



ESTRATEGIA MARINA
DEMARCACIÓN MARINA CANARIA
PARTE IV. DESCRIPTORES DEL BUEN ESTADO AMBIENTAL
DESCRIPTOR 7: CONDICIONES HIDROGRÁFICAS
EVALUACIÓN INICIAL Y BUEN ESTADO AMBIENTAL



Madrid, 2012



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

AUTORES DEL DOCUMENTO

Instituto Español de Oceanografía:

- César González-Pola
- Pedro Vélez-Belchí

Asistencia Técnica TRAGSATEC S.A.:

- Pelayo Izquierdo

CARTOGRAFÍA DIGITAL INSTITUTO ESPAÑOL DE OCEANOGRAFÍA

Olvido Tello

Asistencia Técnica TRAGSATEC S.A.:

- Carolina Sánchez
- Carmen Díaz
- Colaboración: Nuria Hermida Jiménez y Elena Pastor Garcia, en el marco del proyecto IDEO (Infraestructura de Datos Espaciales) del IEO, han participado en la elaboración, corrección y actualización de capas GIS que fueron utilizadas en la elaboración de la cartografía para los diferentes descriptores.

COORDINACIÓN INSTITUTO ESPAÑOL DE OCEANOGRAFÍA

Demetrio de Armas

Juan Bellas

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

José Luis Buceta Miller

Felipe Martínez Martínez

Ainhoa Pérez Puyol

Sagrario Arrieta Algarra

Jorge Alonso Rodríguez

Ana Ruiz Sierra

Javier Pantoja Trigueros

Mónica Moraleda Altares

Víctor Escobar Paredes



MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE

Edita:

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

Catálogo de Publicaciones de la Administración General del Estado:

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

NIPO: 280-12-175-8



DESCRIPTOR 7: CONDICIONES HIDROGRÁFICAS

Índice

| | |
|--|-----------|
| 1. EVALUACIÓN DEL ESTADO AMBIENTAL ACTUAL | 1 |
| 1.1. Conceptos clave y criterios de evaluación | 1 |
| 1.2. Elementos de evaluación..... | 2 |
| 1.3. Determinación de los niveles de referencia..... | 6 |
| 1.4. Evaluación del estado actual | 7 |
| 1.4.1. Gran escala: Cambio Climático..... | 7 |
| 1.4.2. Escalas media y corta | 12 |
| 1.4.3. Alteraciones en la funcionalidad de los ecosistemas..... | 12 |
| 1.5. Lagunas de información y conocimiento..... | 15 |
| 1.6. Evaluación integrada a nivel de criterio y descriptor. Conclusiones..... | 15 |
| 2. DEFINICIÓN DEL BUEN ESTADO AMBIENTAL | 16 |
| 2.1. Interpretación del BEA en relación con los criterios del Descriptor 7 | 16 |
| 2.2. Ámbito y limitaciones | 16 |
| 2.3. Definición del BEA. Metodología y fundamento | 16 |
| ANEXOS | 18 |
| Anexo I. Glosario de términos y acrónimos..... | 18 |
| Anexo II. Documento de solicitud de información científica | 19 |
| Anexo III. Referencias | 20 |



1. EVALUACIÓN DEL ESTADO AMBIENTAL ACTUAL

1.1. *Conceptos clave y criterios de evaluación*

El descriptor 7 está enfocado a identificar posibles alteraciones de origen antrópico en las condiciones hidrográficas, considerando como criterios para su desarrollo la caracterización espacial dichas alteraciones y el impacto que éstas puedan causar o estar causando en los ecosistemas marinos. La descripción detallada del descriptor, su interpretación y cómo se ha abordado su desarrollo se desarrollan en el Documento Marco de las Estrategias Marinas (pp 238-245). Además, la caracterización del estado ambiental actual de la demarcación marina Canaria toma como base la descripción de la región que se ha desarrollado en el Documento Marco correspondiente, con el cual existe un alto grado de vinculación

En general, la demarcación contiene mayormente superficie oceánica y un porcentaje reducido corresponde con plataforma continental, menos del 2%. Los 200–250 m más superficiales están dominados por el régimen estacional que se manifiesta en las condiciones hidrográficas. Este nivel superficial, que incluye la capa fótica, es el más relevante puesto que en él se desarrollan la gran mayoría de procesos biológicos y usos humanos. En volumen la capa superficial corresponde a un porcentaje reducido de las demarcaciones mientras que el resto corresponde a aguas intermedias y profundas.

Las diferentes regiones de la Demarcación se caracterizan por campos termohalinos y dinámicos concretos que, sujetos a su propia estacionalidad y variabilidad interanual natural, constituyen el “estado ambiental de referencia” de la demarcación desde el punto de vista hidrográfico. Por tanto, las características meteorológicas e hidrográficas de la demarcación, detalladas en las secciones 2.2 y 2.3 de los Marcos Generales, dan cuenta del estado ambiental de referencia a escala de la demarcación. El “estado ambiental actual” ha de atender en este sentido a desviaciones tanto puntuales como generalizadas de lo que históricamente se han considerado como condiciones de referencia.

En lo que se refiere al cambio climático se ha de ver hasta qué punto cada demarcación se encuentra bajo los efectos de cambios hidrográficos o hidrodinámicos generalizados que puedan afectar o estén afectando ya a los ecosistemas. En este sentido el descriptor se restringirá a cambios en las condiciones termohalinas y en los campos de corrientes, y por extensión en posibles cambios inferidos en regímenes dinámicos (e.g. variación en la incidencia de los afloramientos).



Como se ha comentado, tanto el documento de recomendación AdGES7 de OSPAR como el documento SEC2011 de la Comisión (sobre la relación entre la evaluación inicial de las aguas marinas y los criterios para el buen estado ecológico) proponen focalizar el problema en los cambios de la hidrodinámica costera afectada por obras civiles. El estado ambiental es en este sentido función de los impactos producidos.

1.2. Elementos de evaluación

El Anexo I de la Ley 41/2010, de protección del medio marino, hace referencia a las “características físico-químicas” de la demarcación que han de servir de base para establecer las condiciones hidrográficas en las que hay que basar la definición del BEA, concretamente se indican:

- Topografía y batimetría del fondo marino.
- Régimen anual y estacional de temperaturas y de capa de hielo, velocidad de las corrientes, surgencia, exposición al oleaje, características de mezclado, turbidez, tiempo de residencia.
- Distribución espacial y temporal de la salinidad.

El listado resulta confuso por cuanto mezcla variables ambientales (temperatura, salinidad o corrientes) con procesos dinámicos que son función de cambios en las variables anteriores (p. ej. afloramientos o desarrollo de capas de mezcla). Tal y como indica el documento AdGES7 de OSPAR, las condiciones hidrográficas a que se refiere la DMEM son, en gran medida, comparables a las condiciones hidromorfológicas a que se refiere la DMA (Anexo II “Caracterización de los tipos de aguas superficiales”, sección 1.2.4 B para las aguas costeras), por lo cual en dichas aguas costeras, cubiertas por la DMA, la caracterización de las masas de agua debe ser la referencia para la definición del estado actual y del BEA. Este mismo documento AdGES7 recomienda el uso de modelos hidrodinámicos para, en áreas que potencialmente se verán afectadas por obras civiles marítimas,

[...] identificar cambios en las condiciones hidrográficas, como corrientes, olas, cizallamiento de fondo [bottom shear stress] y salinidad para determinar la magnitud de la posible área afectada, y la intensidad de los cambios para determinar el efecto sobre los hábitats.

