

## 4. IMPACTOS SOBRE LOS ECOSISTEMAS MARINOS Y EL SECTOR PESQUERO

**Ricardo Anadón, Carlos M. Duarte y A. Celso Fariña**

*Revisores*

J. L. Acuña Fernández, M. Alcaraz Medrano, X. A. Álvarez Salgado, J. M. Arrontes Junquera, A. Bode Riestra, A. Borja Yerro, C. Fernández González, M. Estrada Miyares, E. M. Fernandez Suárez, S. Fraga Rivas, M. C. Gil Rodríguez, F. Gómez Figueiras, D. Gomís Bosch, A. Guerra Sierra, U. Labarta Fernández, A. Lavín Montero, S. Lens Lourido, M. I. Palomera Laforga, J. Pantoja, G. Parrilla Barrera, C. Pedrós Alio, J. L. Pelegrí Llopar, J. Rodríguez Martínez, E. Saiz Sendrós, J. Salat Umbert, F. Sánchez Delgado, F. Sardá Amills, L. Valdés Santurio, R. Varela Benvenuto, M. Varela Rodríguez

I. Valiela, K. Brander



## RESUMEN

El sistema climático está definido por la interacción entre la atmósfera y el océano, no pudiendo explicarse el cambio climático sin la intervención del océano. A su vez, el océano es alterado por los cambios en los regímenes de vientos, la temperatura, la precipitación o los aportes continentales y la evaporación. Se han detectado incrementos de temperatura en todas las costas españolas, así como cambio en la estacionalidad e intensidad de algunos procesos oceánicos, como los afloramientos. Hay indicios que el cambio del clima oceánico se está acelerando en los últimos años. El cambio climático también afectará a los intercambios de gases de efecto invernadero entre la atmósfera y el océano, y reduciendo la solubilidad del dióxido de carbono.

España presenta una gran variedad de ecosistemas y de especies marinas, que proporcionan recursos (pesca, marisqueo, ocio, cultivo), bienes y servicios. Los ecosistemas están afectados por cambios en las condiciones hidrográficas y ambientales que se derivan del cambio del clima, al igual que los ecosistemas terrestres. El cambio está generando múltiples respuestas directas e indirectas; algunas de estas interaccionan con otros usos humanos (explotación, modificación de costas, etc.), generan incertidumbre sobre la intervención de cada uno de los factores. Los efectos diferirán para ecosistemas de afloramiento o de zonas estratificadas, y de zonas costeras a oceánicas. Se prevé una reducción de la productividad de las aguas españolas, dadas sus características de mares subtropicales o templados cálidos.

Se han detectado cambios en la distribución de las especies, con incremento de especies de aguas templadas y subtropicales. Así mismo, se ha reducido la abundancia de especies boreales. Se conocen cambios en muchos grupos de organismos, desde fitoplancton y zooplancton a peces y algas. Es muy previsible que muchas especies modifiquen su abundancia y distribución en el futuro. Se ha detectado un incremento de especies invasoras, pero no se ha estudiado con precisión el papel del cambio climático en el mismo.

Los cambios en los ecosistemas y en las redes tróficas marinas están afectando a las especies recursos, sobre todo en su fase larvaria y en el reclutamiento. Se reduce la extracción de algunas especies pero se incrementa la de otras especies. No se conoce como será el balance entre pérdidas y beneficios provocado por estos cambios, y no se pueden aislar de los cambios generados por la explotación de las poblaciones.

Los cultivos marinos no subsidiados con alimento pueden verse afectados por la reducción de la productividad marina. Se han apreciado incrementos en la aparición de especies de fitoplancton tóxico o de parásitos de especies cultivadas. Las evidencias apuntan a un incremento de las pérdidas en los cultivos asociadas a la presencia de estas especies, favorecidas por el incremento térmico de las aguas costeras.

Las zonas y sistemas más vulnerables al cambio climático son las comunidades bénticas, constituidas por organismos fijos a un substrato o las especies asociadas. Entre las más afectadas se encontrarán las praderas de fanerógamas.

La gestión de los ecosistemas marinos costeros y de las especies marinas, debe ser considerada desde un punto de vista multiespecífico ecosistémico. Debe favorecerse la búsqueda de soluciones que mitiguen los efectos generados por la actividad humana directa, y el seguimiento a medio o largo plazo de las actuaciones.

Entre las principales necesidades de investigación destaca la consolidación de redes de seguimiento ambiental y ecológico a largo plazo, aprovechando y mejorando las ya existentes. Se deben potenciar las bases de datos accesibles. Se debe potenciar la participación española en programas internacionales. Se deben promover planes de investigación dedicados a conocer los impactos generados por el cambio oceánico en especies y ecosistemas, tanto desde un punto de vista retroactivo como prospectivo.

## 4.1. INTRODUCCIÓN

### 4.1.1. Breve descripción de la extensión y características de las aguas oceánicas de las costas españolas

La costa española, incluyendo los archipiélagos, mide unos 7,880 Km., una cifra apreciable. Está bañada por el Atlántico y el Mediterráneo, océano y mar de muy distintas características. Los márgenes continentales son por lo general estrechos, al igual que lo son sus aguas costeras. Posee una gran diversidad de ambientes, desde condiciones bóreo-atlánticas en la costa gallega, hasta subtropicales en las costas canarias. En todas las costas españolas se detecta un periodo estival de estratificación, siendo su duración variable. Gran parte de la costa atlántica española está afectada por afloramientos, anuales o estacionales, y por la circulación del gran Giro Subtropical y su límite oriental. Esta circulación general está modulada en la costa ibérica por corrientes de dirección variable según la estación del año; es de destacar la corriente asociada al talud continental que recorre el oeste y norte de la península en dirección norte en otoño e invierno. Las costas Mediterráneas están afectadas por corrientes de talud (frías una buena parte del año) y por un prolongado periodo de estratificación. Los diversos procesos (físicos, químicos y biológicos) que tiene lugar en su intercambio entre el Atlántico y el Mediterráneo, y su influencia sobre las características hidrológicas del océano han hecho de Gibraltar paradigma de los estrechos. A estos intercambios se asocian procesos de afloramiento en el sur de la Península.

### 4.1.2. Estado de los recursos explotados: Importancia en el PIB nacional

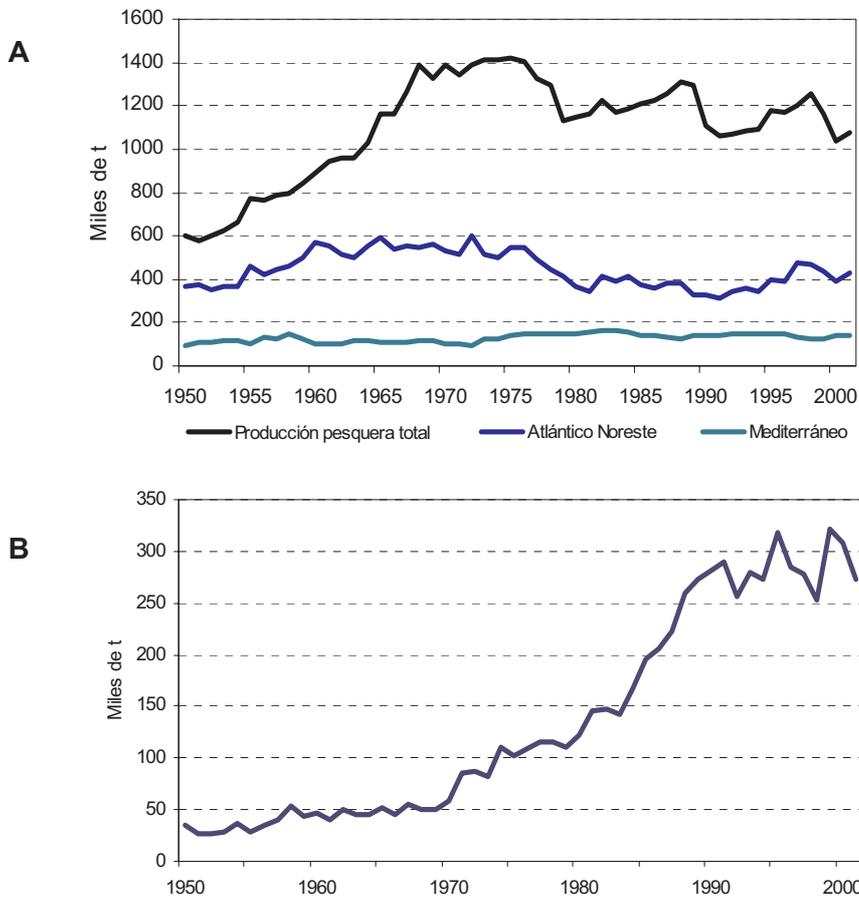
La participación del sector pesquero en la actividad económica de España es muy parecida a la media de la UE, y se sitúa alrededor del 1% del PIB. Su importancia es mayor en las regiones del noroeste y norte de España, sin olvidar otras regiones, especialmente Andalucía y Canarias.

La economía de algunas regiones depende en gran parte de la actividad pesquera (representa el 10% del PIB en la comunidad Gallega), la cual tiene un alto valor estratégico para el desarrollo de dichos territorios. Alrededor del sector primario extractivo se genera con efecto multiplicador un conglomerado de actividades complementarias relacionadas (comercialización, transformación, construcción naval, transferencia de tecnología, industria auxiliar y servicios) que configuran un conjunto económico y social inseparable. El sector pesquero es, en aquellas zonas donde está implantado, una actividad tradicional, de la que deriva una valiosa fuente de recursos alimentarios, posibilita transferencias tecnológicas e impulsa una concentración geográfica de relaciones y actividades intersectoriales. Por estas razones hay que considerar que la pesca y los cultivos marinos son de gran importancia para muchas zonas costeras, dado que el empleo está asociado con la captura y transformación de este recurso, independientemente de la cantidad capturada o de la eficiencia del proceso, sobre todo en el caso de pesquerías artesanales.

El sector pesquero español está constituido por una diversidad de flotas que actúan en caladeros nacionales del Atlántico y Mediterráneo, en pesquerías de media distancia (por ejemplo, aguas de Escocia e Irlanda, Gran Sol, Golfo de Vizcaya, Noroeste de África) y en áreas lejanas (Terranova, Malvinas, Golfo de Guinea, etc.). Las flotas artesanales explotan recursos cercanos a la costa.

La producción española total de recursos marinos extractivos presenta una tendencia sostenida de ligero descenso desde de 1970 (1,4 millones t) hasta el 2002 (1,1 millones t) según los datos estadísticos de la FAO (Figura 4.1A). La pesca española en el Mediterráneo, se halla estabilizada por encima de las 100.000 t. La producción pesquera de grandes pelágicos

oceánicos (atunes y peces espada) aumentó notoriamente desde 1970 hasta 1990 y desde entonces se mantiene relativamente estable (Figura 4.1B).



**Fig. 4.1.** A: Producción pesquera marina (peces, moluscos y crustáceos) de España: total, en el Atlántico Noreste y en el Mediterráneo 1950-2001. B: Capturas españolas totales de pelágicos oceánicos (túnicos y peces espada) 1950-2001. (Fuente: estadísticas de la FAO).

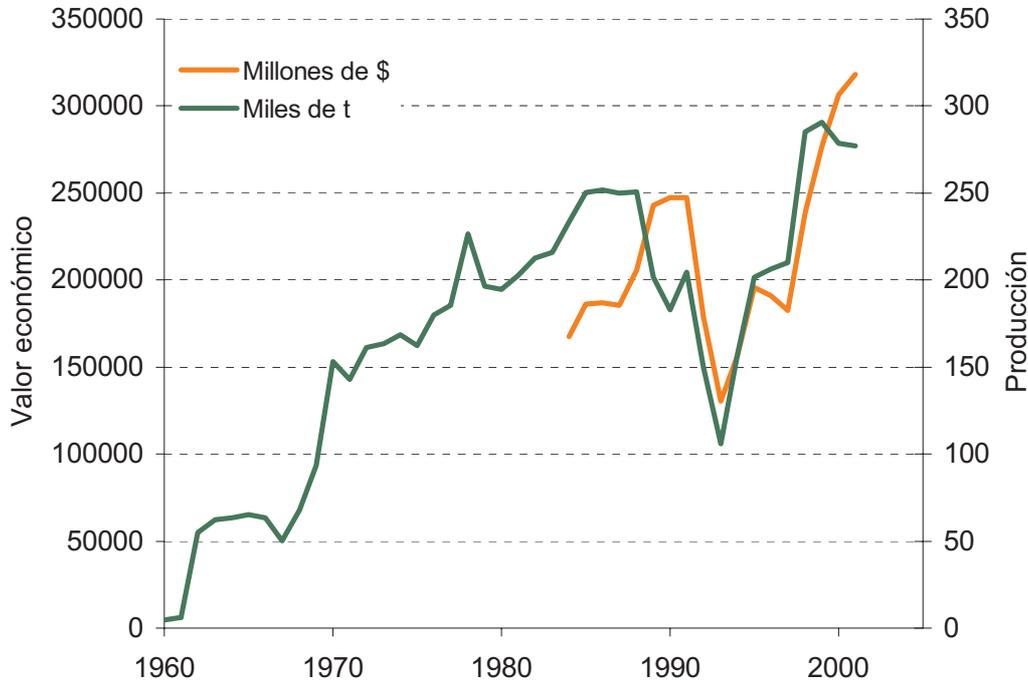
Aproximadamente un tercio de la producción pesquera española se realiza en el Atlántico Noreste, y en la actualidad la contribución de los grupos de especies pelágicas y de fondo es muy similar (Fig. 4.2).

Los caladeros del margen ibérico atlántico presentan una situación de fuerte explotación y las capturas españolas de las principales especies pelágicas y de fondo en esta zona, muestran en general una tendencia a la baja más acusada en especies de fondo (merluza, rapas, gallos y cigala), pero se están incrementando la captura de otras como la caballa, aunque no en la misma cuantía.

Además de la pesca, en el Atlántico Noreste se extraen otros productos marinos, como algas, crustáceos y moluscos. La evolución de su extracción presenta una reducción desde la década de los 70 según los datos estadísticos de la FAO (Figura 4.2). En los últimos años parece producirse un ligero incremento de la extracción de algas y moluscos, aunque las estadísticas pueden no ser muy fiables.

La producción marina española de acuicultura (Figura 4.2) fue de 320.000 t en 2003. Gran parte de esta producción (aproximadamente las tres cuartas partes) corresponde al cultivo del

mejillón en las rías de Galicia (Labarta 2000). La producción de cultivo de peces marinos (dorada, lubina, rodaballo, atunes) representa un 6%, con un incremento importante en los últimos años, y la de otros moluscos (almeja, berberecho, etc.) un 4%, estancada en los últimos años (Labarta 2000).



**Fig. 4.2.** Producción española de acuicultura marina y valor económico. (Fuente: estadística de la FA) y JACUMAR).

Otra serie de recursos, del que el principal exponente es el turismo costero, en el que se debe incluir la pesca deportiva, el buceo, la navegación, son recursos importantes, aunque sean analizados en otros capítulos.

