



ESTRATEGIA MARINA
DEMARCACIÓN MARINA NORATLÁNTICA
PARTE IV. DESCRIPTORES DEL BUEN ESTADO AMBIENTAL
DESCRIPTOR 5: EUTROFIZACIÓN
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:

- Dolores Cortés
- Francisco Gómez
- Jesús M. Mercado
- Lidia Yebra

Asistencia Técnica TRAGSATEC S.A.:

- Alejandro León

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 5: EUTROFIZACIÓN

Índice

| | |
|---|-----------|
| 1. CONSIDERACIONES PREVIAS A LA EVALUACIÓN DEL DESCRIPTOR | 1 |
| 1.1. Incorporación de los trabajos de OSPAR y la DMA en la evaluación de la Eutrofización..... | 1 |
| 1.2. Escala espacial y temporal..... | 3 |
| 1.3. Principales presiones e impactos | 10 |
| 1.4. Fuentes de información..... | 12 |
| 1.4.1. Programas de seguimiento..... | 12 |
| 1.4.2. Fuentes de información..... | 12 |
| 1.4.3. Otras fuentes de información..... | 15 |
| 2. EVALUACIÓN DEL ESTADO AMBIENTAL ACTUAL..... | 17 |
| 2.1. Conceptos clave y criterios de evaluación | 17 |
| 2.2. Elementos de evaluación..... | 18 |
| 2.3. Determinación de niveles de referencia o de base..... | 23 |
| 2.4. Evaluación del estado actual. Principales presiones, actividades e impactos. ... | 34 |
| 2.4.1. Estado actual y tendencias de las principales presiones..... | 34 |
| 2.4.2. Estado actual y tendencias temporales de los indicadores de presión..... | 35 |
| 2.4.3. Estado actual y tendencias temporales de los indicadores de efectos directos..... | 44 |
| 2.4.4. Estado actual y tendencias temporales de los indicadores de efectos indirectos... | 49 |
| 2.4.5. Evaluación integrada del estado actual de los indicadores y el descriptor..... | 51 |
| 2.5. Lagunas de información y conocimiento. Necesidades de investigación y desarrollo de programas de seguimiento | 57 |
| 2.6. Conclusiones..... | 59 |
| 3. DEFINICIÓN DEL BUEN ESTADO AMBIENTAL..... | 61 |
| 3.1. Interpretación del BEA en relación con los criterios del Descriptor 5 | 61 |
| 4. REFERENCIAS | 65 |
| 5. ANEXOS..... | 70 |
| Anexo I. Glosario de términos y acrónimos..... | 70 |
| Anexo II. Determinación de niveles de base: Metodología y fundamento | 73 |



1. CONSIDERACIONES PREVIAS A LA EVALUACIÓN DEL DESCRIPTOR

El marco conceptual que ha guiado la evaluación del descriptor 5 está basado en las recomendaciones del grupo de trabajo sobre Eutrofización promovido por la UE (Ferreira, 2010). En el Apartado 5 de la sección IV del Documento Marco de las Estrategias Marinas (*Descriptores del Buen Estado Ambiental*) se discute ampliamente cómo se han adaptado estas recomendaciones para la elaboración de la presente evaluación. En el mismo documento se discute además cómo se han integrado en el presente informe (1) las directrices emanadas de los diferentes convenios regionales que han desarrollado programas de seguimiento de la eutrofización y (2) los desarrollos técnicos derivados del seguimiento y evaluación realizados en el marco de la implementación de otras directivas europeas (en particular de la DMA). Las particularidades de este proceso de discusión que ha guiado la evaluación del Descriptor 5 en la Demarcación Noratlántica se exponen a continuación.

1.1. Incorporación de los trabajos de OSPAR y la DMA en la evaluación de la Eutrofización

OSPAR ha emitido hasta la fecha dos informes integrados sobre el estado de eutrofización, que incluye sendas evaluaciones del área marítima de la Demarcación Marina Noratlántica. La primera de estas evaluaciones está basada en datos del período 1991-2001 y la segunda en datos obtenidos de 2001 a 2005. Aunque escasos, estas evaluaciones recogen datos sobre la carga de nutrientes y clorofila *a* de la Demarcación Marina así como una propuesta de valores de evaluación para algunos de los indicadores y otra información adicional de interés. Las conclusiones de las evaluaciones y el resto de información comentada han sido utilizadas en el presente informe para la descripción y evaluación del estado actual del Descriptor 5. Además del uso de estos datos, el Procedimiento Común de OSPAR ha sido tenido en cuenta en los siguientes aspectos:

- Las recomendaciones de la Estrategia de Eutrofización de OSPAR para la evaluación cuantitativa y/o cualitativa de cada uno de los indicadores del Descriptor 5 (o del parámetro armonizado equivalente). En especial se han tenido en cuenta las recomendaciones del comité HASEC recogidas en los documentos *Development of advice on GES descriptor 5 (eutrophication)* y *Terms of reference for the review of the Common Procedure* aun cuando se trata de documentos que se encuentran en su fase de borrador (ver Documento Marco).