Actualmente todas las posibles obras que pudiesen afectar de forma relevante a las condiciones hidrográficas se encuentran en regiones costeras bajo el ámbito de la DMA (considerando que los arrecifes artificiales y las plataformas en océano abierto



han de causar una distorsión hidrodinámica muy escasa). Por otra parte, el documento SEC2011 hace referencia a la necesidad de considerar todos los efectos acumulativos:

[...] por lo general, cualquier instalación permanente en el fondo del mar o la alteración de la línea de costa (barreras, puertos etc.), dará lugar a algunos cambios en los flujos de agua. El grado de cambio y el período en el que tiene lugar varía considerablemente dependiendo del tipo de modificación. Para realizar la evaluación del buen estado ambiental hay que tener en cuenta la magnitud de los cambios (espacial, temporal) y su gravedad en relación con elementos específicos del ecosistema, así como los efectos acumulativos de todas las alteraciones permanentes junto con los efectos de otras presiones.

Existen dos intervenciones humanas en el medio que no son puntuales y causan un efecto acumulativo en las condiciones hidrodinámicas. Por un lado la regulación hidrográfica de los ríos no afecta sólo a los ecosistemas presentes en las propias cuencas fluviales, sino que condiciona los ecosistemas marinos en el rango de influencia de las plumas de descarga de agua dulce y, de hecho, existen especies que dependen en mayor o menor medida de dichas plumas de agua dulce (la dependencia es en parte indirecta, debida a los aportes de nutrientes). Por otra parte la acumulación de elementos artificiales en las costas que reemplazan la línea de costa natural causan variaciones en el régimen hidrodinámico que afectan al transporte de sedimentos, pudiendo llegar a modificar y sustituir los ecosistemas bentónicos locales. Ambas afecciones se tratan de forma agregada en la determinación de impactos mediante los mapas de “grado de modificación de las costas” y “grado de regulación de cuencas hidrográficas”, que dan una indicación de cuanto se ha podido distorsionar el estado actual respecto de un hipotético estado original.

Respecto de la gran escala, los campos termohalino e hidrodinámico fluctúan de forma natural y vienen mostrando tendencias en algunas variables, especialmente en la temperatura. Estos aspectos constituyen la caracterización del estado actual.

En cuanto a afecciones locales hemos visto que el descriptor está muy focalizado al efecto de las presiones por lo que la evaluación del estado actual parte de los mapas presentados en la sección correspondiente a los impactos. El indicador 7.1.1 (extensión de áreas afectadas) obliga a una caracterización de las zonas como afectadas si/no, por lo que para afecciones puntuales implica que hay que definir umbrales para procesos que de hecho conllevan modificación hidrográfica de forma gradual. Como se ha indicado, los estudios de impacto ambiental de obras civiles están obligados a describir el impacto que éstos podrían causar. Aunque en principio dichas DIA obligarían a aplicar modelos que permitiesen establecer un rango de afección para cada variable distorsionada tanto bajo condiciones climatológicas medias como en régimen



extremal, la revisión de diferentes estudios de impacto ambiental tanto para grandes infraestructuras portuarias como para sistemas industriales que causan efluentes con propiedades hidrográficas modificadas respecto del medio receptor (centrales térmicas de ciclo combinado, regasificadoras y plantas desalinizadoras), muestra que a día de hoy no se realizan en todos los casos modelos detallados que den cuenta de hasta dónde se produce afección.

Si bien cada obra es diferente y la forma en la que afecta al régimen hidrográfico circundante es muy dependiente de los detalles particulares, tales como la forma precisa de un dique en relación a la línea de costa en la cual se asienta, las condiciones del régimen de circulación que perturba o el tipo de sedimento y características batimétricas en donde se localiza, a partir de los casos en los que se han aplicado modelos hidrodinámicos avanzados de alta resolución es posible inferir un orden de magnitud (escala máxima) en la cual dichas infraestructuras pueden causar afección. Estos órdenes de magnitud inferidos son útiles para hacer una estimación grosera de la superficie máxima que puede estar siendo afectada por elementos artificiales y cual es su proporción respecto de la escala de la demarcación (no debemos olvidar que la escala contemplada por la Estrategia Marina implica cientos de kilómetros de costa, y es en ese rango en el cual debemos determinar las afecciones en relación al descriptor).

Para los siguientes tipos de elementos artificiales tendríamos:

- **Obras Portuarias:** Los diques interrumpen los flujos, creando zonas de sombra de corrientes y oleaje y zonas semicerradas en las cuales aumentan los tiempos de residencia de volúmenes de agua. Todo ello afecta al transporte de sedimentos modificando los hábitats que hubiese previamente. En general los estudios DIA consultados indican afección en las playas o costa adyacente a la ubicación del propio puerto, pudiéndose inferir un rango de tres o cuatro veces su escala característica, entendiéndose ésta como la dimensión de los diques que penetran en el mar en perpendicular a la línea de costa. En muchos casos los puertos aprovechan bahías o ensenadas naturales ya existentes de forma que los diques principales discurren en paralelo a la costa. En estos casos el área afectada se identifica prácticamente con la lámina de agua encerrada.
- **Centrales Térmicas:** Las centrales térmicas utilizan agua de mar en sus circuitos de refrigeración y vierten aguas que, aparte de incluir ciertas sustancias químicas utilizadas para mantener los emisarios libres de recrecimientos biológicos, presentan un salto térmico positivo con respecto al medio receptor. El grado de afección depende del volumen de agua vertido y del propio salto térmico, y no todas las centrales térmicas publican estos datos. Ejemplos



consultados para centrales térmicas de envergadura (caudales $>20\text{m}^3$) fijan límites máximos para el conjunto caudal y salto térmico del efluente que no produzcan incrementos de temperatura en el medio receptor superiores a 3°C a una distancia máxima 200 metros del punto de vertido, lo cual implica según casos saltos térmicos del vertido en el orden de $7-8^\circ\text{C}$.