#### 4.1.3. Biodiversidad marina y protección

La gran longitud de la costa española, y que estas sean bañadas por diversos mares en un rango latitudinal muy amplio, Golfo de Vizcaya, Atlántico Ibérico, Mediterráneo y las Islas Atlánticas, motiva que exista una gran diversidad de ambientes, costas con mayor o menor flujo de marea, zonas de afloramiento (Canarias, Golfo de Cádiz, costa de Málaga, Galicia y Golfo de Vizcaya), corrientes costeras (costa mediterránea y atlántica), zonas de gran intercambio con estructuras asociadas (giros en el entorno del estrecho de Gibraltar; filamentos en la costa Canaria), áreas subtropicales muy estratificadas (extremo oeste de Canarias), lo que implica situaciones biogeográficas muy contrastadas. A esto se añade la presencia de comunidades con una gran riqueza específica, y la presencia de ambientes muy específicos, como cañones submarinos. En resumen, reúne todas las características para afirmar que es un país con una elevada biodiversidad en el medio marino, y con una gran potencialidad en los recursos. Dentro de los ecosistemas marinos con un gran valor como reservorio de biodiversidad y protegidas por la ley, en algunas regiones españolas, destacan los estuarios y marismas y las praderas de angiospermas marinas (*Posidonia oceanica* en el Mediterráneo; *Cymodocea nodosa*, *Zostera noltii* y *Halophila decipiens* en las aguas de Canarias; *Zostera marina* y *Zostera noltii* en el

Atlántico Ibérico, y los campos de algas en las zonas intermareales y submareales de las costas rocosas del Atlántico y del Mediterráneo. La zona costera es también rica en aves, algunas de cuyas poblaciones se hallan en peligro; también existen especies de mamíferos marinos que la frecuentan, la mayoría de ellos protegidos, y tortugas marinas.

Al contrario que en el ambiente terrestre, la red de espacios protegidos marinos ha sido muy escasa hasta tiempos recientes. Según datos del WWF en el año 1999, la red de áreas Marinas Protegidas (MPA) constaba de 38 espacios, de los que sólo 13 pueden considerarse plenamente marinos, mientras el resto protegen zonas terrestres y costeras. Un capítulo aparte lo merece la reciente creación del Parque Nacional de las Islas Atlánticas. También lo es la inclusión de las praderas de *P. oceanica* entre las islas de Ibiza y Formentera como Patrimonio de la Humanidad. Además, existen 18 reservas Marinas de interés pesquero gestionadas por el Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación, por las Comunidades Autónomas respectivas o bien con gestión mixta (<http://www.mapa.es/>). La reciente implementación de la Red Natura 2000 ha llevado a un gran aumento de las áreas costeras protegidas, particularmente en las comunidades de la cuenca Mediterránea y Canarias. Así, por ejemplo, Canarias tiene 22 LICs exclusivamente marinos y 3 terrestres-marinos. En total en el archipiélago hay 172.215,9 ha de LICs marinos (Red Canaria de Espacios Protegidos 1995; Natura 2000, Gobierno de Canarias 2000). Sin embargo, todas las zonas marinas conservadas se sitúan en la zona costera y no existen reservas en mar abierto o sobre la plataforma en las aguas del área económica exclusiva española. El diseño de las áreas protegidas tampoco ha sido homogéneo en su desarrollo territorial, ni los criterios utilizados han sido consensuados entre las distintas autonomías, por lo que dejan algunas sombras sobre su complementariedad y optimización.

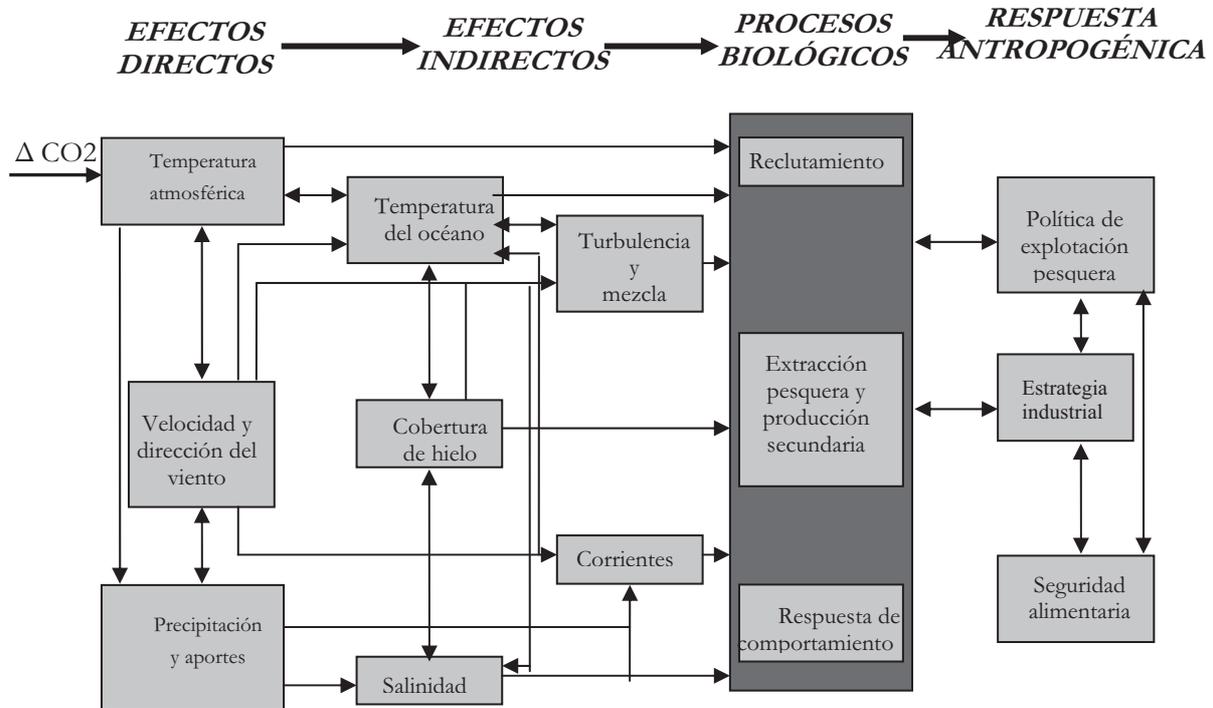
Existen medidas de protección específicamente relacionadas con la pesca, como áreas reserva, épocas y zonas de veda, tallas mínimas, restricciones en el uso de ciertas artes de pesca y cuotas de pesca de diversas especies (europeas, nacionales o autonómicas). Estas medidas están dirigidas al uso sostenible de los recursos, más que a una conservación estricta de los ecosistemas. En todo caso, se considera a la explotación y la conservación como un binomio que debe desarrollarse de forma conjunta para mantener la sostenibilidad del uso. Las medidas de protección, en el caso de especies migradoras (p.e. atunes, cetáceos o tortugas marinas), deberían englobar a todas las áreas geográficas de su distribución, al igual que sucede con las especies migradoras terrestres. La cooperación o la regulación internacional debe ser un requisito a potenciar.

#### **4.2. SENSIBILIDAD AL CLIMA ACTUAL**

El océano afecta al clima y éste, a su vez, afecta a las características y dinámica del océano. Las variaciones y el cambio climáticos pueden tener efectos directos sobre el océano, al variar los flujos de energía y gases con la atmósfera, la cantidad de calor y sales que transporta (temperatura y densidad), la formación y extensión de hielos marinos, y por todo ello a la circulación. Por modificaciones en las pautas de evaporación y precipitación, o de acumulación-deshielo en los campos de hielo continental también se ve afectado su nivel. Todos estos eventos pueden provocar cambios en la circulación termohalina del océano (Broecker 1997, Broecker *et al.* 1999), por lo que reducirá al transporte de calor entre el Ecuador y los polos. Esta situación podría provocar cambios climáticos muy rápidos. También pueden tener un efecto indirecto sobre los organismos y ecosistemas marinos (Fig. 4.3).

Un segundo efecto indirecto puede derivarse de cambios en la disposición de altas y bajas presiones atmosféricas y en la intensidad de los vientos. Esta situación generará cambios en las corrientes marinas, su distribución y estacionalidad, y también del oleaje. Los cambios en las condiciones hidrodinámicas tendrán un efecto directo sobre los ecosistemas y la biodiversidad marina, ya que se modificará la distribución de la temperatura y los nutrientes en

las capas superiores del océano, la producción primaria marina, y en definitiva la red trófica marina, entre los que se encuentran nuestros principales recursos, los peces, los moluscos y los crustáceos. Los cambios en la disposición de estructuras de mesoescala pueden influenciar la supervivencia de los estadios larvarios de múltiples especies, generando cambios en las poblaciones de especies explotadas. Un ejemplo de los efectos de las estructuras de mesoescala se puede ver en González-Quirós *et al.* (2004).



**Fig. 4.3.** Vías principales por las que el cambio climático puede afectar a las poblaciones marinas y su explotación, y que son objetivos core del programa GLOBEC del IGBP (GLOBEC 2003).

Sobre las modificaciones que puede generar el cambio climático hay que añadir los cambios derivados de la actividad humana directa, como explotación de las poblaciones de múltiples especies, que deberían englobarse en un término de orden superior, el Cambio Global. Sin información consistente será difícil delimitar los efectos de una u otra causa.

### 4.3. IMPACTOS PREVISIBLES DEL CAMBIO CLIMÁTICO

#### 4.3.1. Impacto sobre la productividad

El análisis de las respuestas ecofisiológicas de las microalgas marinas, su capacidad fotosintética o su crecimiento, a los cambios en el océano asociados al incremento de CO<sub>2</sub> y al Calentamiento Global no arroja información clara sobre las mismas (Beardall y Raven 2004). Sin embargo, el conjunto de consecuencias de tales efectos en la naturaleza probablemente reflejen las interacciones complejas que pueden ocurrir entre los elementos del cambio climático y otros factores asociados, como la disponibilidad de nutrientes. El previsible incremento del periodo de estratificación (Richardson y Schoeman 2004), o el cambio en procesos de mesoescala (afloramientos, frentes, corrientes costeras) pueden modificar de manera significativa la capacidad productiva del océano, disminuyendo o incrementando la

producción primaria. Este efecto podría extenderse a la producción de ecosistemas costeros, comunidades de macroalgas o de praderas de fanerógamas, aunque pueden generarse procesos en sentido opuesto. Un aumento en la presión parcial de CO<sub>2</sub> en la atmósfera y en las aguas superficiales podría derivar en un aumento de la productividad de las praderas de fanerógamas o comunidades de macroalgas marinas, al estar limitadas por la disponibilidad de CO<sub>2</sub>.

El cambio en la productividad marina afectaría directamente a la disponibilidad de alimento para los consumidores y secundariamente a toda la red trófica marina. Algunos cultivos extensivos de organismos filtradores, mejillón, almeja, podrían encontrarse entre los afectados; también estarían afectados otros organismos de gran interés económico como el percebe. Si se produjera como resultado del cambio climático un cambio en la intensidad y frecuencia del oleaje se podrían ver afectadas a poblaciones de la zona intermareal, algunas de las cuales puede tener interés comercial (Borja *et al.* 2004).

#### **4.3.2. Impacto sobre la distribución de las especies**

Asociado a los cambios en las propiedades termohalinas en el océano, y a los cambios en otros procesos asociados, es esperable el cambio de distribución de muchas especies, tanto de especies pelágicas como bentónicas. El incremento de la temperatura tendrá un efecto directo, el desplazamiento de los límites geográficos de muchas especies (Southward y Boalch 1994, Southward *et al.* 1995, Alcock 2003). La velocidad del cambio podría acelerarse o retardarse de acuerdo al efecto que sobre las corrientes o la estacionalidad tengan los cambios en la atmósfera. No todos los cambios serán negativos, como por ejemplo la reducción de la producción de las especies, ni se darán en todos los lugares de la costa. Son posibles incrementos de algunas especies, aunque no exista un análisis de las tendencias que serían esperables de acuerdo a los modelos de cambio climático.

Este desplazamiento afectará a la mayoría de los grupos de organismos, tanto vegetales como animales, generando la aparición de especies de origen meridional, o la desaparición de especies de origen septentrional. Como efecto asociado, no se puede descartar la existencia de interacciones entre las nuevas y las antiguas especies, relaciones biológicas, que generen efectos indirectos no dependientes directamente del cambio ambiental. Entre las especies que pueden verse afectadas se encuentran especies anadromas (reproducción en el río y crecimiento en el mar), salmón y esturión o catadromas (reproducción en el mar y crecimiento en el río) anguila. Previsiblemente, también se producirán cambios en la distribución geográfica de especies costeras explotadas, o asociado al cambio en la distribución modificaciones en la abundancia de sus poblaciones.

#### **4.3.3. Impacto sobre las poblaciones de peces. Reclutamiento y distribución**

En el ciclo de vida de las especies marinas explotadas el reclutamiento es un proceso clave, que está influenciado directamente por la variabilidad climática. Variaciones en la circulación atmosférica repercuten en las corrientes marinas y éstas pueden modificar el transporte y supervivencia de los estadios larvarios y juveniles. A mayor escala pueden introducir cambios en la cadena trófica. Indirectamente, los cambios climáticos también afectan a los sistemas marinos. La producción marina, primaria y secundaria, puede verse afectada y con ello los alimentos disponibles para las larvas de peces, lo que determinará el grado de éxito del reclutamiento, y a medio plazo el tamaño de las poblaciones (GLOBEC 2003, ICES 2003). Entre los cambios se han descrito reorganizaciones en los regímenes de circulación (shift), a veces muy rápidos (Hare y Mantua 2002, Chavez *et al.* 2003). Que generan cambios en la comunidad pelágica, e incluso en la bentónica. Como ejemplo, Chavez *et al.* (2003) los denominan régimen de sardina y régimen de anchoa.

Otro tipo de cambios se relaciona con modificaciones de baja frecuencia, como la Oscilación del Atlántico Norte (índice NAO). Se han descrito impactos en el crecimiento y reclutamiento de poblaciones comerciales de peces pelágicos y de fondo en el Atlántico Noreste (Drinkwater *et al.* 2003). Se ha indicado que la variación climática (representada por fases positivas y negativas del índice NAO) gobierna la alternancia de períodos de alta y baja abundancia de arenque y sardina en el Noreste Atlántico. El índice NAO positivo se ha incrementado en las últimas décadas, por lo que parece probable que existan cambios asociados en el futuro. Asociado a la NAO se encuentran los descargas fluviales que presentan relación con el reclutamiento de especies en el Mediterráneo (Lloret *et al.* 2001, Lloret y Leonart 2002). También los sistemas de afloramiento, en los que la producción de peces pelágicos está controlada por procesos de enriquecimiento de nutrientes, concentración de alimentos y retención larvaria (Bakun 1996).

También se pueden producir cambios en las especies como respuesta fisiológica a los cambios térmicos o salinos. Como ejemplo, se han sugerido cambios probables en el límite de distribución de especies de peces anadromos, dado que el cambio térmico puede influir en la síntesis proteica.

Indirectamente, se pueden ver alterados los patrones de migración y distribución espacial de ciertos peces pelágicos oceánicos (atún rojo, atún blanco entre otros muchos) mediante cambios inducidos en la distribución y abundancia de presas. La pesquería española de atún blanco en el Atlántico es estacional y se desarrolla durante la migración de alimentación que esta especie realiza desde aguas de Madeira y Azores hasta el oeste europeo y Golfo de Vizcaya. El avance del frente de migración está relacionado con el aumento gradual de la temperatura superficial. Modificaciones sustanciales en la distribución estacional de las isotermas, podrían afectar las rutas migratorias y secundariamente la pesquería en el Golfo de Vizcaya. Por el contrario, es posible la presencia de especies de origen subtropical en aguas de la Península Ibérica (en Canarias ya estaban presentes). Algunas de estas especies son objeto de pesca deportiva, por lo que pueden afectar indirectamente al turismo de costa.

Aunque está menos estudiado, muchos de los efectos citados pueden afectar a poblaciones de especies demersales o bentónicas, en incluso a poblaciones de aguas muy profundas, como las poblaciones típicas de cañones. El transporte de materiales desde las capas productivas del océano hasta zonas profundas puede ser muy rápido. Sin embargo, el efecto indirecto que el cambio climático puede generar sobre las poblaciones demersales explotadas no está bien explorado.

