequency distribution. *Scientia Marina*, 58, 161-167.
- Holling, C. S. (1996). Engineering resilience versus ecological resilience. En *Engineering within ecological constraints* (Schulze, P., Ed.) pp. 31-44. Washington: National Academy.
- IMO. (2000–2004). Global Ballast Water Management Project: The Problem. Online. Available <http://globallast.imo.org/>
- IPCC (2007). *Cambio climático 2007: Informe de síntesis*. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo de redacción principal: Pachauri, R.K. y Reisinger, A. (directores de la publicación)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 104 págs.
- Jiménez-Gómez, F., V. Rodríguez y B. Bautista (1994). Trophic interactions in the microbial food webs at a coastal station in the Alboran Sea (Western Mediterranean) in winter.(ii). Size selective flagellate feeding on bacteria and its implication on the microbial loop size-structure. *Scientia Marina*, 58,153-159.
- Laclea, J.M. (2004). *Las fronteras de España en el mar*. DT N° 34/2004, Real Instituto Elcano de Estudios Internacionales y Estratégicos, 28 p.
- Lacombe, H. et P. Tchernia (1972). Caractères hydrologiques et circulation des eaux en Méditerranée. Pp. 25-36. En: D.J. Stanley (ed.). *The Mediterranean Sea: a natural sedimentation laboratory*. Dowden, Hutchinson and Ross.
- Lanoix, F. (1974). Projet Alboran: Étude hydrologique et dynamique de la Mer d’Alboran. *Rapport Technique OTAN*, n° 66, 39 pp + 15 fig.
- Luque, A. y J. Templado (Coord.) (2004). *Praderas y bosque submarinos de Andalucía*, 334 p. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía.

- Macías, D., G. Navarro, F. Echevarría, C. M. García and J. L. Cueto (2007). Phytoplankton pigment distribution in the northwestern Alboran Sea and meteorological forcing: A remote sensing study. *Journal of Marine Research*, 65, 523–543
- May, R. M. (1977). Thresholds and breakpoints in ecosystems with a multiplicity of stable states. *Nature*, 269: 471-477.
- McMahon, G., E. B. Wiken and D. A. Gauthier (2004). Toward a Scientifically Rigorous Basis for Developing Mapped Ecological Regions. *Environmental Management*, 34.
- Michaelis, V. et al. (2002). Microbial reefs in the Black Sea fueled by anaerobic oxidation of methane. *Science*, 297: 1013-1015.
- Millenium Ecosystem Assessment (2003). *Ecosystem and human well-being: A framework for assessment*. Island Press. Washington. D.C.
- Montes, C. (2007). Del desarrollo sostenible a los servicios de los ecosistemas *Ecosistemas* 16 (3): 1-3.
- Montes, C y Sala, O. (2007). La Evaluación de los Ecosistemas del Milenio. Las relaciones entre el funcionamiento de los ecosistemas y el bienestar humano. *Ecosistemas* 16 (3): 137-147.
- Navarro, G and J. Ruiz (2006). Spatial and temporal variability of phytoplankton in the gulf of Cadiz through remote sensing images. *Deep-Sea Research II*, 53, 1241-1260.
- Nezza, F., J. Rodríguez, L. Sbai, M. Otero y A. Jeudy de Grissac, en preparación. *MedRAS: Propuesta de Red representativa de Áreas Marinas Protegidas en el Mar de Alborán*. UICN-Med.
- Orr, J. C. et al. (2005). Anthropogenic ocean acidification over the twenty-first century and its impact on calcifying organisms. *Nature*. 437: 681–686.
- Palanques, A., El Khatab M., Puig P., Masque P., Sánchez-Cabeza J.A., Isla E. (2005). Downward particle fluxes in the Guadiaro submarine canyon depositional system (north-western Alboran Sea), a river flood dominated system. *Marine Geology* 220, 23–40.
- Pauly, D., V. Christensen, J. Dalsgaard, R. Froese and F. Torres (1998). Fishing down marine food webs. *Science*, 279: 860-863.
- Pauly, D., Alder, J. Bennett, E., Christensen, V., Tyedmers, P. y Watson, R. (2003) The Future for Fisheries. *Science*. 302: 1359 – 1361.