- Plantas Regasificadoras: Al contrario que las centrales térmicas, las plantas regasificadoras utilizan agua de mar para elevar la temperatura de gas licuado y por tanto vierten al medio aguas con salto térmico negativo. En ocasiones las plantas regasificadoras se sitúan asociadas a centrales térmicas de tal forma que combinan sus circuitos compensando en parte los saltos térmicos generados. En general los volúmenes procedentes de estas plantas son menores que los de las centrales térmicas, teniéndose rangos de afección del orden de decenas o pocos centenares de metros para los casos consultados.
- Plantas Desaladoras: Las plantas desaladoras generan salmuera como subproducto de su operación, lo cual tiene un potencial dañino importante sobre los hábitats a los cuales pudieran afectar. Las autorizaciones de vertido establecen unos límites para la concentración de las salmueras contenidas en los efluentes según casos. Ejemplos concretos en zonas sensibles (p. ej. praderas adyacentes de *Posidonia oceanica* y *Cymodocea nodosa*) fijan puntos de muestreo preestablecidos en los cuales no se acepta sobrepasar ciertos límites de salinidad máxima en un cierto porcentaje de observaciones. De forma general podemos fijar el rango de afección de las mayores plantas existentes en España en el entorno de los centenares de metros.
- Estaciones depuradoras de aguas residuales: En principio las estaciones depuradoras vierten aguas dulces, recuperadas y tratadas tras su uso humano, por lo que causan efluentes de aguas dulces que pueden alterar la hidrografía localmente. En general se trata de caudales relativamente reducidos que se emiten mediante difusores submarinos. El efecto conjunto sobre la hidrografía y la hidrodinámica es difícil de estimar puesto que se trata de aguas dulces que previamente se han retirado de los cauces naturales y que luego se han devuelto parcialmente, con lo cual la contribución sobre la alteración salina costera está acoplada a la de la alteración de las cuencas hidrográficas.
- Obstrucciones o barreras artificiales: En algunos fondos se han situado estructuras pesadas de hierro y hormigón como medida de gestión para restringir el acceso a la pesca de arrastre. Estas obstrucciones modifican localmente el campo hidrodinámico y la distribución de sedimentos. Por el



tamaño de las propias estructuras el efecto puede considerarse muy local, circunscrito a la región físicamente ocupada por las obstrucciones.

- Parques de generación de energía en el mar: Dadas las características de la plataforma continental en las demarcaciones españolas, relativamente estrechas y ricas en recursos pesqueros, no existen aerogeneradores situados en el mar. Sin embargo, a medio plazo se prevé la instalación de parques de generación de energías marinas, tanto eólica basada en aerogeneradores flotantes como a partir de dispositivos que aprovechen la energía undimotriz del oleaje. Es de esperar que futuros parques puedan alterar el régimen hidrográfico e hidrodinámico en zonas relativamente amplias.

El criterio 7.2 sobre el impacto de los cambios hidrográficos permanentes en el ecosistema tiene como primer indicador la extensión espacial de los hábitats afectados por dichas alteraciones (7.2.1). En realidad todo el entorno marino es hábitat de unas u otras especies por lo cual este indicador resulta en cierto modo redundante con el 7.1.1 y la caracterización del estado ambiental actual se corresponde con el resultado de cruzar información entre áreas afectadas por los impactos anteriormente mencionados y los hábitats recopilados en los descriptores 1 y 6. Por su parte el indicador 7.2.2, referido a cambios en la funcionalidad de los hábitats debidos a alteraciones de las condiciones hidrográficas, es más difícil de abordar de una forma objetiva. Los ecosistemas están altamente interconectados por lo cual no siempre es inmediato atribuir cambios funcionales a una presión específica, cuando de hecho varias presiones suelen afectar simultáneamente. Para tratar de tener una idea lo más afinada posible de cambios que hayan ocurrido debidos a alteraciones en las condiciones hidrográficas, se ha circulado una petición entre los diversos organismos científicos y de gestión medioambiental nacionales (Anexo II) para intentar recopilar todos aquellos casos documentados en los que se haya establecido o sugerido con cierto respaldo científico una relación causa-efecto entre alteración de condiciones hidrográficas y cambios funcionales en los ecosistemas. Esto incluye tanto las obras civiles y actuaciones directas en el mar (el objeto fundamental de este descriptor según se interpreta mayoritariamente) como aquellos cambios que se atribuyen al cambio climático.

1.3. Determinación de los niveles de referencia

A la hora de establecer un nivel de referencia o de base tenemos dos posibles puntos de partida a considerar, el correspondiente a un estado prístino anterior a que cualquier interferencia humana hubiese tenido lugar y el correspondiente al estado real en la actualidad. El documento AdGES7 indica que el BEA debe en principio



identificarse con el estado “normal” conocido, y ser modificado en función de las alteraciones inducidas por el cambio climático que puedan hacer variar las condiciones a escala de la propia demarcación.

En el caso del cambio climático los niveles de referencia serán las climatológicas existentes tanto de los campos termohalinos como de los campos de corriente y oleaje (incluyendo su estacionalidad intrínseca). En este sentido, los principales organismos de estudios del clima utilizan períodos de 30 años para definir condiciones de referencia. Para estudios oceánicos en muchos casos no se dispone de series temporales suficientemente largas y detalladas que permitirían construir climatologías robustas sobre períodos tan largos.

En lo que se refiere a las afecciones derivadas del impacto causado por obras civiles y vertidos, los niveles de referencia habrán de identificarse con el estado actual, que por tanto se asocia al BEA (es importante insistir que se trata de una valoración general para la demarcación). Sería interesante cuantificar en qué medida se ha distorsionado el estado actual respecto de un hipotético estado prístino, lo cual únicamente puede ser abordado mediante estudios específicos sustentados por modelos hidrodinámicos de vanguardia. De hecho, hoy en día no se realiza un modelado sistemático de regiones costeras al nivel de detalle requerido para proporcionar un mapeado continuo de los parámetros indicados en el anexo III de la Estrategia Marina que pudiera servir como referencia para actuaciones futuras. Existe sin embargo en nuestro país capacidad suficiente para implementar dichos modelos (p. ej. el Grupo de Ingeniería Oceanográfica y de Costas del IH Cantabria o la Unidad de Gestión Integrada de la Zona Costera IMEDEA–Gobierno de Islas Baleares), y de hecho se llevan a cabo estudios y proyectos específicos en este ámbito de forma regular, en ocasiones para dar soporte a declaraciones de impacto ambiental.

1.4. Evaluación del estado actual

Tal y como hemos venido indicando a lo largo del presente documento, se considera separadamente la gran escala, afectada por cambios graduales debidos a variabilidad natural y cambio climático, de las escalas locales e intermedias donde existe afección por causa de infraestructuras o actividades que generen vertidos o afecten a los vertidos naturales.

1.4.1. Gran escala: Cambio Climático

En el documento Marco General se han mostrado los campos climatológicos de las propiedades termohalinas en la Demarcación, así como una descripción de los patrones generales de circulación y los procesos mesoescalares más relevantes.



Sobreimpuesto a dichos campos climatológicos existe variabilidad en escalas interanuales y decadales y tendencias. La temperatura superficial del océano (SST) es la variable para la cual existe un registro más exhaustivo. Esto se debe a que la superficie del océano es fácilmente accesible desde buques en ruta y desde finales de los años 70 se dispone de observaciones remotas desde satélite (favorecido porque la medición de la temperatura presenta menos dificultades técnicas que la de otras variables). Por ello las tendencias en SST se utilizan generalmente como *indicador* para evaluar la incidencia del cambio climático.