#### 4.3.4. Impacto sobre los cultivos marinos

Los cambios predecibles sobre la productividad marina son inciertos. Aun reconociendo la existencia de cambios de productividad del fitoplancton asociados a modificaciones hidrográficas (Richardson y Schoeman 2004), las predicciones sobre su efecto sobre los cultivos marinos posee bastantes incertidumbres. Los cultivos de especies que aporten suplementos de alimento deberán verse poco afectadas, puesto que modificaciones en la ración serían suficientes para compensar cambios en la productividad. Otra cuestión es si el cambio ambiental supera los límites fisiológicos de las especies (oxígeno disuelto, temperatura, salinidad), en cuyo caso pueden producirse severos daños. Las especies que se cultivan sin suplemento alimentario y de una manera extensiva pueden verse afectadas. En este caso se encontrarían los moluscos: mejillón, almejas, ostras y vieiras en las Rías Gallegas, el delta del Ebro y otros lugares de la costa.

Un efecto potencial sobre los cultivos lo pueden tener eventos climáticos extremos. La existencia de aportes de agua dulce intensos y continuados en zonas confinadas, las Rías

Gallegas por ejemplo, puede producir descensos de salinidad, y provocar mortalidades masivas de organismos del bentos, incluidos los moluscos de parques de fondo o de mejilloneras.

Efectos potencialmente graves en los ecosistemas costeros, que pueden ir asociados a la modificación de las condiciones hidrográficas, pero también al incremento del vertido de nutrientes por las aguas continentales, son las proliferaciones de algas tóxicas. Entre estos efectos deben tenerse en cuenta cambios en la estequiometría de los nutrientes disueltos, pues un aumento en la relación N/Si favorece la proliferación de dinoflagelados sobre diatomeas y una disminución en N/P aumenta la toxicidad de algunas especies. El efecto de estas proliferaciones puede afectar a algunos sectores como la acuicultura de moluscos, y también tener consecuencias sobre la salud humana.

El aumento de parásitos en cultivos de almeja y ostra puede ser otra consecuencia importante del cambio climático sobre los cultivos marinos. La reciente detección del parásito de almejas y ostras *Perkinsus* en las costas gallegas, posiblemente introducido por el cultivo de almeja y ostra japonesas, se ve favorecida por temperaturas superiores a los 20 °C. Incrementos térmico estacionales podrían facilitar su expansión y los daños provocados por estos parásitos.

#### **4.4. ZONAS MÁS VULNERABLES**

##### **4.4.1. Vulnerabilidad y Sensibilidad de los ecosistemas marinos y la pesca (especies y alternativas).**

La vulnerabilidad de los ecosistemas marinos a los múltiples cambios simultáneos que se derivan del cambio climático son grandes, afectando sobre todo a los ecosistemas costeros o someros. El aumento del nivel del mar puede hacer vulnerables a las comunidades de fanerógamas marinas que viven enraizadas en los fondos situados entre 0.5 m y 45 m de profundidad, causando erosión submarina y pérdidas o aumentos de hábitat según los casos.

Los cambios en la temperatura del agua de mar pueden hacer vulnerables a muchas especies cuyos límites térmicos provocan, como ya se ha comentado, cambios en los rangos biogeográficos de las especies, con una tendencia a la proliferación de especies subtropicales y convirtiendo en vulnerables a especies septentrionales de nuestras costas. Estos cambios en la distribución de especies afectan no sólo a la aparición de especies de afinidad subtropical, sino también a un incremento del riesgo de invasión por especies exóticas de origen subtropical introducidas de forma accidental. Sirva de ejemplo la presencia, en Canarias, de la especie australiana *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea* (Verlaque *et al.* 2003). Además, la temperatura del agua de mar afecta a los ciclos de vida de las especies presentes en nuestra costa, y sobre todo, a la intensidad y estacionalidad de la reproducción sexual. Las variaciones en el reclutamiento que se deriven de estos cambios generarán cambios en los balances demográficos de las especies implicadas, originando modificaciones en la composición de las comunidades. Otra causa de vulnerabilidad para muchas especies o ecosistemas es el incremento del gasto respiratorio, sensible al aumento de la temperatura, que conducirá a un incremento del consumo de oxígeno, y de producción de CO<sub>2</sub> en los ecosistemas marinos, y particularmente en la actividad microbiana.

El aumento sostenido de la presión parcial de CO<sub>2</sub> al ajustarse con la presión parcial creciente en la atmósfera, está causando una acidificación del agua de mar, reflejada en una disminución detectable del pH del agua de mar (Caldeira y Wickett 2003). Se prevé que esta disminución será suficiente, dentro de los próximos 50 años, como para reducir de forma sensible, incluso detener, la deposición de carbonatos en organismos con esqueletos o conchas calcificadas, como moluscos bivalvos, corales formadores de arrecifes, cocolitofóridos entre otros. Este hecho los convierte en vulnerables. A más largo plazo, para las concentraciones de CO<sub>2</sub> esperadas a finales del siglo XXI, la disminución del pH será suficientemente intensa como

para iniciar la disolución de carbonatos en las aguas costera lo que afectaría a la absorción de CO<sub>2</sub> por el océano.

Las variaciones en los patrones de corrientes y circulación oceánica derivados de los cambios en la distribución de masas de aguas y régimen de vientos generados por el cambio climático afectan, sin duda, al reclutamiento de todas las especies que dependen de estas corrientes para situar sus propágulos en zonas favorables al crecimiento y supervivencia de los reclutas. La vulnerabilidad que estos efectos provocaran en el reclutamiento son difíciles de predecir, ya que los patrones de corrientes resultantes del cambio climático están sujetos a fuertes incertidumbres, particularmente a escala local.

Las presiones derivadas del cambio climático no tienen lugar de forma aislada respecto a la presión directa de la actividad humana sobre los ecosistemas. Las respuestas de los ecosistemas y los organismos a estas presiones simultáneas no son necesariamente acumulativas, pudiéndose desencadenar respuestas sinérgicas que magnifican los efectos del cambio climático en relación a los que tendrían lugar en ecosistemas no sometidos a presiones adicionales. Por todo ello, la predicción de las consecuencias del cambio climático sobre los ecosistemas marinos no se puede derivar de forma directa como la suma de las respuestas de cada una de las dimensiones del cambio climático.

Las presiones adicionales que concurren con las generadas directamente por el cambio climático en nuestro país son (1) el incremento de vertidos de nutrientes y materia orgánica a la costa, (2) la depauperación de los stocks pesqueros, (3) la degradación de los fondos marinos por las actividades de arrastre y fondeo de embarcaciones, (4) la destrucción y afeción del hábitat por la urbanización de la zona costera y proliferación de estructuras y construcciones sobre la línea de costa, y (5) el aumento del riesgo de episodios contaminantes asociados al incremento del transporte marino derivado de la globalización de la economía.

Los ecosistemas más vulnerables son, por tanto, aquéllos donde concurren todas estas presiones, y, dentro de éstos, los que están conformados por organismos más longevos y de crecimiento más lento, como son los corales rojos del Mediterráneo y los corales negros de Canarias; los campos de algas de cierta profundidad, marismas y praderas de *Posidonia oceánica* del Mediterráneo, las praderas de *Cymodocea nodosa* y poblaciones de *Zostera noltii* de Canarias, y las praderas de *Z. noltii* y *Z. marina* de la costa atlántica Ibérica, y las praderas de algas pardas del conjunto de las costas españolas.

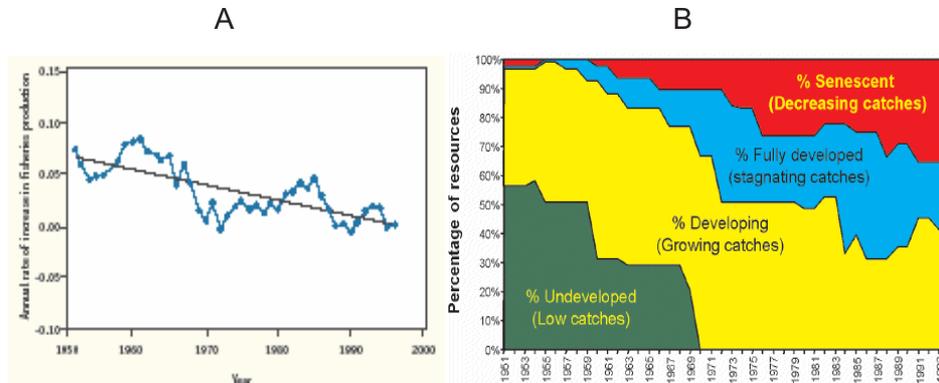
Resulta particularmente complicado definir que especies serán las más vulnerables. Se pueden aplicar criterios generales como longitud del ciclo de vida, especies ligados a ecosistemas vulnerables, especies especialistas, pero el grado de indefinición respecto a las modificaciones generadas por el cambio climático siempre serán grandes.

#### **4.4.2. Análisis de la vulnerabilidad de las pesquerías costeras y lejanas**

Un aspecto que no puede olvidarse en las pesquerías es que parte de la reducción de las capturas observadas pueden ser debidos a sobreexplotación, y que por ello deben considerarse dentro de un marco superior, el Cambio Global. Pero no se puede descartar una interacción entre el incremento de la capacidad extractiva y modificaciones en el medio generados por el cambio climático que influyan sobre la vida de especies objeto de explotación (Francis y Sibley 1991). Sin tener datos definitivos, es posible que la pérdida de algunos caladeros tradicionales tengan este origen.

A excepción de las especies con capturas muy fluctuantes (anchoveta, jurel chileno, sardina americana y japonesa, y abadejo de Alaska), existe desde 1980 una sobrepesca global de la

mayoría de las especies comerciales. Se estima que se precisarán elevados subsidios para mantener la flota pesquera mundial que opera con una sobrecapacidad de 30-50%. El estado actual de las pesquerías muestra una capacidad de incremento muy limitada (fig. 4.4A), dado que la mayor parte de los stocks mundiales se encuentra a su máxima



**Fig. 4.4.** Tendencias Globales en las pesquerías mundiales, A: Tasa anual de incremento de la producción pesquera. B: Proporción de stocks que están explotados a su máxima capacidad o sobre explotados (FAO 2000).

capacidad de explotación (FAO 2000) (fig 4.4B). Sin embargo es evidente la sobreexplotación de algunos recursos, como es el caso de los peces predadores en todo el mundo (Myers y Worm 2003), incluido el Atlántico templado y tropical.

La sobrepesca de adultos puede provocar cambios evolutivos en la edad de maduración, y esto secundariamente al hundimiento de los stocks (Olsen *et al.* 2004). En todo caso, la interacción entre sobrepesca de adultos, cambios evolutivos y cambios en el reclutamiento generado por modificaciones en circulación de mesoescala pueden provocar el colapso de las poblaciones de especies actualmente explotadas, o producir beneficios para otras especies. Se puede especular que serán las especies de ciclo de vida largo y baja tasa reproductiva, es decir baja tasa de crecimiento poblacional las que pueden verse más afectadas. En este caso se encontrarían los tiburones, pero también pueden encontrarse en la misma situación los túnidos. Los efectos del cambio climático sobre el reclutamiento, ya mencionados, puede ser una causa del declive de algunas especies o sobre su accesibilidad en los lugares tradicionales (Beare *et al.* 2004).

#### 4.4.3. Análisis de la vulnerabilidad de organismos clave en el medio marino

Las especies clave son aquellas que organizan o estructuran los ecosistemas. Las especies arquitectas que por su morfología o desarrollo crean ambientes nuevos que pueden ser utilizados por otras especies, o las especies que por sus relaciones interespecificas tienen la capacidad de alterar las redes tróficas en las que se engloban, se encontrarían entre ellas.

Las especies de fanerógamas marinas, que constituyen praderas, son uno de los casos significativos de especies clave en las costas españolas. El papel que desempeñan se extiende desde la fijación de sedimentos y la protección del litoral frente al oleaje y los temporales a la provisión de hábitat para sustentar el reclutamiento de un gran número de especies de vertebrados e invertebrados. Las praderas de fanerógamas marinas están sufriendo un declive acusado en el litoral español y en todo el mundo; la tasa de pérdida global es del 2 % anual. El ritmo de pérdida de las praderas de *P. oceanica* en el Mediterráneo es aún mayor, con una tasa promedio de pérdida cercana al 10 % anual en la costa de la Península, y algo inferior (3%

anual) en las costas de las islas Baleares. La pradera de *Zostera noltii* localizadas en las islas Canarias también se encuentra en regresión. A mediados de la década de los noventa la pradera quedó restringida a escasos ejemplares, estando incluida en el Catálogo de especies amenazadas de Canarias (BOCA 23 julio 1991, Decreto 151/2001) con la categoría de “En peligro de Extinción”.

Esta pérdida de superficie refleja aspectos derivados del cambio climático, como la tendencia generalizada a la erosión submarina que se deriva del incremento del nivel del mar, y que descalza los rizomas de estas plantas, aumentando su vulnerabilidad a temporales y oleaje intenso. La degradación de praderas de *P. oceanica* también se ha asociado a la proliferación de especies de macroalgas invasoras de origen subtropical *Caulerpa taxifolia*, introducida accidentalmente en el Mediterráneo, y *Caulerpa racemosa*, introducida a través del Canal de Suez que ya alcanzó las costas de Baleares hace algunos años, y recientemente ha sido localizada en Canarias (Verlaque *et al.* 2003), donde está asociada a las praderas de *Cymodocea nodosa*, taxón con categoría de “Sensible a la alteración de su hábitat” y *Halophila decipiens*, con categoría de “interés especial”, Catálogo de especies amenazadas de Canarias. Aunque la introducción de estas especies no se puede considerar derivada del cambio climático, se ha propuesto que el aumento de temperatura del mar puede, al tratarse de especies de origen subtropical, favorecer su capacidad de excluir a la flora autóctona, particularmente las praderas de *P. oceanica* (Mediterráneo) y *C. nodosa* y *H. decipiens* (Canarias).

Sin embargo, debe hacerse notar que en la pérdida de la superficie de estos ecosistemas intervienen otras causas relacionadas con la actividad humana: deterioro de la calidad del agua debido al aumento de los vertidos desde tierra, proliferación de construcciones en la línea de costa que inducen la erosión submarina, e impactos directos por anclas y artes de arrastre.

Mientras que el tiempo de recolonización de las praderas de las especies de angiospermas marinas del Atlántico es de aproximadamente una década, la recuperación de las praderas de *Z. noltii* y *P. oceanica*, fanerógamas marinas de crecimiento más lento, conlleva períodos de tiempo estimados en varios siglos, por lo que se han de considerar como irreversibles a fines de gestión de los ecosistemas costeros. La pérdida de *P. oceanica* praderas conlleva la pérdida de las especies que alberga, alguna protegida como la nacra (*Pinna nobilis*), un bivalvo que alcanza hasta 1 m de longitud en el Mediterráneo o en las praderas canarias de *Z. noltii*, especies de fauna protegida que encuentran su hábitat en estas praderas.

Aunque se desconoce el efecto a largo plazo del cambio climático sobre *P. oceanica*, algunos datos recientes permiten suponer que no existan mecanismos que permitan reducir a corto plazo las fuertes pérdidas que está experimentando. Existen evidencias recientes de cambios en su floración y la producción de frutos y semillas. La recopilación y reconstrucción de la floración de *P.* entre la dos episodios de aumento de la floración en dos años con elevadas temperaturas en el Mar Mediterráneo: en el año 2001, tras un verano en el que se alcanzaron temperaturas del agua de mar por encima de lo normal, que no llegó a culminar en producción de semillas, y en el año 2003, en el que se registraron las temperaturas máximas más elevadas en el agua superficial, que dio lugar a una producción y liberación masiva de frutos y semillas que están arraigando en el fondo marino en el verano de 2004. Si se extrapola esta relación para estimar el efecto del calentamiento de entre 1 y 4 °C esperado hacia el año 2050 indica que la prevalencia de la floración debe aumentar entre un 10% y un 40%. Este aumento de la reproducción sexual podría mejorar la capacidad de recolonización de la especie, aunque nunca sería suficiente para compensar las pérdidas.