- En la definición del BEA se han adoptado como criterios de calidad ambiental en cuanto a la eutrofización los descritos en el Procedimiento Común para la evaluación integrada de los parámetros armonizados.

Por otro lado, algunos de los elementos de calidad de la DMA son equivalentes a los indicadores del Descriptor 5 (ver Documento Marco). Con respecto a los mismos, la DMA establece valores de referencia que sirven para evaluar su estado. Bajo este punto de vista, las evaluaciones para los elementos de calidad de la DMA equivalentes a algunos de los indicadores del Descriptor 5 han sido asumidas en la presente evaluación para las áreas costeras. Sin embargo, hay que notar que en el marco de aplicación de la DMA no se lleva a cabo una evaluación integrada de la eutrofización, como requiere la DMEM, que establece además una jerarquía de indicadores (niveles de nutrientes, efectos directos y efectos indirectos). Por lo tanto, la evaluación del Descriptor 5 integrará la evaluación de los elementos de calidad de la DMA, pero va algo más allá en la evaluación de las relaciones entre las presiones y los efectos.

Teniendo en cuenta estas consideraciones, la integración de los trabajos llevados a cabo en cumplimiento de la DMA en la evaluación del Descriptor 5, se ha realizado en las siguientes fases:

1. En la Evaluación del Estado Actual, se ha tenido en cuenta la zonación de la franja costera para la descripción de las presiones, tal como se recoge en las Memorias de los proyectos de Plan Hidrológico de las Demarcaciones Hidrográficas de las Cuencas que presentan masas de agua costera localizadas en la Demarcación. Por otro lado, se han incorporado al análisis los datos que las CCAA han generado en la implementación de la DMA a través del instrumento técnico que han empleado para ello. Estos datos han sido remitidos por las CCAA y han sido integrados dentro de la base de datos en que se fundamenta la presente evaluación.
2. En la definición del Buen Estado Ambiental, se han tomado como valores de evaluación de clorofila a los publicados en la Instrucción de Planificación Hidrológica (Orden ARM/2656/2008 de 10 de septiembre). Adicionalmente, para nutrientes se han tomado en consideración los valores propuestos por las CCAA para la evaluación de sus masas de agua costera.

1.2. Escala espacial y temporal

En la Demarcación Noratlántica, el forzamiento atmosférico e hidrológico configura áreas oceánicas con diferente productividad que se caracterizan no sólo por una mayor o menor concentración de clorofila anual, sino también por diferencias en la intensidad y duración de los picos estacionales (Fernández et al., 1993; Bode et al., 1994, 2002a,b 2009; Varela, 1996, 2010; Castro et al., 1997, Lavín et al., 1998; García-Soto et al., 2002; Llope et al., 2003; González-Quirós et al., 2004; García-Soto, 2006; Gil, 2008; ver también las referencias citadas en el Documento Marco). La identificación de estas áreas de productividad contrastante es necesaria para describir un marco *esperable* (o si se quiere valores de base de clorofila a) que permita determinar la presencia de núcleos con alta productividad atribuibles en su caso a contaminación por nutrientes. La definición de estas áreas de productividad contrastante requiere el empleo de series temporales de datos con una alta resolución temporal, que sea además homogénea espacialmente. Los datos procedentes de campañas oceanográficas no cumplen estos requisitos ya que normalmente sólo se cuenta con muestreos puntuales o bien el esfuerzo de muestreo en unas zonas y otras es muy desigual. Por el contrario, las imágenes de satélite sí ofrecen una aproximación sinóptica de toda la demarcación con una alta resolución temporal. Es por esto que decidimos utilizar esta herramienta para llevar a cabo la de identificación de las áreas de productividad.