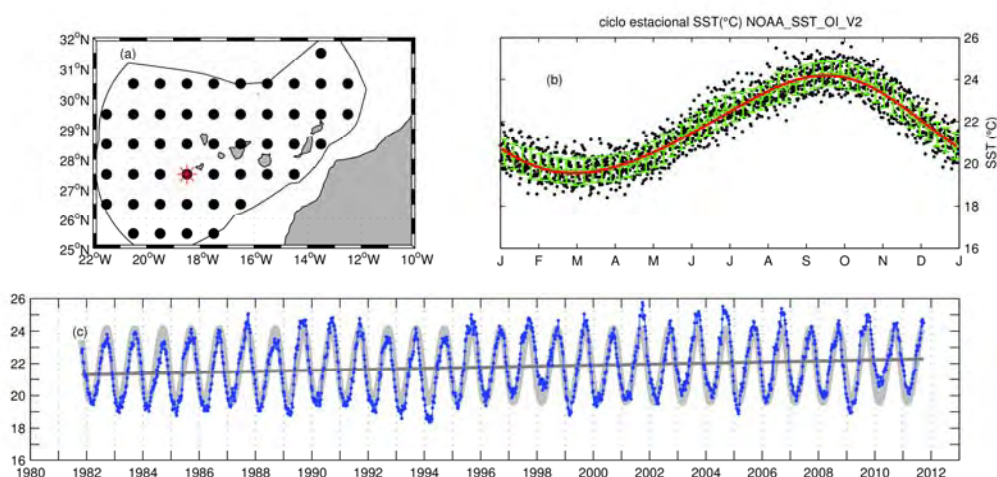


Figura 7.1. Ciclo estacional (b) y variabilidad interanual (c) de la SST en un punto representativo de la Demarcación Canaria (a). El registro reconstrucción SST de la NOAA (Reynolds *et al.*, 2002) que ofrece datos semanales en una malla de 1x1 desde principios de los 80.

En la Figura 7.1 se muestra un ejemplo de la variabilidad interanual en un punto concreto oceánico representativo de la Demarcación. La diferencia entre períodos anómalamente cálidos o fríos (en escalas temporales desde semanales hasta estacionales) suele ser inferior a los 2°C y rara vez excede los 3°C. Como se puede ver en la Figura 7.2 toda la Demarcación está sometida a una tendencia al calentamiento del orden de 0,02-0,03°C/década a excepción de la franja más próxima al continente africano, tal como se discutirá posteriormente. Por tanto el estado ambiental actual es de tendencia generalizada al calentamiento.

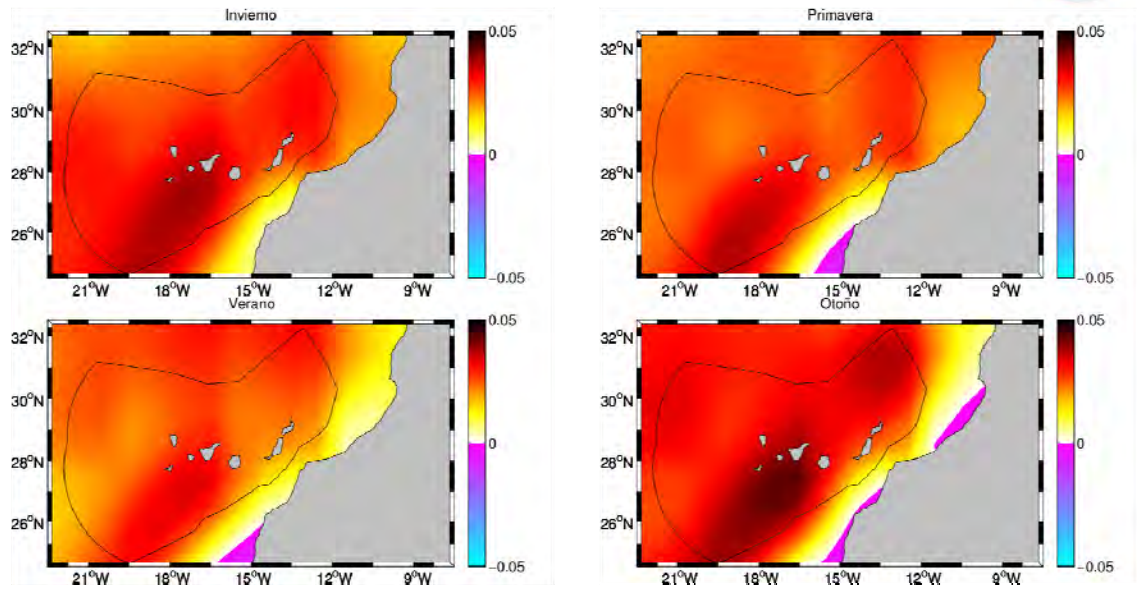


Figura 7.2. Tendencia de la SST por estaciones en la Demarcación Canaria. El registro reconstrucción SST de la NOAA (Reynolds *et al.*, 2002) que ofrece datos semanales en una malla de 1x1 desde principios de los 80.

La demarcación de Canarias abarca la zona de transición entre el afloramiento del noreste de África y el Atlántico subtropical, y por tanto las aguas superficiales más orientales de dicha demarcación también están afectadas por los cambios de larga escala que afectan los afloramientos. Desde 1960 se ha observado un fortalecimiento del afloramiento, consecuencia de un incremento en el gradiente de presión atmosférico entre el continente africano y el océano; gradiente que a su vez determina los vientos que producen el afloramiento [Narayan *et al.*, 2010]. Aunque existe controversia (Aristegui *et al.* 2009) sobre la persistencia de este efecto en el afloramiento de la Corriente de Canarias, su existencia podría enmascarar el calentamiento encontrado en los sectores más cercanos al afloramiento Canario-Sahariano de la demarcación de Canarias.

Los registros que caracterizan niveles más profundos son menos detallados y completos pero hay evidencias suficientes para confirmar que las masas de agua de la termoclina permanente se encuentran en proceso de calentamiento y aumento progresivo de la salinidad prácticamente en todo el mundo (según se recoge en los informes del Panel Intergubernamental del Cambio Climático (Houghton *et al.*, 2001; Solomon *et al.*, 2007). Las tendencias en contenido térmico y nivel del mar se han acentuado especialmente las últimas décadas y particularmente la región de la termoclina permanente del Atlántico Norte que ha sufrido recientemente un calentamiento muy acusado (Holliday *et al.*, 2008; Johnson y Gruber, 2007). Para el caso del Atlántico subtropical la situación es ligeramente diferente, la Figura 7.3



muestra las tendencias registradas en las estaciones fijas de la demarcación, con un calentamiento ($0,11 \pm 0,13^\circ\text{C}$) e incremento en salinidad ($0,014 \pm 0,026$ psu) que no es estadísticamente significativo para la capa representativa de las masas de agua de la termoclina y ligero enfriamiento ($-0,01 \pm 0,01^\circ\text{C}$) y descenso en salinidad ($-0,002 \pm 0,002$ psu) para la capas más profundas.

Tal y como muestra los datos de las estaciones fijas de la demarcación, los cambios a niveles intermedios no son estadísticamente significativos. A pesar de ello, se han documentado incrementos máximos, en temperatura y salinidad de hasta de $0,292^\circ\text{C}$ y 0.047 por década a 1600 metros de profundidad (Benítez-Barrios et al., 2008). Estas discrepancias aparentes son coherentes con los resultados del estudio realizado por Vélez-Belchí et al. (2011), donde se documentó un intenso enfriamiento en el Atlántico centro subtropical, entre 1998 y 2004, que ha devuelto las condiciones de las aguas intermedias a los niveles encontradas antes de 1981, y por tanto indicando que el orden del magnitud las señales decadales puede enmascarar los cambios a larga escala.