Otras comunidades de macrófitos marinos se encuentran también en regresión, aunque el papel que pueda jugar el clima en esta regresión no está claramente establecido; tal es el caso

de praderas del alga parda del género *Cystoseira* en Canarias, como se ha puesto de manifiesto de manera reiterada en informes y proyectos.<sup>1</sup>

#### 4.5. PRINCIPALES OPCIONES ADAPTATIVAS

##### 4.5.1. Alternativas en especies explotadas, en estructuras pesqueras, explotación de especies de otras áreas, compensación con precio del producto, Estrategias de actuación en pesquerías

La capacidad de carga de los distintos stocks podrá ir modificándose paulatinamente conforme se produzcan cambios en los ecosistemas. Modificaciones (aumentos o reducciones en la tasa de reproducción) van a implicar estrategias adaptativas de explotación. La modificación en la tasa de reproducción determinará modificaciones en la biomasa de los stocks a las que tendrán que ajustarse el esfuerzo de pesca. Esto se complica en el caso de pesquerías multiespecies y multiartes como las de la Región Ibérica Atlántica y Canarias. Sin embargo, no se han realizado simulaciones de posibles escenarios. Si por efecto del cambio climático el tamaño de un stock decrece con el tiempo, las capturas totales anuales disminuirán y la tendencia será que la pesquería disminuya a largo plazo.

Los problemas derivados de una reducción de los stocks pueden quedar enmascarados por un aumento de los precios y beneficios de los pescadores. Económicamente y a largo plazo, los cambios pueden ser marginales. Si el sector pesquero busca el máximo rendimiento económico, los artes que explotan las clases de edad más viejas (peces de mayor tamaño, más rentables) podrían desplazar o eliminar la actividad de otras artes dirigidas a tamaños más reducidos. Otros posibles casos que podrían suceder son una reducción drástica de la capacidad de carga y colapso de los stocks que provocarían una reducción significativa de la actividad pesquera, que los cambios en la capacidad reproductiva sean marginales y no afecten a la explotación pesquera, que se produzca un incremento de los stocks ya explotados, o que aparezcan especies explotables que antes no existían. En estos últimos casos la adaptación de las flotas o los artes sería mucho más sencilla.

Un cambio similar al de la reducción de stocks se da cuando algunas especies modifican las rutas o la estacionalidad de su migración (Beare *et al.* 2004), y las flotas que las explotan no pueden acceder al stock en esa nueva situación. Los mecanismos de adaptación serían similares a los producidos por cambios en la tasa de reproducción. La planificación de la actividad de las flotas exigiría el conocimiento de las nuevas rutas y las causas de su variación, y probablemente incidiría en nuevas actuaciones en las relaciones europeas o internacionales.

Si el objetivo es la gestión sostenible de la pesquería (Pauly *et al.* 2003) sugieren dos tipos de consideraciones. Ambientales, que implicarían la regulación de subsidios para evitar la sobrepesca, lo que, a su vez, exigiría una reducción de las flotas. De seguridad alimentaria, que implicaría el descubrimiento de nuevas pesquerías o uso alternativo de las ya existentes, con el problema de que se pueden afectar a terceros países pobres, o trasladar daños ambientales a sus costas. Pero se pueden pensar en alternativas que mezclen ambos principios, promoviendo la equidad social y la regulación ambiental. En todo caso implicarían cambios en los sistemas de regulación de las pescas y acuerdos entre las partes interesadas.

---

<sup>1</sup> Realización cuantitativa de las comunidades marinas y valoración de la Biodiversidad del sector de la costa del Palm-Mar"; "Realización de cartografía bionómica del borde litoral de Tenerife (1ª parte: Teno-Rasca)"; Realización de un inventario de las especies que habitan los arrecifes y cuevas submarinas de Canarias"; "Estudio de la biología y ecología del erizo *Diadema antillarum* y de las comunidades de sucesión en diferentes zonas de blanquiazal del Archipiélago. Canario"; "Realización de cartografía bionómica del borde litoral de Tenerife (2ª parte: Punta Negra- Roques de Fasnía)".

El establecimiento de áreas de protección, en las que se anule la extracción, o que esta se encuentre limitada, que actúen de forma sinérgica con áreas explotadas y, por tanto, mitiguen los efectos poblacionales de la extracción o del cambio ambiental, es una estrategia que debe consolidarse (Castilla 2003). Se favorecería, así, la sostenibilidad de un ecosistema funcional y diverso, en el que las especies recursos desarrollan su ciclo vital (Pauly 2002). Se está avanzando en esta visión holística de las pesquerías, considerando los cambios en el ecosistema en el que las poblaciones explotadas se encuentran (Bostford *et al.* 1997), y las influencias antropogénicas (cambios físicos del océano resultado del cambio climático, destrucción de habitats, contaminación, “bloom” de algas nocivas).

#### **4.5.2. Estrategias adaptativas en cultivos marinos**

La puesta a punto de nuevos cultivos, tanto de animales como de vegetales, puede ser una respuesta adaptativa a los cambios del medio. Pero hay que tomar en consideración los peligros que la introducción de especies foráneas cultivables puede tener sobre las poblaciones autóctonas y sobre el ecosistema que las soporta. El control parasitológico de la introducción de especies cultivables debe ser una prioridad. Especies de parásitos introducidas con algunos cultivos pueden producir daños sobre los ya existentes, sobre todo si incrementan su respuesta con el aumento térmico. Siempre se debe aplicar el principio de precaución para evitar que las especies introducidas escapen a los controles establecidos y se establezcan como especies invasoras.

Establecer la capacidad de carga sostenible de los ecosistemas en los que se implantan los cultivos y las influencias que pueden provocar en el medio puede ser una medida adaptativa básica para lograr una producción sostenible. Una predicción meteorológica y del medio costero que avise con suficiente antelación y precisión de la posibilidad de eventos climáticos extremos (lluvias torrenciales que reduzcan la salinidad del medio, unido a la existencia de protocolos de respuesta permitiría limitar los daños.

#### **4.5.3. Estrategias de preservación de especies clave**

La preservación de especies parece una necesidad ineludible, dada la influencia que tiene la biodiversidad sobre la capacidad de resistencia y amortiguación de los ecosistemas a cambios generados por presiones ambientales externas. La preservación de especies clave juega, en este sentido, un papel trascendente dada su capacidad para influir en la estructura y funcionalidad de los ecosistemas.

Aunque el número de ecosistemas estudiados desde un punto de vista funcional en las costas españolas sea reducido y por ello no estén bien establecidas, la reducción de la presión sobre las mismas parece la mejor decisión adaptativa. Además de la influencia del cambio ambiental, habrá de considerarse la protección de espacios donde estas especies estén a salvo de la presión humana, explotación o turísticas y lúdicas, o la urbanización y crecimiento poblacional en áreas costeras. La definición de una red de Áreas Marinas Protegidas (AMP) en las aguas de Actividad Económica Exclusiva que tenga en cuenta estos criterios, mas los de complementariedad y singularidad puede ayudar a su conservación y sostenibilidad (Palumbi 2001, Castilla 2003).

### **4.6. REPERCUSIONES SOBRE OTROS SECTORES O ÁREAS**

La existencia de un incremento en las floraciones de algas nocivas, pero también de organismos animales urticantes, medusas, sifonóforos, durante los meses cálidos, en parte al menos, relacionada con el incremento de la temperatura del agua y de nutrientes inorgánicos, puede provocar molestias y trastornos al sector turístico. Se han detectado incrementos de floraciones de dinoflagelados tóxicos en calas de la costa catalana y de las Canarias, de

medusas en el Mar Menor. Es posible que en el futuro este tipo de citaciones se incremente. No se pueden estimar los efectos sobre el turismo pero parece lógico pensar que actuaría como un factor represor de la demanda. Incrementar nuestro conocimiento de las causas que lo producen, y corregirlas si es posible, sería la mejor opción adaptativa.

La calidad de las aguas en zonas turísticas o productivas pueden ser afectada por vertidos de origen urbano o industrial, no directamente relacionados con el cambio de clima. Cambios en la circulación local generada por éste pueden alterar la situación actual. La mejor acción adaptativa es conocer y corregir las emisiones.

## **4.7. PRINCIPALES INCERTIDUMBRES Y DESCONOCIMIENTOS**

### **4.7.1. Relaciones entre calentamiento de mar y su papel como sumidero de carbono**

Para escalas de tiempo inferiores a 1000 años el océano es el principal depósito del dióxido de carbono. El CO<sub>2</sub> atmosférico de origen natural y el producido por la quema de combustibles fósiles son una pequeña fracción del que se encuentra en el mar y los sedimentos. Aproximadamente el 35% de las emisiones antropogénicas de CO<sub>2</sub> en los últimos 100 años ha sido absorbida por el mar. Ajustes relativamente pequeños en la circulación oceánica podrían afectar significativamente la cantidad de CO<sub>2</sub> en la atmósfera, incluso si se llegaran a estabilizar las emisiones de origen antropogénico. Si se incrementa la estratificación en los océanos, no habría convección de aguas y se reduciría la mezcla profunda. El CO<sub>2</sub> no sería transferido a las capas profundas del océano limitando su capacidad de almacenamiento.

Otro factor negativo sería el cambio en el pH provocado por la disolución del propio CO<sub>2</sub>; puede desplazar el equilibrio CO<sub>2</sub> – bicarbonato limitando la capacidad de almacenamiento de CO<sub>2</sub> en el océano (Feely *et al.* 2004). Efectos asociados a la reducción del pH del agua serían: 1) la reducción de la calcificación en organismos con esqueletos carbonatados, que limitaría la retirada a largo término (sumidero) del carbono disuelto, y 2) la potencial elevación de la lisoclina (profundidad límite a la que se disuelven los carbonatos), lo que podría favorecer la disolución de carbonatos acumulados en el sedimento; en caso extremo, pero no deseable, se encontraría la elevación de la lisoclina a la superficie, lo que provocaría una emisión rápida e importante de CO<sub>2</sub> en la atmósfera, y el incremento del efecto invernadero.

Aunque no están cuantificados en la actualidad, cambios positivos en el almacenamiento biogénico del carbón aumentarían la absorción de CO<sub>2</sub> y disminuiría el efecto invernadero.

### **4.7.2. Cambios estacionales de vientos y reclutamiento**

Ya se ha comentado el efecto descrito de los cambios en la NAO y el reclutamiento, ya sea por una relación directa (efecto sobre el transporte larvario) o indirecta (interacción con la comunidad de presas).

### **4.7.3. Elevación del nivel de mar y comunidades litorales**

Las tasas detectadas de elevación del nivel del mar son lo bastante lentas como para que la mayoría de las especies desplacen significativamente su distribución. En las costas rocosas implicaría la colonización de superficies más elevadas, En las costas sedimentarias expuestas, si se produce una reordenación de los sedimentos, no se esperarían cambios muy apreciables en las comunidades, excepto en aquellas en las que pueda suponer erosión (ver caso de *P. oceanica*). Posiblemente las zonas más afectadas serían las correspondientes a estuarios o lagunas costeras. La imposibilidad de recolocación de los depósitos sedimentarios puede

producir la desaparición de algunos ambientes, o la modificación por salinización de otros. En estas condiciones es fácil que algunas comunidades vean restringida su área de distribución. Entre los organismos afectados pueden encontrarse las aves.

#### 4.7.4. Interacciones entre extracción pesquera y cambio climático

Los cambios y tendencias de la captura pesquera parecen ligados a un incremento previo del esfuerzo pesquero, tanto por capacidad tecnológica, como por el incremento de las flotas de muchos países. Se puede considerar por tanto que son resultado del Cambio Global, más que generados por modificaciones climáticas. A pesar de ello, cada vez existen más evidencias que, al menos durante las fases larvarias, cambios en la circulación costera, las condiciones termohalinas, la productividad y la disponibilidad de presas pueden ser responsables de las tendencias observadas.

El problema se agudiza cuando se trata de pesquerías multiespecíficas. A las respuestas de cada especie hay que añadir la existencia de interacciones entre diferentes especies, no bien conocidas en la actualidad. Es necesario profundizar en el concepto de ecosistema pesquero (Large Marine Ecosystem) (Sherman *et al.* 1992), y adquirir información que nos permita tener una visión más completa de los efectos sinérgicos entre explotación, cambio climático e interacciones de especies.

### 4.8. DETECCIÓN DEL CAMBIO

#### 4.8.1. Series temporales de variables oceanográficas

Existe información diversa sobre variabilidad relacionada con el cambio climático en la cuenca del Atlántico Norte. Los análisis a partir de las observaciones de temperatura hechas en el s. XX del contenido calórico de la capa superior de agua (Levitus *et al.* 2000, Levitus *et al.* 2001), de su origen o de las propiedades termohalinas del Atlántico (Curry *et al.* 2003) son un buen ejemplo. También el estudio de series de datos en puntos clave refuerzan la idea de un cambio en las condiciones oceánicas, como la disminución de la salinidad en el agua ártica de fondo (Dickson *et al.* 2002).

La detección de los cambios de temperatura y salinidad se basan en la existencia de bases de datos con periodos temporales prolongados. La extensión de las series de datos condiciona estos estudios y la capacidad predictiva sobre su variación futura. Pero también influye la variabilidad de la circulación y los cambios que pueda provocar el propio cambio de clima, ya que ambos mecanismos pueden provocar la advección de aguas de distintas zonas.

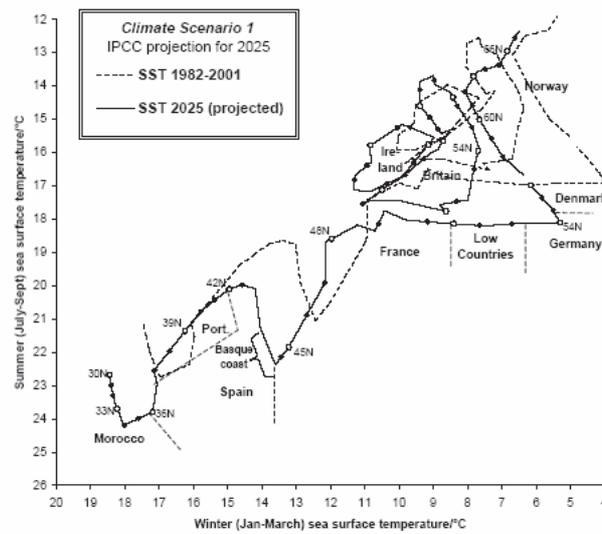
Utilizando como referencia la serie de COADS (1844-2000) de la temperatura superficial del Golfo de Vizcaya, puede apreciarse algunas oscilaciones en el último siglo. A un incremento térmico en superficie desde 1900 hasta 1960, siguió un descenso hasta 1980. Desde ese momento el incremento ha sido continuado y acelerado hasta nuestros días ((Southward y Boalch 1994, Planque *et al.* 2003). Es en este marco en el que deben interpretarse los valores de incremento detectados en nuestras costas en años recientes y que figuran en la tabla 4.1. En resumen, existe una información muy consistente de incremento térmico en aguas superficiales alrededor de la Península Ibérica, en torno a 0'4 - 0'5 °C por década. También se detectan cambios en aguas intermedias y profundas, lo que concuerda con los resultados obtenidos en estudios que cubren un rango geográfico mayor.

**Tabla 4.1.** Tasa de incremento de la temperatura (°C por década) y la salinidad en puntos próximos a las costas españolas, con indicación de la longitud de la serie analizada, la situación y profundidad y la referencia.