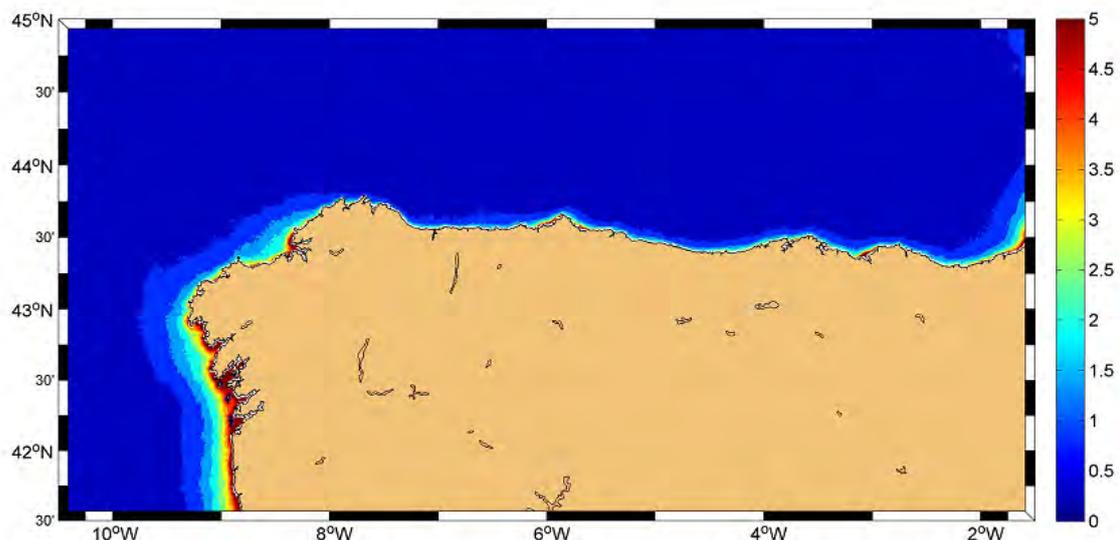


Figura 5.1. Distribución de la concentración de clorofila a de satélite en la demarcación marina Noratlántica, estimada a partir de los datos promediados para el periodo 2002-2010 proporcionados por el satélite MODIS-AQUA.