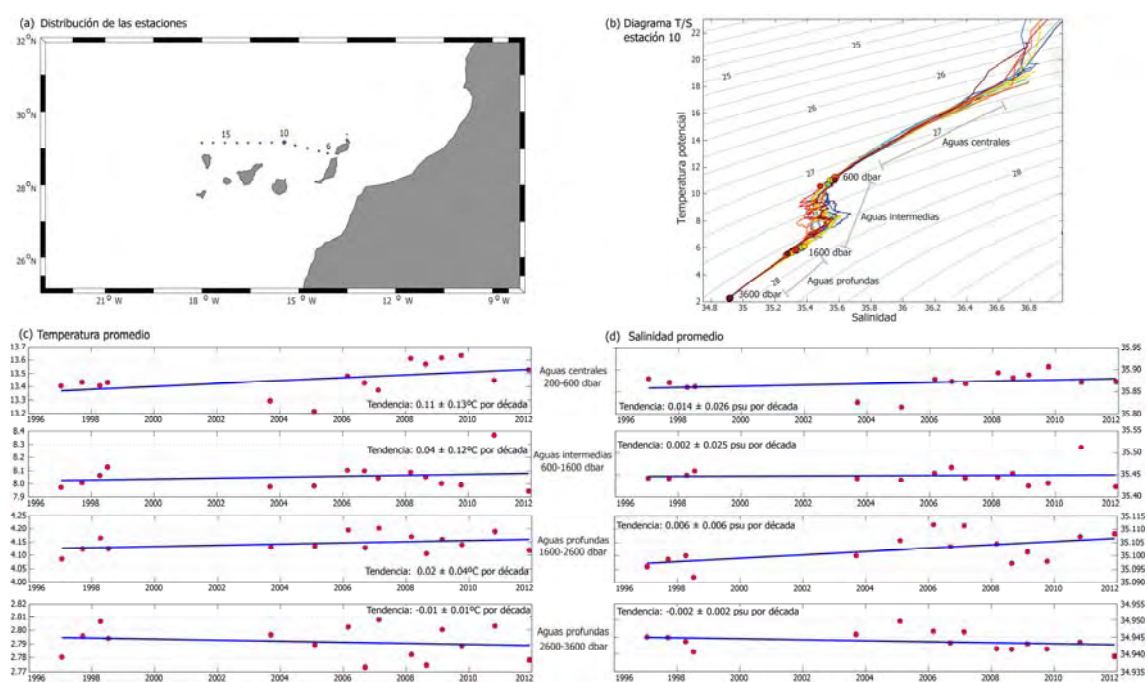


Figura 7.3. (a) Ubicación de las estaciones 6-17 de la Radial profunda de Canarias.

(b) Evolución del diagrama ΘS para la estación 10, distinguiendo diferentes periodos por medio de colores. (c) Evolución de la temperatura promedio en las estaciones 6-17 en las capas representativas de las aguas centrales (200–600 dbar), intermedias (600-1600 dbar) y profundas (1600-2400 dbar y 2400-3600 dbar). (d) Evolución de la salinidad promedio como en (c). Tomado Vélez-Belchí et al., 2012.



Adicionalmente hay que tener en cuenta que, aún bajo una situación de calentamiento generalizado, la respuesta del sistema climático atmósfera océano nunca será homogénea puesto que los sistemas dinámicos que redistribuyen el calor (vientos y corrientes marinas) se ven a su vez distorsionados. Los registros de corrientes marinas en las demarcaciones no son suficientemente sistemáticos y largos como para poder inferir tendencias en caso de que las hubiera (y de hecho aún no se han podido constatar tendencias significativas en los campos de corrientes en ningún océano del mundo). En este sentido será necesario mantener los muestreos existentes de parámetros básicos como corrientes marinas pues, en su caso, serán las que puedan dar cuenta de cambios notables en los regímenes de gran escala.

Los informes del Panel Intergubernamental del Cambio Climático recopilan la información científica disponible y presenta los escenarios globales y regionales más plausibles cara al futuro. En ellos se plantea un escenario futuro en el cual el frente polar se retirará más al norte, intensificándose las características meridionales en la Demarcación. Esto se traduce en aguas progresivamente más calientes y más salinas en las porciones más superficiales del océano. A nivel global se ha planteado la posibilidad de que la circulación meridional de retorno en el Atlántico se pueda ralentizar o detener, lo cual conllevaría consecuencias notables en el océano y en el clima.

Por otra parte cambios regionales en los regímenes de viento e intercambios de flujos aire-océano podrían traer aparejados cambios en los procesos mesoescalares locales que son fundamentales para los ecosistemas existentes. En el caso de la Demarcación de Canarias, destacan los procesos mesoescalares asociados al afloramiento Canario-Sahariano (Figura 7.4); si bien todavía existe gran incertidumbre sobre si el fortalecimiento del afloramiento llevaría asociado un incremento en los filamentos y frentes inducidos por el afloramiento. El resto de la actividad de mesoescala que afecta a la Demarcación de Canarias, principalmente remolinos a sotavento de las islas como consecuencia de la perturbación que representan para la corriente de Canarias y los vientos alisios las islas, o la actividad de mesoescala derivada de inestabilidades en la Corriente de Canarias y de Azores, casi con toda seguridad no se verían afectados en un escenario de cambio global.

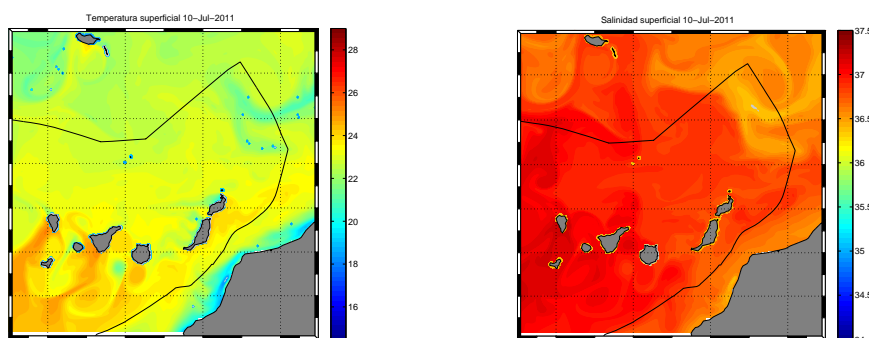


Figura 7.4. Salidas del sistema de predicción operacional MyOcean (www.myocean.eu) a) SST; b) SSS.

Desde el punto de vista de la gran escala, los hábitats afectados por el cambio climático son evidentemente todos. Se han identificado trabajos científicos que describen funciones del ecosistema que parecen haber sido perturbadas por causa del Cambio Climático y que se comentarán en las siguientes secciones al describir el estado actual en relación al indicador 7.2.2.

1.4.2. Escalas media y corta

Puesto que ésta componente del descriptor está directamente vinculada con la existencia de presiones, el estado actual ha de ser descrito a partir de los mapas de afecciones directas elaborados y presentados en el documento de análisis de presiones e impactos. Según dicha información, la totalidad de presiones relevantes para la demarcación Canaria se concentran en regiones costeras. Por otra parte, el estado ambiental actual ha de ser coherente con las condiciones hidromorfológicas determinadas en el marco de la DMA, que sin embargo es una análisis que no se ha llevado a cabo en ninguna de las regiones que forman parte de la presente demarcación.