Lugar	Situación	Longitud de la serie (años)	Profundidad (m)	Tasa de incremento (°C década)	incremento (psu década)	Autor
Golfo Vizcaya	Canal de la Mancha	1860-1990	Superficie	0.06		(Southward y Boalch 1994)
Golfo Vizcaya	Océano	1870-1990	Superficie	0.13		(Planque <i>et al.</i> 2003)
		1970-1999	Superficie	0.6		
Golfo de Vizcaya Donostia	Océano	1972-1993	Superficie	0.66		(Koutsikopoulos <i>et al.</i> 1998)
	Costa	1947-1997	Superficie	-0.062		(Borja <i>et al.</i> 2000)
Santander	Océano	1992-2002	10	0.60	0.04	(González-Pola <i>et al.</i> 2003)
		1992-2002	200	0.54	0.084	(Cabanas <i>et al.</i> 2003a)
		1994-2003	900-1000	0.1	0.06	(González-Pola <i>et al.</i> 2003)
Asturias	Costa	1993-2003	10	0.43	sin tendencia	(Llope <i>et al.</i> 2004)
	Océano	1993-2003	10	0.16		(Llope y Anadón 2002)
La Coruña	Costa	1990-2003	10	0.53		
Vigo	Costa	1994-2000	200	0.28		(Cabanas <i>et al.</i> 2003a)
Murcia		1996-2001	200	**	0.54	(Vargas-Yáñez <i>et al.</i> 2002a)
Malaga	Costa	1992-2001	10	0.2		(Vargas-Yáñez <i>et al.</i> 2002b)
	Costa	1914-2001	200	0.2		
Baleares	Costa	1994-2001	200	0.2	**	(Vargas-Yáñez <i>et al.</i> 2002a)
Gerona	Plataforma	1974-2001	3	0.4		(Salat y Pascual 2002)
			80	0.25		
Mediterráneo	Océano	1959-1989	2000	0.04	0.01	(Bethoux <i>et al.</i> 1990)
Atlántico subtropical (24,5 N)	Océano	1957-1993	800	0.09		(Parrilla <i>et al.</i> 1994)
			100	0.57		(Vargas-Yáñez <i>et al.</i> 2004)
			400	0.4	0.07	

Las previsiones futuras permiten hablar de un calentamiento del agua superficial en un rango ligeramente inferior a los cambios modelados de las temperaturas atmosféricas (ver capítulo de clima), en consonancia con un balance radiativo equilibrado entre atmósfera y océano. El incremento sería más elevado en verano y en la costa Mediterránea, en la que podría producir, dependiendo del escenario de emisiones, un incremento de 4 grados en el último tercio de siglo. Por la misma razón, es previsible un calentamiento del agua central noratlántica que baña las costas españolas (ENACW). Una visualización del incremento previsible de la temperatura superficial en el atlántico nordeste se puede ver en la figura 4.5 (Alcock 2003), generada a partir de las previsiones de incremento térmico del NOAA-CIRES hacia el año 2025.

Hay que considerar que el incremento térmico debido a la reducción de la mezcla invernal, provocado por el calentamiento superficial, podría modificar las tendencias al alza. La expansión del giro subtropical detectado (McClain *et al.* 2004) puede ser indicio de este proceso.



**Fig. 4.5.** Proyección de la temperatura superficial del mar en la costa nordeste del Atlántico en verano e invierno (tomado de (Alcock 2003)).

Las variaciones a largo término de la salinidad son menos evidentes, debido a la elevada variabilidad interanual. Además, se dispone de un menor número de bases de datos con esta variable. La salinidad es una magnitud muy relacionada con el equilibrio evaporación-precipitación, con aportes fluviales y con la advección de agua. Como ejemplo, en el Golfo de Vizcaya y zona Atlántica adyacente, la salinidad oscila según con la presencia de agua de origen subtropical (poleward current) o subpolar en el área. Dependiendo de los equilibrios, se producen anomalías en salinidad que se van desplazando por la capa superficial de las distintas áreas atlánticas. Esta variabilidad decadal se ve reflejada en los datos superficiales de salinidad en el Atlántico en nuestras latitudes (Dickson *et al.* 1988, Huges y Lavín 2003) y se han relacionado con forzamientos de viento (Cabanas *et al.* 2003b), constricción del giro subpolar debido a NAO negativa y NAO negativa (García-Soto *et al.* 2002).

A pesar de estas limitaciones, los datos existentes apuntan a un ligero incremento de la salinidad tanto en superficie como en profundidad (tabla 4.1). Es la tendencia detectada en el conjunto del Atlántico norte en nuestras latitudes (Curry *et al.* 2003).

La predicción sobre los cambios de salinidad es más difícil que con los de temperatura, al serlo también uno los factores que influyen, la precipitación. La distribución de los cambios de precipitación son irregulares en el espacio y a lo largo del ciclo anual, por lo que los cambios en los aportes no deben ser muy significativos. En este panorama se debería estimar la evaporación para tener una idea más clara.

#### 4.8.2. Series temporales de nivel del mar

La determinación de los cambios en el nivel relativo del mar es una tarea compleja. A pesar de ello se tienen evidencias de un incremento del nivel del mar a escala global y sus causas (Miller y Douglas 2004), y también existen datos sobre las variaciones en puntos concretos de la costa española (Cabanas *et al.* 2003b, Miller y Douglas 2004, Marcos *et al.* enviado). El nivel del mar se ha elevado del orden de 1.5 mm por año en el último siglo. La fusión de hielo ha contribuido con unos 0,4 mm al año, la expansión termal con unos 0,8 mm por año y los movimientos terrestres el resto (Douglas *et al.* 2001). El incremento de la subida del nivel relativo del mar se

ha incrementado en las últimas décadas, estimándose que en la actualidad es de 3 mm anuales.

#### **4.8.3. Cambio en el forzamiento climático**

No se dispone de mucha información sobre los cambios de circulación y estacionalidad en las condiciones oceanográficas de las costas españolas. Las comprobaciones empíricas se derivan del análisis de las series meteorológicas, fundamentalmente de la distribución de los centros de altas y bajas presiones en el Atlántico (índice NAO), y de vientos que inciden en las corrientes costeras.

Se han producido variaciones a lo largo de los últimos 100 años en la NAO; estas han sido notorias estacionalmente con predominio de NAO invernal positivo en los últimos 25 años (<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/teledoc/nao.html>). Estas modificaciones se han asociado a cambios en la intensidad de la circulación costera del norte y noroeste ibérico (García-Soto *et al.* 2002), o con modificaciones en los vientos, la temperatura superficial del mar y con los aportes de agua por los ríos (Planque *et al.* 2003). Todas las modificaciones generadas por alteración de la NAO pueden alterar la circulación marina a gran escala y por ello la actividad biológica en el entorno Ibérico.

Se han detectado cambios de la intensidad y duración de los vientos en la última década del siglo XX relativos a las décadas precedentes, en particular un incremento de vientos del suroeste en la costa gallega (Cabanas *et al.* 2003b) y una disminución estival de los vientos del este y nordeste en el Cantábrico (Llope y Anadón 2002). Estos valores coinciden con el incremento de los valores de hundimiento (downwelling) tras 1997 respecto a los valores de 1958-1976 duplicarse coincidiendo con altas turbulencias (Valencia 2004). También se han detectado cambios en la estacionalidad de los vientos (Cabanas *et al.* 2003b, Llope *et al.* 2004). Todos estos cambios han traído como consecuencia una reducción del afloramiento de primavera-verano en el noroeste (Lavín *et al.* 2000) y norte (Llope *et al.* 2004) de la Península Ibérica. (Lavín *et al.* 2000) calculan una reducción del afloramiento aproximadamente a la mitad entre la década de los 70 y la de los 90 del siglo pasado.

A partir de la información de los cambios barométricos previstos en el Modelo PROMES (ver Capítulo 1) se pueden prever cambios relacionados con la estacionalidad. En el último tercio de siglo se podría reforzar el gradiente de presión entre los núcleos de alta presión de Groenlandia-Islandia y de Azores en invierno. Como consecuencia se podrían incrementar los vientos del oeste y/o del norte. La respuesta del océano sería un reforzamiento de las corrientes hacia los polos que recorren la Península Ibérica, y un previsible adelantamiento en su finalización. La situación estival, en la que predominan eventos de afloramiento, los cambios serían inversos, con incrementos de presión en el norte y una reducción de presión al sur del Atlántico norte, lo que significaría la del gradiente de presión, y por tanto vientos por lo general menos fuertes. En el océano se traduciría en una reducción de la intensidad de afloramientos en la costa oeste de la Península, y también en el norte. Además, implicaría su finalización adelantada respecto a la situación actual. Si las deducciones esbozadas son correctas significaría la prolongación en el futuro de tendencias ya detectadas.

#### **4.8.4. Huellas del cambio climático en señales de respuestas biológicas**

Gregg *et al.* (2003), basándose en datos obtenidos desde satélite, describen un incremento medio de la clorofila en altas latitudes del Atlántico, y un ligero incremento en latitudes medias. Utilizando otra metodología y usando datos de abundancia de fitoplancton (a partir de datos de SAHFOS) (Richardson y Schoeman 2004) concluyen que la abundancia del fitoplancton está disminuyendo en las áreas del Atlántico con temperaturas medias cálidas, mientras se

incrementaría en las áreas frías; entre las áreas cálidas se encontraría el Golfo de Vizcaya y la costa gallega; posiblemente también otros mares cálidos. La información basada en series temporales, tanto del Cantábrico como del Mediterráneo, apunta en este sentido, aunque la longitud de las series disponibles es reducida y la variabilidad del fitoplancton elevada para poder sacar conclusiones definitivas.

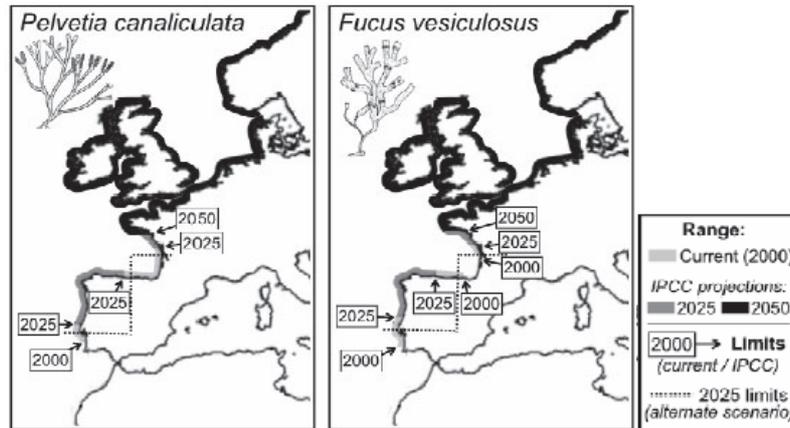
Se han constatado cambios en la abundancia de especies de zooplancton en el norte del Golfo de Vizcaya entre 1930 y 1990 (Southward *et al.* 1995) y en las comunidades de copépodos pelágicos en el Atlántico Norte (a partir de datos de SAHFOS), incluyendo las aguas costeras del norte de la Península Ibérica (Beaugrand *et al.* 2000). Esta modificación en la composición y en el tamaño de los organismos del zooplancton ha influido en el reclutamiento de bacalao en el Mar del Norte (Beaugrand *et al.* 2003). Dada la relación positiva entre la abundancia del fitoplancton y del zooplancton herbívoro en el Atlántico norte detectada por (Richardson y Schoeman 2004), es esperable una reducción del zooplancton en las áreas de la Península Ibérica citadas. Cambios en la estacionalidad de los procesos hidrográficos han influido sobre la abundancia del zooplancton en el Atlántico (Beare y McKenzie 1999), y sobre la fenología de las especies o grupos generando desajustes (*decoupling*) tróficos entre los mismos (Edwards y Richardson 2004).

Los procesos de reorganización generados por el cambio climático pueden dar lugar a cambios permanentes, como se refleja en la relación entre la abundancia de *C. finmarchicus* y la NAO. Desde 1989 esta especie ha reducido su abundancia en el Atlántico norte (Fromentin y Planque 1996, GLOBEC 2003) probablemente afectadas por la reducción de las áreas de hibernación de copepoditos.

Las publicaciones dedicadas a cambios en la composición de las comunidades pelágicas en las costas españolas que tengan relación con el clima, son escasas. En el Cantábrico, Villate *et al.* (1997) detectan cambios en las abundancias de copépodos, aunque el lapso temporal estudiado es muy pequeño y Llope *et al.* (2004) observan también cambios en la abundancia de especies de copépodos. Dependiendo de las especies se puede producir un incremento o decremento continuado, o un incremento súbito de la abundancia. Respuestas semejantes se están encontrando en el Mediterráneo (Molinero 2003).

Durante el último siglo se han detectado cambios en la abundancia y en los límites de distribución de especies (ampliación y regresión) que viven en la costa asociados a cambios en el medio (Anadón 1983, Southward *et al.* 1995). Aunque hay datos recientes acerca de la aparición de macroalgas de aguas más cálidas en la cornisa cantábrica (Fernández y Rico, *com per*), es difícil justificar la presencia de tales especies por el cambio climático. Los cambios más apreciables se han producido por la presencia de *Sargassum muticum* en algunas comunidades dominadas por macroalgas. Esta especie invasora ha colonizado con éxito algunas comunidades del N y NW de la Península Ibérica, generando cambios en la estructura de la comunidad receptora (Sánchez *et al.* enviado).

Alcock (2003) realiza una predicción de la distribución de algunas especies de la costa considerando los límites térmicos de las especies en la actualidad, y su proyección en los futuros escenarios térmicos (Fig. 4.5). Constata que los cambios climáticos pueden afectar a la distribución de muchas especies que tienen su límite de distribución en la costa española. Como ya se comentó, el cambio podría acelerarse si se producen efectos sinérgicos entre la temperatura y la circulación costera, ya que podrían tener influencia sobre factores básicos como la concentración de sales nutrientes.



**Fig. 4.5.** Variación de los límites de los límites de distribución de dos especies de macroalgas en función de los cambios de temperatura predichos por los modelos IPCC. (en Alcock, op.cit.).

Existen evidencias de mortandades masivas de gorgonias y de corales rojos en el Mediterráneo que se relacionan con años de temperatura elevada del agua (Cerrano *et al.* 2000, Garrabou *et al.* 2001). El aumento de temperatura del mar debido al cambio climático podría repercutir negativamente en tales organismos.

Los organismos bentónicos longevos pueden aportar información clave de la respuesta de los organismos al cambio climático, filtrando las oscilaciones de corto plazo e integrando las variaciones ambientales. De la reconstrucción de la producción y crecimiento de *Posidonia oceanica*, desde hace 25 años (Marbá y Duarte 1997), se deduce un incremento mantenido durante este periodo, que probablemente tenga que ver con el cambio de clima. En la misma especie se ha podido reconstruir un incremento en la frecuencia de floración, señal fenológica muy conspicua, en un periodo de tiempo semejante. Este incremento se puede relacionar con una mayor temperatura superficial del mar; los incrementos predichos de temperatura podrían favorecer la floración de esta especie. Los cambios en la extensión de estos ecosistemas presentan también una huella clara de cambio climático. El límite superior de las praderas de *P. oceanica* en las Islas Baleares, determinadas a partir de fotografías aéreas, parece haber retrocedido en unos 25 m en las últimas tres décadas. Esto se atribuye a la erosión submarina que ha generado el incremento del nivel del mar.

Se ha detectado la presencia de ciertas especies de peces de origen tropical y subtropical en el Atlántico Noreste, tanto en las islas Canarias como en la Península Ibérica (Brito *et al.* 1996, Quero *et al.* 1998, Brito *et al.* 2001, Stebbing *et al.* 2002). Esta presencia se interpreta como una respuesta a cambios hidroclimáticos a gran escala, que favorecería la inmigración de especies hacia el norte. Así, por ejemplo, *Dicologgossa cuneata* y *Boops boops* mostraron, en el límite norte de distribución en el Golfo de Vizcaya, aumentos de abundancia y de su área de distribución (Poulard *et al.* 2003). La aparición y proliferación de especies de afinidad subtropical en las Islas Baleares sería otra huella clara de la influencia del cambio climático.