- Pérès, J.M. (1967). Les biocénoses benthiques dans le système phytal. *Recueil de Travaux de la Station Marine d'Endoume*, 42 (58).
- Pérès, J.M. y J. Picard (1964). Nouveau Manuel de Bionomie Benthique de la Mer Méditerranée. *Recueil de Travaux de la Station Marine d'Endoume*, 31 (47).
- Raven, J. A. et al. (2005). *Ocean acidification due to increasing atmospheric carbon dioxide*. Royal Society, London, UK.
- Raven, J.A. and P.W. Falkowsky (1999). Oceanic sinks for atmospheric CO₂. *Plant Cell Environment*, 22: 741–755.
- Reul, A., Rodríguez, V., Gómez, F.J., Blanco, J.M., Bautista, B., Sarhan, T., Guerrero, F.J., Ruíz, J., García-Lafuente, J.M. 2005. Variability in the spatio-temporal distribution and size-structure of phytoplankton across an upwelling area in the NW-Alboran sea (w- Mediterranean). *Continental shelf research* 25: 589 - 608.
- Robles, R. et al. (2010). *Conservación y desarrollo sostenible del mar de Alborán*. UICN-Med, 112 p.
- Rodríguez, J. (1982). *Oceanografía del Mar Mediterráneo*. Ediciones Pirámide, Madrid, 174 p.
- Rodríguez, J., C. Montes, F. Molina y H. Castro (2004). *Bases para un Plan Andaluz de Áreas Marinas Protegidas*. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía, 73 p.
- Rodríguez, J. y J. Ruiz (2010). Conservación y protección de ecosistemas marinos: conceptos, herramientas y ejemplos de actuaciones. *Ecosistemas* 19 (2): 5-23.
- Rodríguez, J., A. Reul y M. Muñoz (2010^a). *Aproximación hidrodinámica a la regionalización ecológica del Mar de Alborán*. Informe Técnico, UICN-Med.

- Rodríguez, J., J.M. Blanco y V. Rodríguez (2010b). *Ecología* (2ª edición). Ediciones Pirámide, Madrid, 505 p.
- Ruiz, J. y G. Navarro (2008). El golfo de Cádiz: una ensenada en el Atlántico. En: X. Niell (ed). *Proyecto Andalucía. Serie Ecología*, vol XXIX, pp 82-104. Publicaciones Comunitarias. Grupo Hércules, Sevilla.
- Scheffer, M. et al. (2001). Catastrophic shifts in ecosystems. *Nature*, 413: 591-596.
- Streftaris, N., S.Senetos y E. Papathanassiou (2005). Globalisation in marine ecosystems: the story of non-indigenous marine species across european seas. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*, 2005, 43, 419-453
- Suárez de Vivero, J.L. (2009). *Aguas jurisdiccionales en el Mediterráneo y el mar Negro*. Dirección General de Políticas Interiores, Parlamento Europeo, 142 p.
- Suárez de Vivero, J.L., ed. (2011). *Atlas para la planificación espacial marítima*. <http://www.marineplan.es/es/index.html>
- Tintoré, J., D. Gomis, S. Alonso, and G. Parrilla (1991). Mesoscale Dynamics and Vertical Motion in the Alborán Sea. *J. Phys. Oceanogr.*, 21, 811–823.
- U.E. (2008). *Directiva Marco 2008/56/CE sobre la Estrategia Marina del Parlamento Europeo*.
- UNEP (2006). *Marine and coastal ecosystems and human wellbeing: A synthesis report based on the findings of the Millennium Ecosystem Assessment*. UNEP. 76 p.
- Vargas, M, et al. (2010). *Cambio climático en el Mediterráneo español* (2ª edición actualizada). Instituto Español de Oceanografía, 176 p.
- Venegas, S.A. (2001). Statistical methods for signal detection in climate. *Report #2. Danish Centre for Earth System Science*, Niels Bohr institute for astronomy, physics and geophysics, University of Copenhagen, Denmark, 96 pp.
- WWF/IUCN (2004). *The Mediterranean deep-sea ecosystems: an overview of their diversity, structure, functioning and anthropogenic impacts, with a proposal for conservation*. IUCN, Málaga and WWF, Rome.