Tal como se ha planteado en el desarrollo del descriptor, se han de considerar separadamente las afecciones que provienen de una fuente localizada, tales como grandes diques portuarios, de alteraciones no puntuales que causan un efecto acumulativo. A partir de informe de presiones se infiere lo siguiente:

1. ***Alteraciones no puntuales que causan un efecto acumulativo.***
 - ***Grado de modificación de costa.*** La medida agregada de la carga de elementos artificiales indica que la línea de costa en esta demarcación ha sido objeto de transformación en un porcentaje relativamente bajo, en torno al 8% (Figura 14 del documento de Presiones e impactos). La influencia de esta modificación progresiva del litoral en la hidrodinámica



costera es difícil de evaluar y tan sólo existen estudios específicos para las zonas adyacentes a grandes infraestructuras, donde se localizan los efectos más notables. Al tratarse de costas abruptas e irregulares como las que mayormente se corresponden con la demarcación Canaria, los propios accidentes naturales del litoral provocan que la hidrodinámica local sea muy irregular, con continuas zonas de convergencia/divergencia de flujos, siendo por tanto menos importante la incorporación de accidentes artificiales.

2. **Alteraciones Localizadas**

- *Obras civiles que se introducen en el mar.* Existen ciertas obras civiles que ocupan un terreno marítimo (Figura 5 del documento de Presiones e impactos), destacando en este caso el Puerto de Santa Cruz de Tenerife y Las Palmas (otros diques menores serían el puerto de Arrecife y El Rosario). La posible afección quedaría limitada a estos lugares. En la actualidad se está construyendo el puerto de Granadilla al sur de Tenerife que previsiblemente tendrá un impacto significativo en la hidrodinámica local.
- *Vertidos térmicos o halinos.* Existe un conjunto de instalaciones industriales que dan lugar a vertidos en la demarcación, incluyendo centrales térmicas en todas las islas (Figura 44 del Análisis de Presiones e Impactos) y numerosas estaciones desaladoras (Figura 48). La afección causada por vertidos de efluentes con condiciones hidrográficas alteradas tienen un alcance local y que en parte coincide con las zonas afectadas por obras civiles (puesto que las grandes infraestructuras que producen vertidos se sitúan en muchos casos en zonas portuarias).

Uno de los objetivos del presente descriptor es determinar cuáles son los hábitats afectados por estas perturbaciones y en qué medida, lo cual depende del cruce entre las cartografías de presiones y de hábitats. En la demarcación Canaria apenas existe plataforma continental y no existe un programa de seguimiento a partir de campañas de arrastre, por lo que no se han podido confeccionar cartografías de hábitats oceánicos a semejanza de otras demarcaciones que permitan hacer un cruce de hábitats/impactos. Las cartografías de hábitats costeras están a su vez muy limitadas y apenas se ha podido dar cuenta de las áreas directamente afectadas.

El Análisis de Presiones e Impactos presenta estimaciones cuantitativas de acumulación de presiones en celdas estándar de 5 minutos de grado para (i) Potencial alteración del régimen hidrodinámico y modificación de la sedimentación (Figura 24)



(ii) Potencial alteración de de régimen térmico (no realizada por tener un alcance muy local) y (iii) Potencial alteración de de régimen halino (Figura 54). Para ello se ha establecido criterios objetivos con valoraciones de impactos existentes en cada celda según su tipo y magnitud y que se describen en el documento correspondiente.

1.4.3. Alteraciones en la funcionalidad de los ecosistemas

En lo referente al indicador 7.2.2, los resultados de trabajos científicos que dan cuenta de cambios en los ecosistemas debidos a alteraciones en la hidrografía del entorno son los siguientes:

- Disminución de la productividad en las ultimas décadas en el ecosistema del afloramiento de la Corriente de Canarias (Arístegui et al, 2009). Mayor ocurrencia de *blooms* de dinoflagelados (mareas rojas) con posibles implicaciones para la salud del medio y humana.
- El aumento observado en la temperatura de las aguas de termoclina ha propiciado el movimiento hacia el norte de especies subtropicales (Philippart *et al.*,2011).
- Aparición de corales de aguas cálidas, del género *Millepora* en el Atlántico Oriental subtropical (Tenerife, islas Canarias), once grados de latitud al norte de su límite septentrional conocido en las islas de Cabo Verde (Brito *et al.* 2010). También se ha registrado un elevado incremento de las especies tropicales en la zona Clemente *et al.* (2011).
- Incremento de las zonas bentónicas desoladas como consecuencia del asentamiento de erizo de mar (*Diadema aff. antillarum*) en un escenario de calentamiento global (Hernández et al, 2010)
- El incremento en las poblaciones de erizo de mar (*Diadema aff. Antillarum*) aparece correlacionado con diversos factores antropogénicos, entre ellos el número de habitantes, turistas y barcos de pesca operativos (Hernández et al, 2008).

En resumen, se observa para la Demarcación:

1. Los ecosistemas están en un proceso de meridionalización, incluyendo una reducción en la producción primaria y desplazamiento al norte de la distribución de especies en toda la cadena trófica (desde plancton hasta peces incluyendo bosques de algas).
2. No se han descrito problemas relevantes en especies o ecosistemas litorales debidos a la modificación directa de línea de costa o la construcción de



infraestructuras en el mar, si bien existen evidencias de que factores antropogénicos están ligados al incremento de especies vinculadas a zonas bentónicas desoladas.

1.5. Lagunas de información y conocimiento

A la hora de describir las tendencias en las condiciones hidrográficas que puedan estar teniendo lugar a causa del cambio climático, el principal problema es que los programas de monitorización y los registros de series temporales son relativamente recientes. En este sentido, ni siquiera se ha determinado con precisión cuáles son los regímenes normales (climatológicos) de corrientes marinas en las plataformas continentales ni en el océano intermedio o profundo. Por tanto es necesario mantener y optimizar los programas de monitorización existentes y que nuestro país se involucre a fondo en las diferentes iniciativas internacionales que persiguen la creación de un sistema global integrado de observación de la tierra.

La determinación del impacto de obras civiles debería en principio estar cubierta por los diferentes estudios de impacto ambiental a que obliga la ley. En este sentido el desarrollo de modelos operativos que permitan caracterizar las condiciones hidrográficas en escalas cortas e inferir como éstas pueden resultar afectadas por el desarrollo de infraestructuras es fundamental, tanto para la gestión integrada de zonas costeras como para la Estrategia Marina. Sería adecuado hacer explícita la obligatoriedad, para los estudios de impacto ambiental, de indicar los rangos de afección esperados a consecuencia de las obras que se vayan a realizar.

1.6. Evaluación integrada a nivel de criterio y descriptor. Conclusiones

En definitiva, el aspecto más relevante es que los efectos del calentamiento observado en las últimas décadas en nuestra región, que la ciencia atribuye al cambio climático, ejerce una presión importante sobre la Demarcación. Si bien no siempre es inequívoco atribuir los efectos observados en los diferentes ecosistemas al efecto exclusivo del cambio climático si se acumulan evidencias en este sentido.