También están apareciendo citas que amplían los límites hacia el norte de otros grupos de organismos, como moluscos y cetáceos (Guerra *et al.* 2002, Williams *et al.* 2002). Lamentablemente, las series sistemáticas de observación en nuestro país son insuficientes, particularmente en el Mediterráneo. Así pues, muchas de las huellas biológicas del cambio climático se pueden estar manifestando sin que queden registradas, cuando pudieran ofrecer una alerta temprana sobre modificaciones ambientales asociadas al cambio climático. Este hecho impide hacer pronósticos precisos sobre los cambios futuros, aunque se puede esperar que las tendencias observadas hasta la actualidad se amplifiquen.

#### 4.8.5. Cambio climático, pesquerías y cultivos marinos

La variabilidad climática del Atlántico Norte se atribuye a fluctuaciones decadales y a largo plazo gobernadas por los forzamientos atmosféricos relativos a la Oscilación del Atlántico Norte (NAO). La NAO se ha relacionado con la frecuencia e intensidad de las tormentas en el Atlántico, altura significativa de las olas, patrones de evaporación y precipitación, fluctuaciones regionales en la temperatura y salinidad, etc. Estos cambios hidrográficos tienen un gran impacto sobre los ecosistemas marinos y la producción pesquera (Parsons y Lear 2001, Drinkwater *et al.* 2003). Existe abundante información sobre las relaciones entre el índice NAO y la captura o el reclutamiento de especies explotadas por flotas españolas; en nuestras costas: la anchoa del Golfo de Vizcaya, el atún Atlántico, o el reclutamiento de la sardina en Galicia y el pez espada en el Atlántico (Santiago 1997, Borja *et al.* 1998, Riveiro *et al.* 2000, Borja y Santiago 2001, Guisande *et al.* 2001, Borges *et al.* 2003, Mejuto 2003). En los últimos años se ha percibido, en Canarias, algo similar con la mayor abundancia de *Sardina pilchardus* (Carrillo *et al.* 1996).

Los peces demersales (bacalao, eglefino, merlán, carbonero) también están influidos por la NAO. Los años 60 (de buenos reclutamientos) coinciden con el período en que la NAO se mantuvo de forma persistente en valores negativos. En los 90 los rendimientos de estas especies de gádidos declinaron hasta el borde del colapso coincidiendo con el cambio de la NAO a una fase positiva al final de los 80 y comienzo de los 90. Aunque los procesos concretos que vinculan el reclutamiento y los factores ambientales durante estas fases son todavía desconocidos, se conocen correlaciones globales entre las tendencias de los stocks, la NAO y la temperatura marina (ICES 1999), y se han demostrado también relaciones gobernadas por cambios en el zooplancton (Beaugrand *et al.* 2003). Dado el pronóstico de que el índice NAO presente una tendencia al incremento, son previsibles cambios futuros en el mismo sentido.

Además de esta influencia general de la NAO, se han encontrado influencias de otros procesos de menor escala que parecen actuar de una forma multivariante sobre la captura y el reclutamiento de especies marinas explotadas. Entre estos se han descrito: afloramientos en Galicia y el Cantábrico, corrientes de talud en el norte y noroeste Ibérico y corrientes de talud asociadas a aportes de agua dulce – Ródano, Ebro - en el Mediterráneo, filamentos del afloramiento canario, transporte en Gibraltar, giros en el Cantábrico, cambios de temperatura o la turbulencia. Entre las especies estudiadas que presentan relación con alguna de estas condiciones se encuentran especies pelágicas -caballa, anchoa, jurel- (Lloret *et al.* 2001, Sabatés *et al.* 2001, Borja *et al.* 2002, Lavin *et al.* 2003, Lloret *et al.* 2004), o demersales – merluza- o bentónicas -gallos, cigala- (Sánchez *et al.* 2003a, Sánchez *et al.* 2003b, Fariña *et al.* in press) El transporte de larvas de muchas especies explotadas por efecto de las corrientes, su dispersión o concentración poseen efectos potenciales importantes (Sánchez y Gil 2000, Sabatés *et al.* 2001, González-Quirós *et al.* 2004, Lloret *et al.* 2004), aunque sólo recientemente empiezan a ser estudiados en detalle.

Los efectos de los cambios de factores hidrodinámicos de mesoescala referenciados en la década de los 90, no parecen haber repercutido de forma sensible a corto plazo en la estructura de la comunidad (Poulard *et al.* 2003, Sánchez y Serrano 2003).

Una de las variaciones más destacada que ha tenido lugar en las costas españolas y que afectó a algunas pesquerías es el cambio de distribución de las áreas de puesta o de migración de algunas especies. En los últimos años la anchoa del Golfo de Vizcaya aparece y realiza la puesta más al norte, y en épocas diferentes a las que lo hacía anteriormente (Borja, com. per.), fenómeno que se produce en paralelo con un incremento de las capturas de anchoa y sardina en el norte del Mar del Norte (Beare *et al.* 2004). Existen indicios sobre cambios en las rutas migratorias y la estacionalidad de algunas clases de edad de túnidos (p.e. el bonito del norte *Thunnus alalunga*) situándose más al norte que en periodos precedentes. En Canarias esto

afectó a la estacionalidad de las pesquerías y a las capturas obtenidas y, por tanto, al nivel de esfuerzo de pesca dirigido a otras especies (Carrillo *et al.* 1996).

Los cambios en la abundancia de túnidos pueden tener efecto en algunas actividades turísticas de reciente desarrollo, como puede ser la pesca deportiva. La aparición de otras especies de origen tropical (marlín), objeto de pesca deportiva en las costas canarias y del norte de la península, podría actuar de forma compensatoria. Pero no se dispone de información sobre la importancia de ambas: número de barcos dedicados profesionalmente, valor añadido de la pesca, personas dedicadas temporalmente a esta actividad, entre otras componentes socioeconómicas.

La reducción de capturas de salmón atlántico que se detecta en los ríos del norte de la península ibérica podría ser reflejo de los cambios en la temperatura y la circulación marina. Sin embargo, no se tiene capacidad para discriminar la intervención de otros componentes como la presión pesquera en el mar y en los ríos, o el efecto de la contaminación de los ríos sobre sus poblaciones.

La información disponible sobre los efectos directos del cambio del clima sobre los cultivos son escasos. Existen evidencias de que cambios en la intensidad del afloramiento estival tienen que ver con la calidad (% peso de carne respecto del peso total) del mejillón de cultivo en Galicia (Blanton *et al.* 1987). Dadas las previsiones hacia una reducción de la producción primaria, ver apartados anteriores, son previsibles cambios en el rendimiento de los cultivos. También son esperables modificaciones del crecimiento y del estado fisiológico de los organismos cultivados.

Pero hay evidencias de efectos indirectos, por acción de floraciones de algas nocivas (HAB), que pueden afectar a los cultivos, o a su comercialización y a la salud humana. Aunque su expansión puede deberse al transporte por los humanos, su prevalencia puede asociarse al calentamiento del agua, lo que favorecería su aparición cada vez más frecuente.

Desde 1976, año en el que mejillones cultivados en las rías gallegas, que se habían alimentado de fitoplancton tóxico, fueron la causa de numerosas intoxicaciones de tipo paralizante en varios países de Europa se han registrado y estudiado estas floraciones. A partir de 1982, se registraron nuevas intoxicaciones causadas por moluscos, esta vez de tipo diarreico. En este caso las especies causantes eran conocidas. La respuesta humana podía haberse confundido con infecciones bacterianas, por lo que no estaríamos ante un caso nuevo.

Dado que la dinámica de las poblaciones fitoplanctónicas depende de la dinámica de las aguas, es de esperar que ésta se vea afectada por cambios en la misma. Se ha sugerido que un incremento en la intensidad del afloramiento estival, consecuencia del incremento de los vientos, asociados a cambios en el índice NAO causado por el cambio climático, podría provocar un incremento en las floraciones de este dinoflagelado, como *Gymnodinium catenatum* (Fraga y Bakun 1993, Garcia *et al.* 1997, Hallegraeff y Fraga 1998, Gómez-Figueiras y Reguera 2004).

Recientemente se ha detectado en las costas del Mediterráneo y de Canarias la presencia de especies de dinoflagelados bentónicos tóxicos del género *Ostreopsis* (*Ostreopsis* cf. *ovata*) que podrían considerarse como tropicales (Vila *et al.* 2001). En aguas de Canarias se ha observado otro dinoflagelado típicamente tropical, *Gambierdiscus* (Fraga com. pers., Ojeda datos inéditos), productor de una de las toxinas más potentes que se conocen. Su carácter tropical, hace que se pueda prever un aumento de su abundancia ante el calentamiento global, así como una extensión de su área de distribución hacia el norte y su probable entrada en el Mediterráneo.

El cambio de condiciones puede ir asociado a la reducción de la abundancia de alguna especie tóxica. Sería el caso en las costas gallegas de *Lingulodinium polyedrum*, especie causante de las tres mareas rojas más antiguas descritas en la literatura científica. Hoy en día se considera una especie rara (Fraga 1989).

Además del efecto sobre los cultivos, las especies de algas nocivas pueden causar otros daños económicos. Muchas playas de gran atractivo turístico del Mediterráneo y del Atlántico, se ven afectadas por frecuentes floraciones algales, que los turistas confunden con suciedad. Desde la primera observación del dinoflagelado *Alexandrium catenella* en aguas catalanas en 1987 (Garcés *et al.* 1999), su presencia en masa es un fenómeno frecuente en el Mediterráneo occidental (Vila *et al.* 2001). La diatomea céntrica *Atteya armatus* produce una coloración verde-parduzca en algunas playas turísticas de Canarias. Se ha descrito un incremento de su recurrencia e intensidad desde hace 4 años (Ojeda 2004).

La proyección de cambios en el futuro deben seguir pautas similares a las descritas en este apartado. Incrementos de especies de aguas más cálidas, y descenso de especies de aguas frías, con las correspondientes modificaciones de la abundancia y de los límites de distribución. Más problemático es predecir los lapsos temporales en los que se produzcan, así como su intensidad.

## 4.9. IMPLICACIONES PARA LAS POLÍTICAS

### 4.9.1. Políticas de pesca

Dado que el cambio climático puede causar modificaciones en la producción de los stocks, los impactos locales o regionales pueden ser extremos. Las predicciones climáticas tendrán que ser consideradas en las proyecciones de rendimiento a largo plazo sobre los stocks de especies comerciales, y sobre los sistemas de gestión y estructuras sociales y económicas (mercados, estructuras, inversiones), para ajustarse a las nuevas condiciones, que posiblemente sean de menor disponibilidad de recursos.

Actualmente el objetivo de la gestión de los recursos pesqueros es la sostenibilidad de los mismos, y se considera que la mayor incidencia sobre el tamaño de los stocks se debe al esfuerzo pesquero. En algunos stocks de especies pelágicas, se asume la influencia de la variabilidad climática en la abundancia a corto y medio plazo, y debería tenerse en cuenta en los planes de gestión para evitar colapsos de la abundancia y las pérdidas no sólo estrictamente pesqueras sino en las inversiones asociadas al sector. Existen propuestas de la UE para llevar a cabo planes de recuperación para ciertas especies (merluza, cigala) en el atlántico ibérico y se considera que la sobreexplotación continuada impide la recuperación de los stocks.

Las nuevas ideas sobre gestión de stocks de especies marinas explotadas proponen una gestión basada en pesquerías multiespecíficas, como paso intermedio para alcanzar una gestión basada en el ecosistema. El concepto de "aproximación ecológica" es objeto de dos interpretaciones complementarias: la consideración de los efectos de la pesca sobre el ecosistema, o la consideración de las respuestas de los ecosistemas a la explotación pesquera. Dos son las vías sobre la que se desarrolla la gestión, la producción de modelos adaptativos a partir de información sobre los stocks fácil de obtener, o a través de indicadores del estado de calidad de los ecosistemas obtenidos a partir de la definición de niveles de preservación deseados. Todos estos enfoques se realizan en el marco de Grandes Ecosistemas Marinos (<http://www.edc.uri.edu/lme>). Además de los objetivos de mantenimiento y recuperación de recursos del sector pesquero, este enfoque contempla otros relativos a la protección y recuperación de hábitats complementarios a la explotación, mantenimiento de la biodiversidad, o relacionados con los sectores económicos y sociales (Castilla 2003). Todos

estos aspectos tendrán incidencia en gran número de Instituciones, locales, regionales, nacionales y europeas. Como una gran parte de la producción pesquera española se realiza en caladeros lejanos, fuera de aguas comunitarias, también deberán considerarse afectadas las políticas de cooperación internacional.

Incrementar el énfasis sobre la calidad de los productos y el etiquetado ecológico que garantice una explotación sostenible pueden ser medidas paliativas y ayudar a los pescadores en una situación de escasez de recursos. Estas medidas incidirán en la reducción de efectos colaterales sobre los ecosistemas y las poblaciones de peces como los causados por los descartes, desechos u otros.

#### **4.9.2. Políticas de cultivos marinos**

La política sobre cultivos marinos afecta a las políticas estatales y a las de las comunidades autónomas, dado que se producen en aguas interiores. La política de fuerte desarrollo emprendida en los últimos decenios deberá ser sometida a evaluación, prestando atención a las modificaciones sobre los cambios en la productividad, y por tanto a su rendimiento y sostenibilidad.

Deberán revisarse las políticas de introducción de especies foráneas con vistas al cultivo aplicando un principio de precaución. Su interacción con ecosistemas y especies autóctonas pueden provocar cambios negativos e imprevistos si escapan al control humano. También, si el control sanitario no es suficiente, pueden incrementar el número de organismos patógenos con grave daño para los cultivos preexistentes.

#### **4.9.3. Políticas de desarrollo costero**

Las políticas de desarrollo costero afectan a la UE a la administración central y a las CCAA. También se verán afectadas las administraciones locales. El incremento de las actividades humanas en zonas costeras puede implicar que muchas de ellas puedan verse influidas por el cambio, y particularmente por la subida del nivel del mar. El efecto combinado de cambios hidrográficos e incremento de actividad pueden contribuir al desarrollo de floraciones de algas nocivas, y por ende afectar a los recursos y a la salud humana.

La prevención de la erosión, y sus consecuencias negativas para los ecosistemas, se debe plantear tanto para mantener las playas y otros elementos de interés para el sector turístico, como para la conservación de los ecosistemas vulnerables al cambio en el nivel del mar. Los impactos de la construcción de infraestructuras y viviendas en la franja costera se han de considerar, pues, en el contexto no ya de los impactos actuales, sino de los generados en el contexto de un nivel del mar creciente. El mantenimiento de un equilibrio sedimentario debe guiar las políticas de desarrollo costero. También tendrán que considerarse los impactos del cambio climático sobre la demanda de infraestructuras.

Existe una fuerte presión social por el desarrollo de nuevas y mayores instalaciones portuarias, tanto comerciales como deportivas, que se ha de moderar, para evitar impactos en la dinámica sedimentaria costera (ej.: Canarias y la construcción del futuro Puerto de Granadilla). Todas las instalaciones deberán contar con infraestructuras necesarias (tanques de recogida de aguas negras, aceites, etc) para evitar el impacto de los residuos que estas instalaciones generan.

La existencia de redes de control sobre el desarrollo de floraciones de organismos tóxicos o urticantes, ya establecidas en algunas Autonomías, parece una necesidad, que debería implementarse de forma inmediata, para establecer una situación de base que permita la toma de decisiones futuras. Esta es una necesidad que ya se aprecia en otros países con casos

problemáticos con algunas especies potencialmente peligrosas para nuestros cultivos o para los humanos (por ejemplo *Pfeisteria* en EEUU).