Por otra parte, el impacto producido por infraestructuras civiles está muy localizado y es limitado. De hecho, siguiendo las recomendaciones del documento AdGES7 de OSPAR, que indica que el D7 “pretende dar respuesta a **nuevas** actuaciones a **gran escala**”, dejaría en principio todas las infraestructuras recogidas en los anteriores mapas fuera de su ámbito de actuación. Finalmente, el impacto agregado de la modificación de la costa y de las regulaciones de las cuencas hidrográficas es difícil de evaluar. Sólo es posible constatar la existencia de una afección pero en cualquier caso el estado de referencia ha de identificarse con el propio estado actual.



2. DEFINICIÓN DEL BUEN ESTADO AMBIENTAL

2.1. Interpretación del BEA en relación con los criterios del Descriptor 7

Como se ha indicado anteriormente, el documento de recomendaciones AdGES7 de OSPAR proporciona un conjunto de directrices para la interpretación del BEA en relación con el D7 y los criterios que lo estructuran. Lo fundamental según dicho documento es que el D7 ha de hacerse cargo de desarrollos nuevos, de gran escala y que causen alteraciones de forma permanente (es decir, obviando cambios temporales durante fases de construcción). En cuanto al cambio climático, todos los ecosistemas se encuentran en un proceso de transición, por lo que el BEA ha de tener en cuenta las condiciones ambientales existentes en cada momento.

2.2. *Ámbito y limitaciones*

El D7 está fuertemente ligado a las presiones causadas por infraestructuras localizadas bien en terrenos marítimos o bien en la costa pero que impliquen interacción con el entorno marino. Por tanto el estado ambiental se asocia unívocamente a la presencia o ausencia de presiones, de tal forma que al retirar cierta presión se restituye inmediatamente el estado “natural”. Este hecho condiciona la caracterización del estado ambiental en el sentido de que para otros descriptores la respuesta del sistema a las presiones es más compleja o indirecta (el estado ambiental puede ser lentamente reversible o incluso irreversible tras retirar una presión).

La ocupación de costa y terrenos marítimos se ha venido haciendo de forma progresiva históricamente por lo que no se dispone de estudios históricos detallados sobre la hidrodinámica costera local que sirvan de referencia para cuantificar como se han ido modificando las condiciones. Por tanto, y a escala de la demarcación, no es posible definir el buen de estado ambiental en base a otro supuesto que no sea asimilar el estado actual al BEA (tal y como se indica en el documento AdGES7 de OSPAR).

2.3. *Definición del BEA. Metodología y fundamento*

Por la propia naturaleza del descriptor, la definición del buen estado ambiental ha de ser de carácter cualitativo y no puede apoyarse en valores de referencia de ciertos parámetros que no deban superarse (tal y como ocurre por ejemplo en el caso de contaminantes). La propuesta de definición del BEA sería la que sigue:

Las condiciones hidrográficas e hidrodinámicas en la demarcación son naturales excepto localmente, en determinadas zonas afectadas por



infraestructuras, siendo la extensión de éstas reducida en comparación con las zonas naturales y no causando daños irreversibles en hábitats biogénicos y hábitats protegidos.

Los hábitats marinos evolucionan en consonancia con las condiciones climáticas reinantes.



ANEXOS

Anexo I. Glosario de términos y acrónimos

AdGES7: Advice Document on GES 7 – Hydrographical conditions. OSPAR Convention for the Protection of the Marine Environment of the North-East Atlantic. Intersessional Correspondence Group for the Implementation of the Marine Strategy Framework Directive (ICG-MSFD). Ref: ICG-MSFD(4) 11/2/2-E.

DC2010: DECISIÓN del al Comisión de 1 de septiembre de 2010 sobre los criterios y las normas metodológicas aplicables al buen estado medioambiental de las aguas marinas. Diario Oficial de la Unión Europea. 2010/477/UE. p.232/14.

DMA: DIRECTIVA 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 23 de octubre de 2000 por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas. Diario Oficial de la Unión Europea. 22.12.2000. L.237 1-73.


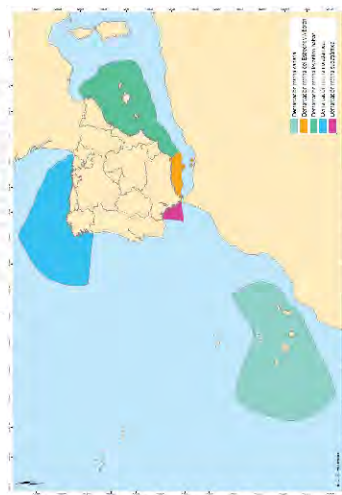
DMEM: DIRECTIVA 2008/56/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 17 de junio de 2008 por la que se establece un marco de acción comunitaria para la política del medio marino (Directiva marco sobre la estrategia marina). Diario Oficial de la Unión Europea. 25.6.2008. L.164 19-40.



RMSJRC: Review of Methodological Standards Related to the Marine Strategy Framework Directive Criteria on Good Environmental Status. Ref: JCR EUR 24743 EN - 2011.

SEC2011: COMMISSION STAFF WORKING PAPER: Relationship between the initial assessment of marine waters and the criteria for good environmental status. Brussels, 14.10.2011 SEC(2011) 1255 final.



Anexo II. Documento de solicitud de información científica

| | |
|---|---|
|  <p>MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN</p> | <p>INSTITUTO ESPAÑOL DE OCEANOGRAFÍA</p> |
| <p>Gran escala. Toda la comunidad o cuenca oceánica completa. En principio contemplando el cambio climático.</p> | <p>Cambio en distribuciones de especies en general (e.g. plancton, riverásteros, bancos de microalgas, peces, mamíferos marinos, etc.)</p> <p>Cambia en comportamiento de especies (e.g. adelantamiento de épocas de puesta, alteraciones en patrones de migración de pelágicos, manifiestas, sesas etc.)</p> <p>Cambios funcionales en el ecosistema (e.g. alteración de niveles de producción primaria etc)</p> <p>Otros</p> |
| <p>Escala media y local. Una porción de la demarcación en el rango de la mesoescala oceánica (decenas de km) o un lugar puntual.</p> | <p>Casos de alteraciones del funcionamiento del ecosistema por regulación de caudales de grandes ríos (e.g. especies cuyas puestas o reclutamientos están asociados a plumas de río). Alteraciones causadas por cambios del régimen de corrientes debido a grandes estructuras de ingeniería.</p> <p>Casos de ocupación física de hábitats relevantes por estructuras marinas.</p> <p>Casos de destrucción de hábitats relevantes por vertidos marinos.</p> <p>Otros</p> |
| <p>Demarcaciones nacionales (este mapa es para uso técnico y no refleja los límites oficiales con los Estados vecinos).</p>  | |

| | |
|--|---|
|  <p>MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN</p> | <p>INSTITUTO ESPAÑOL DE OCEANOGRAFÍA</p> |
| <p>César M. González-Fots Muritz Instituto Español de Oceanografía c/ Príncipe de Asturias 70 Bta. CP 35312, Gifón</p> | <p>Solicitud de información sobre cambios en el ecosistema marino potencialmente causados por alteraciones hidrográficas.</p> <p>Estimado/a compañero/a:</p> <p>Como parte del desarrollo nacional de la implementación de la Directiva Marco de Estrategia Marina, desde el Instituto Español de Oceanografía y el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, estamos recopilando información relevante a los diferentes descriptores cualitativos que han sido definidos por la Comisión Europea. El descriptor nº7 indica que para alcanzar un buen estado ambiental ha de observarse que "la alteración, permanentemente de las condiciones hidrográficas no afecta de manera adversa a los ecosistemas marinos". El desarrollo de criterios de dicho descriptor indica que ha de atenderse a los cambios hidrográficos permanentes y explícitamente a:</p> <p>Cambios en los hábitats y, en especial, en las funciones que en ellos se desarrollan (como por ejemplo zonas de cría, de alimentación o como rutas migratorias etc.); áreas y márgenes y consecuentemente de una alteración de las condiciones hidrográficas (7.2.2).</p> <p>En ese contexto, se ha creído conveniente realizar un recopilación, lo más exhaustiva posible, de casos específicos en los que claramente se haya establecido o sugerido que una variación del régimen hidrográfico/hidroclimático aparece como causante de cambios en hábitats marinos. Se consideran tanto los cambios a pequeña y media escala debidos a una acción directa antropogénica en el medio marino como los cambios a gran escala, concretamente aquellos debidos al incremento de la temperatura del agua en las últimas décadas y que en última instancia se atribuyen al cambio climático.</p> <p>Para que la presente recopilación sea lo más detallada posible, necesitamos la colaboración de toda la comunidad científica nacional. Por ello le pido que si eres autor de o conoces algún trabajo que pueda ser relevante, nos haga llegar la referencia bibliográfica junto con una o dos líneas que describan el cambio observado y nos indiquen a su vez a qué (cuales) demarcación(es) corresponden según tabla y mapa adjuntos en la siguiente página. El medio preferido es el correo electrónico (a las direcciones siguientes) indicando en el cuerpo del mensaje Cambios en Hábitats. SW descriptor 7.2.2.</p> <p>palvo.vicente@ciob.es palvo@ciob.es</p> <p>Agradeciendo de antemano tu valiosa colaboración, Un cordial saludo</p>  |
| <p>1 de 31/2010 de 29 de diciembre, de aprobación del medio marino. * DIRECTIVAN DE LA COMISION DE 1 de septiembre de 2010 sobre las emisiones y las normas medioambientales aplicables al buque estado medioambiental de las aguas marinas. Diario Oficial de la Unión Europea. 2010/477/UE. p.232/34.</p> | |



Anexo III. Referencias

Arístegui, J., E. D. Barton, X. A. Álvarez-Salgado, A. M. P. Santos, F. G. Figueiras, S. Kifani, S. Hernández-León, E. Mason, E. Machú, and H. Demarcq (2009), Sub-regional ecosystem variability in the Canary Current upwelling, *Progress in Oceanography*, 83(1–4), 33–48, doi: 10.1016/j.pocean.2009.07.031.

Benítez-Barrios, V. M., A. Hernández-Guerra, P. Vélez-Belchí, F. Machín, and E. Fraile-Nuez (2008), Recent changes in subsurface temperature and salinity in the Canary region, *Geophys. Res. Lett.*, 35, L07603, doi:10.1029/2008GL033329.

Brito, A.; Rodríguez, A.; Monterroso, O.; González, S.; Clemente, A.J.; Hernández, J.; Viera, F.; 2010. Sobre la presencia de hidrocorales del género *Millepora* (Hydrozoa: Milleporidae) en el atlántico oriental subtropical (Islas Canarias) y su relación con eventos climáticos. *Acad. Canar. Cienc.*, XXI, 3-4, 35–44.

Clemente, S.; Rodríguez, A.; Brito, A.; Ramos, A.; Monterroso, O.; Hernández, J.C.; 2011. On the occurrence of the hydrocoral *Millepora* (Hydrozoa: Milleporidae) in the subtropical eastern Atlantic (Canary Islands): is the colonization related to climatic events?. *Coral Reefs*, 1, 237–240.

Hernández JC, Clemente S, Sangil C, Brito A, The key role of the sea urchin *Diadema aff. antillarum* in controlling macroalgae assemblages throughout the Canary Islands (eastern subtropical Atlantic): An spatio-temporal approach, *Marine Environmental Research*, Volume 66, Issue 2, August 2008, Pages 259-270, ISSN 0141-1136, 10.1016/j.marenvres.2008.03.002.

Hernández JC, Clemente S, Girard D, Pérez-Ruzafa Á, Brito A (2010) Effect of temperature on settlement and postsettlement survival in a barrens-forming sea urchin. *Mar Ecol Prog Ser* 413:69-80

Holliday, N.P.; Hughes, S.L.; Bacon, S.; Beszczynska-Moller, A.; Hansen, B.; Lavin, A.; Loeng, H.; Mork, K.A.; Osterhus, S.; Sherwin, T.; Walczowski, W.; 2008. Reversal of the 1960s to 1990s freshening trend in the northeast North Atlantic and Nordic Seas, *Geophys. Res. Lett.*, 35.

Houghton, J.T.; Ding, Y.; Griggs, D.J.; Noguer, M.; van der Linden, P.J.; Dai, X.; Maskell, K.; Johnson, C.A. (Eds.). 2001. *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution*



of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Johnson, G.C.; Gruber, N.; 2007. Decadal water mass variations along 20 degrees W in the Northeastern Atlantic Ocean. *Prog. Oceanogr.*, 73, 277–295.

Narayan, N., A. Paul, S. Mulitza, and M. Schulz (2010), Trends in coastal upwelling intensity during the late 20th century, *Ocean Sci*, 6(3), 815–823, doi:10.5194/os-6-815-2010.

Philippart, C.; Anadón, R.; Danovaro, R.; Dippner, J.; Drinkwater, K.; Hawkins, S.; Oguz, T.; O’Sullivan, G.; Reid, P.; 2011. Impacts of climate change on European marine ecosystems: Observations, expectations and indicators, *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 400, 52 – 69.

Reynolds, R.W.; Rayner, N.A.; Smith, T.M.; Stokes, D.C.; Wang, W.Q.; 2002. An improved in situ and satellite SST analysis for climate, *J. Clim.*, 15, 1609–1625.

Solomon, S.; Qin, D.; Manning, M.; Marquis, M.; Averyt, K.M.; Tignor, M.B.; Miller, H.L.; Chen, Z. (Eds.), 2007. *Climate Change 2007 - The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Fourth Assessment Report of the IPCC (Climate Change 2007)*, Cambridge University Press.

Vélez-Belchí, P., Hernández-Guerra A., Fraile-Nuez E., and Benítez-Barrios V., 2010, Changes in Temperature and Salinity Tendencies of the Upper Subtropical North Atlantic Ocean at 24.5°N, *Journal of Physical Oceanography*, 40(11), 2546–2555, doi:10.1175/2010JPO4410.1.

Vélez-Belchí, P.; Fraile-Nuez, E.; López-Laatzén, F.; Benítez-Barrios, V.; Cómas-Rodríguez, I.; Pérez-Hernández, M.D.; A. Hernández-Guerra, 2012. Hidrografía y circulación, en *Cambio climático y oceanografía en Canarias*, en preparación, *Temas de Oceanografía*, Instituto Español de Oceanografía.