#### **4.9.4. Políticas de conservación y gestión de ecosistemas**

Afectará a todos los niveles administrativos, desde la UE a las administraciones de las CCAA. Dados los antecedentes sobre los efectos directos de la actividad humana, y los cambios que previsiblemente serán inducidos por el cambio climático, parece necesaria una política de protección de las poblaciones explotadas y de los ecosistemas litorales, los previsiblemente más afectados por el cambio. Deberán tenerse en cuenta criterios de complementariedad y de singularidad en el diseño de redes de Áreas Marinas Protegidas (AMP). Deberá implicarse a las poblaciones generando beneficios mediante estrategias complementarias de conservación y explotación, y facilitando la divulgación deseada por las mismas.

### **4.10. PRINCIPALES NECESIDADES DE INVESTIGACIÓN**

#### **4.10.1. Detección de cambios en las condiciones oceánicas**

Una de las principales deficiencias de las ciencias marinas en España, destacada en numerosos foros científicos, es la escasez de series temporales sobre el medio marino, en un sistema permanente de observación similar al meteorológico, bien con muestreo directo en barco, o mediante boyas y satélites. Este hecho se hace mucho más perentorio si se quiere documentar, y predecir la respuesta del océano al cambio climático.

Esta deficiencia ha sido corregida, en parte, mediante iniciativas de algunas Instituciones, Instituto Español de Oceanografía, Puertos del Estado, AZTI, o iniciativas de otras Instituciones (CSIC en Blanes, CSIC en Vigo, Universidad de Oviedo en colaboración con el IEO), o centros privados (Acuario de San Sebastián), e incluso como iniciativa personal (Josep Pascual en L'Estartit, Girona). El establecimiento de una red de observación del medio marino bien planificada y coordinada, adecuadamente financiada, con garantías de calidad apropiadas y que cubra las necesidades de control del medio marino a largo plazo, se presenta como una necesidad ineludible. Para ello sería necesaria la dotación de un Centro de Datos Oceanográficos.

También lo es potenciar y mejorar las bases de datos oceanográficos existentes, permitiendo la recopilación de la información disponible en bases de datos ya existentes o de los generados por proyectos de investigación, pasados o futuros, financiados por la Administración Pública. Permitiría un uso más racional y eficaz de los datos oceanográficos, responder con más efectividad a nuestros compromisos con los programas internacionales dedicados al cambio climático en el océano, y hacer aportaciones significativas a la gestión de nuestros recursos. La coordinación con algunas iniciativas internacionales sería deseable. Se pueden poner como ejemplo la Open-source Project for a Network Data Access Protocol (DODS) (<http://helium.gsfc.nasa.gov/Data/portals/dods/index.html>) que posee un vínculo a bases de datos oceanográficos, ([http://helium.gsfc.nasa.gov/Data/portals/dods/param\\_search/OCEANS.html](http://helium.gsfc.nasa.gov/Data/portals/dods/param_search/OCEANS.html)), o la francesa coordinada por IFREMER que pretende monitorizar el clima oceánico (<http://www.ifremer.fr/merseaip/>).

Sería deseable potenciar las bases de datos de imágenes de satélite (CREPAC-INTA, IEO, AZTI), la coordinación en la obtención y salvaguarda de las mismas y facilitar su uso. Variables como temperatura superficial, clorofila, altimetría, vientos, son muy útiles para analizar a gran escala los cambios. Sistemas similares al Comprehensive Ocean Atmospheric Data Set (COADS) de amplio uso entre la comunidad científica, y que proporcionan datos meteorológicos y de temperatura superficial del agua de mar (SST) específicos para nuestra

zona podría ser interesante, si se hace con rigor y calidad. Lo mismo que establecer nuevas iniciativas de control a largo plazo, como el proyecto europeo FerryBox en la ruta Porstmouth – Bilbao ([http://www.soc.soton.ac.uk/ops/ferrybox\\_index.phppp](http://www.soc.soton.ac.uk/ops/ferrybox_index.phppp)), ya que permiten la obtención de datos a bajo coste con continuidad.

La promoción de programas nacionales dedicados al estudio del Cambio Climático y de la respuesta de los ecosistemas y las poblaciones marinas, ya definidos en Programas Internacionales IGBP (GLOBEC, SOLAS, JGOFS, GOOS,...) puede aportar el impulso necesario para subsanar muchas de las lagunas detectadas durante la redacción del presente informe.

#### **4.10.2. Interacciones atmósfera-océano y sistema climático**

Dada la estrecha interrelación entre los procesos atmosféricos y oceánicos su relevancia en las causas e intensidad del Cambio Climático, parece necesario que se incremente la participación española en el estudio de las interacciones entre ambos sistemas, en el marco de las directrices y proyectos internacionales al respecto. Será necesario que se considere en las directrices de Planes de Investigación el papel del océano como modulador del cambio de la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera, o como transportador de calor en la Tierra.

Parece necesario dedicar atención a los cambios en los regímenes de vientos, dado su papel como forzamiento de muchos procesos de mesoescala que influyen sobre la productividad primaria y sobre el reclutamiento de múltiples especies. Estos cambios están asociados al cambio climático.

#### **4.10.3. Relaciones entre dinámica de ecosistemas marinos y condiciones hidrográficas**

Una de las lagunas detectadas al igual que en el caso de las condiciones oceánicas es la ausencia de bases de datos creíbles, contrastadas y normalizadas de la producción pesquera extractiva, y muy escasa en el control de poblaciones o ecosistemas no explotadas. Desde luego el control es casi inexistente si se considera en relación al cambio climático. Analizar las interacciones entre especies en el marco del ecosistema en el que las especies viven y se reclutan, siempre encuadradas en situaciones de cambio ambiental, incluida la actividad extractiva humana, facilitaría la información para prever los cambios futuros y diseñar mecanismos de gestión que permitan adaptar el sistema productivo y la conservación de las especies recurso y los ecosistemas.

El comportamiento de los ecosistemas, los efectos sobre las interacciones entre especies, o las modificaciones generadas dependiendo de si se ven afectadas especies clave o no, son campos sobre los que se dispone de muy poca información; pero sabemos que el cambio climático puede generar cambios importantes sobre los ecosistemas. La coordinación de las redes de monitorización de respuestas biológicas existentes en distintas autonomías o en coordinación con los sistemas indicados respecto al medio marino, permitiría aportar un conocimiento prácticamente en tiempo real sobre el estado y tendencias de estos ecosistemas y conocer los efectos provocados por el cambio climático.

#### **4.10.4. Metabolismos de especies significativas e interacciones entre especies**

Dado lo complejo del funcionamiento de los ecosistemas, monitorizar a largo término las respuestas fisiológicas de especies seleccionadas, o ciclos fenológicos (periodo e intensidad reproductiva) permitirían comprender los mecanismos de actuación de cambios ambientales. El estudio de algunas especies longevas nos permitiría reconstruir la respuesta de especies al

cambio ya ocurrido (Marbá y Duarte 1997, Kennedy *et al.* 2001), ampliando nuestro conocimiento de los tiempos y velocidades del cambio. Predecir los ritmos de cambio facilitará la respuesta adaptativa y la adopción de políticas ambientales consistentes.

Definir el significado de la biodiversidad en el funcionamiento de los ecosistemas, y su utilidad desde el punto de vista de la gestión adaptativa de los recursos, de tal manera que se pueda satisfacer las necesidades de la explotación con la sostenibilidad ambiental es otra de las urgentes necesidades.

#### 4.10.5. En resumen

La tabla 4.2 resume los principales impactos previsibles y la probabilidad de que estos ocurran. El conocer estos efectos debe ser una prioridad de investigación.

**Tabla 4.2.** Impactos previsibles y probabilidad de ocurrencia.

Procesos afectados por el cambio global en el futuro en España	Probabilidad de ocurrencia
<i>Calentamiento superficial del agua de mar en el futuro</i>	***
<i>Cambios en la salinidad del agua de mar</i>	*
<i>Cambios en los intercambios de dióxido de carbono entre la atmósfera y el océano</i>	**
<i>Cambios en la circulación de mesoescala</i>	**
<i>Elevación del nivel del agua de mar</i>	***
<i>Cambios en los límites de distribución y en la abundancia de especies del plancton</i>	***
<i>Cambios en los límites de distribución y en la abundancia de especies del bentos</i>	***
<i>Efectos sobre las supervivencia larvarias y el reclutamiento de especies explotadas</i>	**
<i>Efectos sobre la productividad marina</i>	**
<i>Cambios en la composición y dinámica de las comunidades</i>	**
<i>Efectos sobre la presencia de especies tóxicas o urticantes</i>	*

\*\*\* Probabilidad muy alta; \*\* Probabilidad media; \* Poco probable

#### 4.11. BIBLIOGRAFÍA

- Alcock R. 2003. The effects of climate change on rocky shore communities in the bay of Biscay, 1895-2050. Southampton.
- Anadón R. 1983. Zonación en la costa asturiana: variación longitudinal de las comunidades de macrófitos en diferentes niveles de marea. *Investigación Pesquera* 45: 143-156.
- Bakun A. 1996. Patterns in the ocean: ocean processes and marine population dynamics, La Paz, Baja California Sur, Mexico.
- Beardall J. y Raven J.A. 2004. The potential effects of global climate change on microbial photosynthesis, growth and ecology. *Phycologia* 43: 26-40.
- Beare D.J., Burns F., Jones E., Peach K., Portilla E., Greig T., McKenzie E. y Reid D. 2004. An increase in the abundance of anchovies and sardines in the north-western North Sea since 1995. *Global Change Biology* 10: 1209-1213.

- Beare D.J. y McKenzie E. 1999. Temporal patterns in the surface abundance of *Calanus finmarchicus* and *C. helgolandicus* in the North Sea (1958-1956) inferred from Continuous Plankton Recorder data. *Marine Ecology-Progress Series* 190: 241-251.
- Beaugrand G., Brander K.M., Lindley J.A., Souissi S. y Reid P.C. 2003. Plankton effect on cod recruitment in the North Sea. *Nature* 426: 661-664.
- Beaugrand G., Reid P.C., Ibañez F. y Planque B. 2000. Biodiversity of North Atlantic and North Sea calanoid copepods. *Marine Ecology-Progress Series* 204:299-303.
- Bethoux J.P., Gentili B., Raunet J. y Taillez D. 1990. Warming trend in the western Mediterranean deep water. *Nature* 347: 660-662.
- Blanton J.O., Tenore K.R., Castillejo F., Atkinson L.P., Schwing F.B. y Lavin A. 1987. The relationship of upwelling to mussel production in the rias on the western coast of Spain. *Journal Marine Research* 45: 497-571.
- Borges M.F., Santos A.M., Crato N., Mendes H. y Mota B. 2003. Sardine regime shifts off Portugal: a time series analysis of catches and wind conditions. *Science Marine Suppl* 1: 235-244.
- Borja A., Bald J. y Muxika I. 2004. El recurso marisquero de percebe (*Pollicipes pollicipes*) en el biotopo marino protegido de Gaztelugatxe y en áreas explotadas de Bizkaia. Report No. 101, Gobierno Vasco.
- Borja A., Egaña J., Valencia V., Franco J. y Castro R. 2000. 1947-1997, estudio y validación de una serie de datos diarios de temperatura del agua de mar en San Sebastián, procedentes de su acuario. *Oceanografika* 3: 139-153.
- Borja A. y Santiago J. 2001. Does the North Atlantic oscillation control some processes influencing recruitment of temperate tunas? ICCAT SCRS 01/33:19 Pgs.
- Borja A., Uriarte A. y Egaña J. 2002. Environmental factors and recruitment of mackerel, *Scomber scombrus* L. 1758, along the north-east Atlantic coast of Europe. *Fisheries Oceanography* 11: 116-127.
- Borja A., Uriarte A., Egaña J., Motos L. y Valencia V. 1998. Relationships between anchovy (*Engraulis encrassicolus*) recruitment and environment in the Bay of Biscay (1967-1996). *Fisheries Oceanography* 7: 375-380.
- Bostford L.W., Castilla J.C. y Peterson C.H. 1997. The management of fisheries and Marine Ecosystem. *Science* 277: 509-515.
- Brito A., Falcón J.M., Aguilar N. y Pascual P. 2001. Fauna Vertebrada Marina. En: Esquivel J.M.F. (ed.). *Naturaleza de las Islas Canarias. Ecología y Conservación*. Publicaciones Turquesa, Santa Cruz de Tenerife. Pgs. 219-229.
- Brito A., Lozano I.J., Falcón J.M., Rodríguez F.M. y Mena J. 1996. Análisis biogeográfico de la ictiofauna de las Islas Canarias. En: Llinás O., González J.A. y Rueda M.J. (eds.). *Oceanografía y Recursos Marinos en el Atlántico Centro-Oriental*, Las Palmas. Pgs. 241-270.
- Broecker W.S. 1997. Thermohaline circulation, the Achilles Heel of our climate system: Will man-made CO<sub>2</sub> upset the current Balance? *Science* 278: 1582-1588.
- Broecker W.S., Sutherland S. y Peng T.-H. 1999. A possible 20th-Century slowdown of Southern Ocean Deep water formation. *Science* 286: 1132-1135.
- Cabanas J.M., Lavín A., García M.J., Gonzalez-Pola C. y Tel Pérez E. 2003a. Oceanographic variability in the northern shelf of the Iberian Peninsula, 1990-1999. *ICES Marine Science Symposia* 219: 71-79.
- Cabanas J.M., Lavín A., García M.J., González-Pola C. y Tel Pérez E. 2003b. Oceanographic variability in the northern shelf of the Iberian Peninsula, 1990-1999 *ICES Marine Science Symposia*, pgs. 71-79.
- Caldeira K. y Wickett M.E. 2003. Anthropogenic carbon and ocean pH. *Nature* 425: 365.
- Carrillo J., González J.A., Santana J.I. y Lozano I.J. 1996. La pesca en el puerto de Mogán (Islas Canarias): flota, artes y análisis de las capturas entre 1980 y 1989. En: Llinás O., González J.A. y Rueda M.J. (eds.). *Oceanografía y Recursos Marinos en el Atlántico Centro-Oriental*, Las Palmas. Pgs. 457-476.
- Castilla J.C. 2003. Marine Protected areas. *Frontiers in Ecology and the Environment* 1: 495-502.

- Cerrano C., Bavestrello G., Bianchi C.N., Cattaneo-Vietti R., Bava S., Morganti C., Morri C., Picco P., Sara G., Schiaparelli S., Siccardi A. y Sponga F. 2000. A catastrophic mass-mortality episode of gorgonians and other organisms in the Ligurian Sea (North-western Mediterranean), summer 1999. *Ecology Letters* 3: 284-293.
- Chavez F.P., Ryan J., Lluch-Cota S.E. y Niquen C.M. 2003. From anchovies to Sardines and back: Multidecadal changes in the Pacific Ocean. *Science* 299: 217-221.
- Curry R., Dickson B. y Yashayaev I. 2003. A change in the freshwater balance of the Atlantic Ocean over the past four decades. *Nature* 426: 826-829.
- Dickson B., Yashayaev I., Meincke J., Turrell B., Dye S. y Holfort J. 2002. Rapid freshening of the deep North Atlantic Ocean over the past four decades. *Nature* 416: 832-837.
- Dickson R.R., Memeke J., Malmberg A.A. y Lee A.J. 1988. The great salinity anomaly in the northern north Atlantic 1968-1982. *Progress in Oceanography* 20: 103-151.
- Douglas B.C., Kearny M.S. y Leatherman S.P. 2001. Sea level rise: History and consequences, Vol 75.
- Drinkwater K.F., Belgrano A., Borja A., Conversi A., Edwards M., Greene C.H., Ottersen G., Pershing A.J. y Walker H. 2003. The response of marine ecosystems to climate variability associated with the North Atlantic Oscillation. En: Hurrell J., Kushnir Y., Visbeck M. y Ottersen G. (eds.). *The North Atlantic Oscillation: climatic significance and environmental impact*, Vol 134. American Geophysical Union. Pgs. 211-234.
- Edwards M. y Richardson A.J. 2004. Impact of climate change on marine pelagic phenology and trophic mismatch. *Nature* 430: 881-884.
- FAO. 2000. *The state of World Fisheries and aquaculture*. 142 Pgs.
- Fariña A.C., González-Herráiz I., Freire J. y Cancelo J.R. (en prensa) Exploring long-term variability of Nephrops norvegicus population and fishery off North Galicia (NW Spain). *Hydrobiologia*.
- Feely R.A., Sabine C.L., Lee K., Berelson W., Kleypas J., Fabry V.J. y Millero F.J. 2004. Impact of anthropogenic CO<sub>2</sub> on the CO<sub>3</sub>Ca system in the oceans. *Science* 305: 362-366.
- Fraga S. 1989. Las purgas de mar en las Rías Bajas gallegas. Las purgas de mar como fenómeno natural: Las mareas rojas. En: Cuadernos da Area de Ciencias Mariñas, Vol, 4. Seminario de Estudos Galegos. Pgs. 95-109.
- Fraga S. y Bakun A. 1993. Global climate change and harmful algalblooms: The example of *Gymnodinium catenatum* on the Galician coast. En: Smayda T.J. y Shimizu Y. (eds.). *Toxic phytoplankton blooms in the sea*. Elsevier Science Publisher, Amsterdam. Pgs. 59-65.
- Francis R.C. y Sibley T.H. 1991. Climate change and fisheries What are the real issues. *The Northwest Environmental Journal* 7: 295-307.
- Fromentin J.M. y Planque B. 1996. *Calanus* and environment in the eastern North Atlantic.2. Influence of the North Atlantic Oscillation on *C. finarchicus* and *C. helgolandicus*. *Marine Ecology-Progress Series* 134: 111-118.
- Garcés E., Masó M. y Camp J. 1999. A recurrent and localized dinoflagellate bloom in a Mediterranean beach. *Journal of Plankton Research* 21: 2373-2391.
- García M.A., López O., Sospedra J., Rojas P., Arcilla A.S. y Gomis D. 1997. Estructura de la Corriente Antártica Circumpolar en el mar de Scotia: una contribución española al experimento internacional WOCE. *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural* 93: 149-160.
- García-Soto C., Pingree R.D. y Valdés L. 2002. Navidad development in the southern Bay of Biscay: Climate Change and swoddy structure from remote sensing and in situ measurements. *Journal of Geophysical Research* 107: 1-29.
- Garrabou J., Pérez T., Sartoretto S. y Harmelin J.G. 2001. Mass mortality event in red coral *Corallium rubrum* populations in the Provence region (France, NW Mediterranean). *Marine Ecology-Progress Series* 217: 263-272.
- GLOBEC. 2003. *Marine Ecosystems and Global Change*. IGBP Science 5: 1-32.
- Gómez-Figueiras F. y Reguera B. 2004. An overview of HABs in designated upwelling systems.
- González-Pola C., Lavín A. y Vargas-Yañez M. 2003. Thermohaline variability on the intermediata waters of the Southern Bay of Biscay from 1992. Report No. 2003/T, ICES.

- González-Quirós R., Pascual A., Gomis D. y Anadón R. 2004. Influence of mesoscale physical forcing on trophic pathways and fish larvae retention in the central Cantabrian Sea. *Fisheries Oceanography* 13: 1-14.
- Gregg W.W., Conkright M.E., Ginoux P., O'Reilly J.E. y Casey N.W. 2003. Ocean primary production and climate: global decadal changes. *Geophysical Research Letters* 30: 1809.
- Guerra A., González A.F. y Rocha F. 2002. Appearance of the common paper nautilus, *Argonauta argo* related to the increase of the sea surface temperature in the north-eastern Atlantic. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 82: 855-858.
- Guisande C., Cabanas J.M., Vergara A.R. y Riveiro I. 2001. Effect of climate on recruitment succes of Atlanctic Iberian sardine *Sardina pilchardus*. *Marine Ecology-Progress Series* 223: 243-250.
- Hallegraeff G.M. y Fraga S. 1998. Bloom dynamics of the toxic dinoflagellate *Gymnodinium catenatum*, with emphasis on Tasmanian and Spanish coastal waters. En: Anderson D.M., Cembella A.D. y Hallegraeff G.M. (eds.). *Physiological Ecology of Harmfull Algal Blooms*, Vol 41. NATO ASI Series, Berlin.
- Hare S.R. y Mantua N.J. 2002. Empirical evidence for North pacific regime shifts in 1977 and 1989. *Progress in Oceanography*.
- Hudges S. y Lavín A. 2003. The 2002/2003 ICES Annual Ocean Climate Status summary. Report No. 259, ICES.
- ICES. 1999. Report of the Workshop on ocean climate of the NW Atlantic during the 1960s and 1970s and consequences for gadoid populations. ICES Cooperative Research report 234: 1-81.
- ICES. 2003. Report of the ICES advisory committee on Ecosystems, ICES Cooperative Research Report.
- Kennedy H., Richardson C.A., Duarte C.M. y Kennedy D.P. 2001. Oxygen and carbon stable isotopic profiles of the fan mussel, *Pinna nobilis*, and reconstruction of sea surface temperatures in the Mediterranean. *Marine Biology* 139: 1115-1124.
- Koutsikopoulos C., Beillois P., Leroy C. y Taillefer F. 1998. Temporal trends and spatial structures of the sea surfae temperature in the Bay of Biscay. *Oceanologica Acta* 21: 335-344.
- Labarta U 2000. Desarrollo e innovación empresarial en la acuicultura: una perspectiva gallega en un contexto internacionalizado, Fundación Caixa Galicia.
- Lavín A., Díaz del Rio G., Cabanas J. y Casas G. 2000. Afloramiento en el Noroeste de la Península Ibérica. Indices de afloramiento para el punto 43ª N 11ª W. Periodo 1990-1999. Datos y Resúmenes del Instituto Español de Oceanografía 15: 1-25.
- Lavin A., Moreno-Ventas X., Abaunza P. y Cabanas J.M. 2003. Environmental variability in the Atlantic and Iberian waters and its influence on horse mackerel recruitment ICES Marine Science Symposia. Pgs. 403-407.
- Levitus S., Antonov J.I., Boyer T.P. y Stephens C. 2000. Warming of the World Ocean. *Science* 287: 2225-2229.
- Levitus S., Antonov J.L., Wang J., Delworth T.L., Dixon K.W. y Broccoli. A.J. 2001. Anthropogenic warming of Earth's climate system. *Science* 292: 267-270.
- Llope M. y Anadón R. 2002. Seasonality, spatial pattern and trend of some hydrographic events in south Bay of Biscay 8th International Symposium on Oceanography of the Bay of Biscay, Gijón.
- Llope M., Viesca L., Rodriguez N. y Anadón R. 2004. Is the pelagic ecosystem in coastal waters being affected by the Global Change? En: IGBP (ed.). Seminar IGBP 2004 Global Change and Sustainability. Evora, Portugal.
- Lloret J., Leonart J., Solé I. y Fromentin J.M. 2001. Fluctuations of landings and environmental conditions in the north-western Mediterranean Sea. *Fisheries Oceanography* 10: 33-50.
- Lloret J. y Leonart J. 2002. Recruitment dynamics of eight fishery species in the northwestern Mediterranean Sea. *Scientia Marina* 66: 77-82.
- Lloret J., Palomera I., Salat J. y Solé I. 2004. Impact of freshwater input and wind on landings of anchovy (*Engraulis encrasicolus*) and sardine (*Sardina pilchardus*) in shelf waters

- surrounding the Ebre (Ebro) River delta (north-western Mediterranean). *Fisheries Oceanography* 13: 102-110.
- Marbá N. y Duarte C.M. 1997. Interannual changes in seagrass (*Posidonia oceanica*) growth and environmental change in the Spanish Mediterranean littoral zone. *Limnology and Oceanography* 42: 800-810.
- Marcos M., Gomis D., Monserrat S., Álvarez E., Pérez B. y García-Lafuente J. (enviado) Consistency of long sea-level time series in the Northern coast of Spain.
- McClain C.R., Signorini S.R. y Christian J.R. 2004. Subtropical gyre variability observed by ocean-color satellites. *Deep-Sea Research II* 51: 281-301.
- Mejuto J. 2003. Recruit indices of the North Atlantic swordfish (*Xiphias gladius*) and their possible link to atmospheric and oceanographic indicator during the 1982-2000 period. *Collective Volume of Scientific papers ICCAT*. ICCAT. Pgs. 1505-1506.
- Miller L. y Douglas B.C. 2004. Mass and volume contributions to twentieth-century global sea level rise. *Nature* 428: 406-409.
- Molinero J.C. 2003. Etude de la variabilité des abondances des copépodes planctoniques en Méditerranée, mécanismes et échelles caractéristiques: le cas de *Centropages typicus*. Pierre et Marie Curie Paris VI.
- Myers R.A. y Worm B. 2003. Rapid world wide depletion of predatory fish communities. *Nature* 423: 280-283.
- Ojeda A. 2004. Diatomeas y Dinoflagelados de Canarias. Inst. Estudios Canarios.
- Olsen E.M., Heino M., Lilly G.R., Morgan M.J., Brattey J., Ernande B. y Dieckman U. 2004. Maturation trends indicative of rapid evolution preceded the collapse of northern cod. *Nature* 428: 933-935.
- Palumbi S.R. 2001. The ecology of Marine Protected Areas. En: Bertness M.D., Gaines S.D. y Hay M.E. (eds.). *Marine Community Ecology*. Sinauer Associates, Sunderland, Massachusetts. Pgs. 509-530.
- Parrilla G., Lavín A., Bryden H.L., García M. y Millard R. 1994. Rising temperatures in the Subtropical N. Atlantic over the past 35 years. *Nature* 369: 48-51.
- Parsons L.S. y Lear W.H. 2001. Climate variability and marine ecosystem impacts: a North Atlantic perspective. *Progress in Oceanography* 49: 167-188.
- Pauly D. 2002. Towards sustainability in world fisheries. *Science* 418: 689-695.
- Pauly D., Alder J., Bennett E., Christense V., Tyedmers P. y Watson R. 2003. The future for fisheries. *Science* 302: 1359-1361.
- Planque B., Beillois P., Jégou A.M., Lazure P., Petitgas P. y Puillat I. 2003. Large scale hydroclimatic variability in the Bay of Biscay. The 1990s in the context of interdecadal changes ICES Marine Science Symposia.
- Poulard J.C., Blanchard F., Boucher J. y Souissi S. 2003. Variability of the demersal fish assemblages of the bay of Biscay during the 1990s. ICES Marine Science Symposia. Pgs. 411-414.
- Quero J.C., Du Buit M.H. y Vayne J.J. 1998. Les observations de poissons tropicaux et le réchauffement des eaux dans l'Atlantique européen. *Oceanologica Acta* 21: 345-351.
- Richardson A.J. y Schoeman D.S. 2004. Climate change on plankton ecosystems in the Northeast Atlantic. *Science* 305: 1609-1612.
- Riveiro I., Guisande C., Lloves M., Maneiro I. y Cabanas M. 2000. Importance of parental effects on larval survival in *Sardina pilchardus*. *Marine Ecology-Progress Series* 204: 249-258.
- Sabatés A., Salat J. y Olivar M.P. 2001. Advection of continental water as an export mechanism for anchovy, *Engraulis encrasicolus*, larvae. *Scientia Marina* 65: 77-87.
- Salat J. y Pascual J. 2002. The oceanographic and meteorological station at l'Estartit (NW Mediterranean). En: Briand F. (ed.). *Tracking long-term hydrological change in the Mediterranean Sea*. CIESM Workshop Series, Monaco- Pgs. 29-32.
- Sánchez F. y Gil J. 2000. Hydrographic mesoscale structures and Poleward Current as a determinant of hake (*Merluccius merluccius*) recruitment in southern Bay of Biscay. *ICES Journal of Marine Science* 57: 152-170.

- Sánchez F. y Serrano A. 2003. Variability of ground fish communities of the Cantabrian Sea during the 1990s ICES Marine Science Symposia. Pgs. 249-260.
- Sánchez I., Fernández C. y Arrontes J. (enviado) Long-term changes in the structure of intertidal assemblages following invasion by *Sargassum muticum* (Phaeophyta). Journal of Phycology.
- Sánchez R., Sánchez F. y Gil J. 2003a. The optimal environmental window that controls hake (*Merluccius merluccius*) recruitment in the Cantabrian Sea. En: Symposia IMS (ed.). Pgs. 415-419.
- Sánchez R., Sánchez F., Landa J. y Fernández A. 2003b. Influence of oceanographic parameters on recruitment of megrim (*Lepidorhombus whiffiagonis*) and four spot megrim (*L. bosci*) on the Northern Spanish continental shelf (ICES Division VIII) ICES Marine Science Symposia. Pgs. 400-402.
- Santiago J. 1997. The North Atlantic Oscillation and recruitment of temperate tuna. ICCAT SCRS 97/40: 20 pgs.
- Sherman K., Alexander L.M. y Gold B.D. 1992. Large Marine Ecosystems: Patterns, Processes, and Yields.
- Southward A.J. y Boalch G.T. 1994. The effect of changing climate on marine life: Past events and future predictions. Exeter Maritime Studies 9: 101-143.
- Southward A.J., Hawkins S.J. y Burrows M.T. 1995. Seventy years observations in distribution and abundance of zooplankton and intertidal organisms in the western English Channel in relation to rising sea temperature. Journal thermal Biology 20: 127-155.
- Stebbing A.R.D., Turk S.M.T., Wheeler A. y Clarke K.R. 2002. Immigration of southern fish species to south-west England linked to warming of the North Atlantic (1960-201). Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom 82: 177-180.
- Valencia V. 2004. Hydrography of the southeastern Bay of Biscay. En: Borja A. y Collins M. (eds.). Oceanography and Marine Environment of the Basque Country. Elsevier, Amsterdam. Pgs. 159-194.
- Vargas-Yáñez M., Parrilla G., Lavín A., Vélez-Belchi P. y González-Pola C. 2004. Temperature and salinity Increase in the Eastern North Atlantic along the 24.5°N during the last ten years. Geophysical Research Letters 31(6): Art. No. L06210.
- Vargas-Yáñez M., Ramírez T., Cortés D., Fernández del Puellas M.L., Lavín A., López-Jurado J.L., González-Pola C., Vidal I. y Sebastián M. 2002a. Variability of the Mediterranean water around the Spanish coast: Project RADIALES. En: Briand F. (ed.). Tracking long-term hydrological change in the Mediterranean Sea. CIESM Workshop Series, Monaco. pgs. 25-28.
- Vargas-Yáñez M., Ramírez T., Cortés D, Sebastián M. y Plaza F. 2002b. Warming trends in the continental shelf of Málaga Bay (Alborán Sea). Geophysical Research Letters 29 (22): 2082.
- Verlaque M., Alfonso-Carrillo J., Gil-Rodríguez M.C., Durand C., Boudouresque C.F. y Le Parco Y. 2003. Blitzkrieg in a marine invasion: *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea* (Bryopsidales, Chlorophyceae) reaches the Canary Islands (Spain, NE Atlantic). Biological Invasions 6 (3): 269-281.
- Vila M., Garcés E. y Masó M. 2001. Potentially epiphytic dinoflagellate assemblages on macroalgae in the NW Mediterranean. Aquatic Microbial Ecology 26: 51-60.
- Villate F., Moral M. y Valencia V. 1997. Mesozooplankton community indicates climate changes in a shelf area of the inner Bay of Biscay throughout 1988 and 1990. Journal of Plankton Research 19: 1617-1636.
- Williams A.D., Williams R. y Brereton T. 2002. The sighting of pygmy killer whales (*Fereza attenuata*) in the Southern Bay of Biscay. Journal Marine Biological Association UK 82: 509-512.