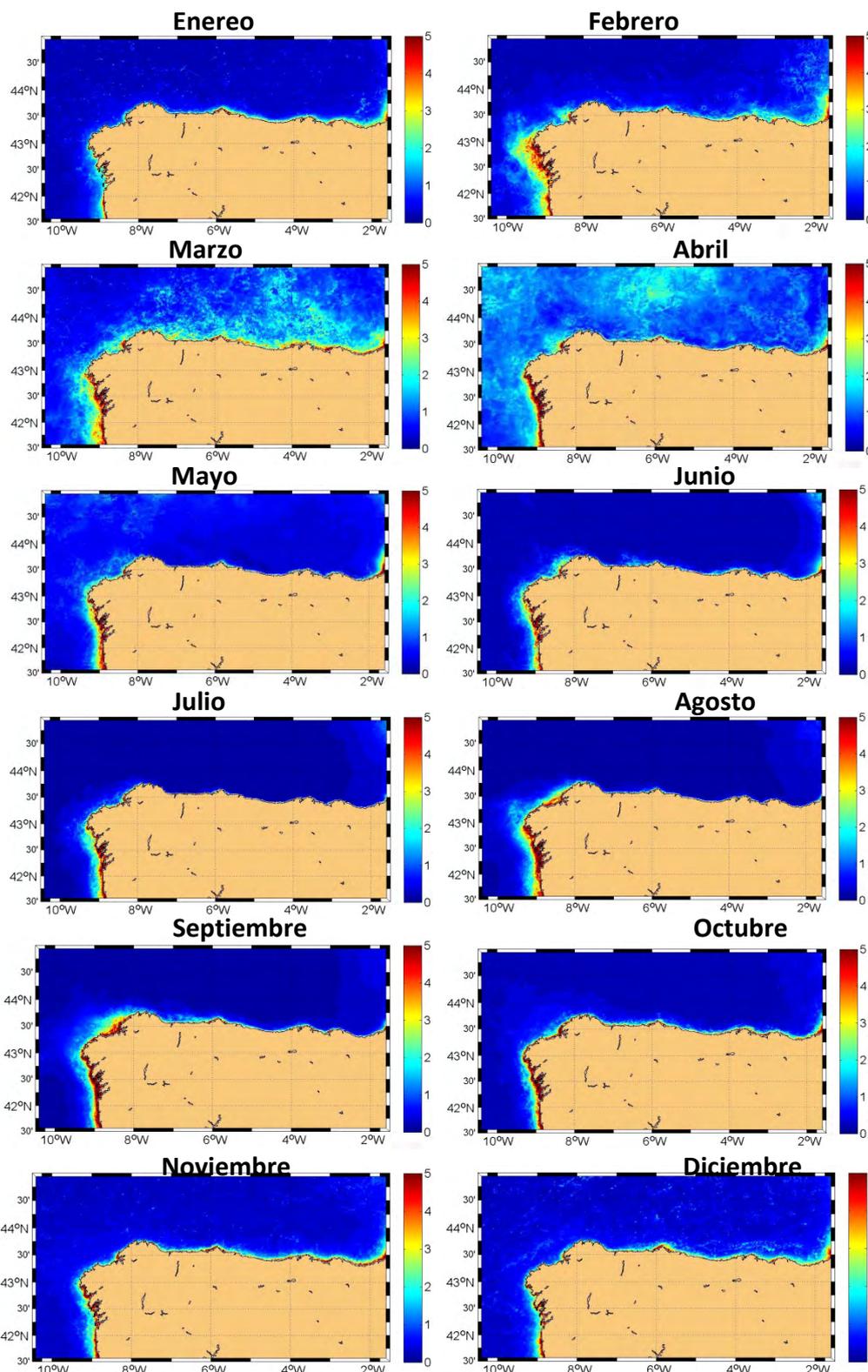


Figura 5.2. Distribución mensual de la clorofila a de satélite calculado a partir del promedio del período 2002-2010 (satélite Modis-Aqua).



El potencial de las imágenes de satélite para describir la variabilidad espacial y temporal de la clorofila a en el área del afloramiento de Galicia, el Cantábrico y otras zonas próximas es demostrado por la relativamente abundante literatura científica disponible en la que se hace uso de esta herramienta (ver entre otros Bardey et al., 1999; Gohin et al., 2003, 2005, 2008, 2011; García-Soto, 2006; García-Soto y Pingree, 2009; Varela et al., 2010; Novoa et al., 2012a,b). Más específicamente, el seguimiento de la eutrofización basado en imágenes de satélite ha sido propuesto por numerosos autores [ver entre otros los siguientes artículos: Bailey et al. (2000), Hooker and McClain (2000), Gregg and Casey (2004), Bailey y Werdell (2006), Banks et al., (2012) y Novoa et al. (2012)]. De hecho Gohin et al. (2008) discutieron la utilidad de esta herramienta para el seguimiento de las aguas costeras evaluadas en la Directiva Marco del Agua en el Golfo de Vizcaya. Por otro lado, el grupo de trabajo sobre el D5 de la UE recomendó el uso de las imágenes de satélite como una de las metodologías para el seguimiento de la concentración de la clorofila a en el marco de la DMEM (Ferreira et al. 2010). No obstante, hay que tener en cuenta que la estimación de la clorofila a a partir de las imágenes de satélite está sometida a ciertas limitaciones. Así, en general se asume que la incertidumbre asociada a los valores de clorofila a de satélite calculados con los algoritmos empíricos globales basados en análisis de regresión entre los datos de satélite y las bases de datos de clorofila a *in situ* es relativamente alta (de $\pm 35\%$ según Cota et al., 2004 y MacClain, 2009). La incertidumbre podría ser aún mayor para las aguas costeras en las que el material particulado no algal o las sustancias coloreadas disueltas (que pueden alcanzar la costa por vía de la escorrentía de ríos y arroyos) modifican las propiedades ópticas de la columna de agua. Banks et al. (2012) discutieron ampliamente las limitaciones de las imágenes de satélite para reproducir los valores de concentración de clorofila a en masas de agua costera tipo II (esto es, en aguas donde el fitoplancton no es el principal componente que determina las propiedades ópticas de la columna de agua). Froidefond et al. (2005) y Novoa et al. (2012) demostraron que el satélite tendía a sobreestimar considerablemente los valores de clorofila a *in situ* en masas de agua costera afectadas por descargas de ríos en el golfo de Vizcaya. Dadas las características hidrográficas de la Demarcación Marina, así como la naturaleza de los ríos y arroyos que desembocan en la misma, es de esperar que la presencia de aguas tipo II se reduzca a zonas costeras muy próximas a la desembocadura (nótese que los estuarios no serán evaluados en la DMEM). Por lo tanto, este factor no debe añadir mayor incertidumbre al cálculo de la clorofila a a partir de las imágenes de satélite, salvando las zonas costeras que se comentan.

Para solventar en lo posible las limitaciones del uso de los algoritmos globales en el cálculo de clorofila a a partir de satélite, se ha propuesto desarrollar algoritmos



regionales basados en información de la clorofila a *in situ* recogida en cada región marina específica (ver por ejemplo Bricaud et al., 2002; Darecki et al., 2005; Eiras-García et al., 2005; Sancak et al., 2005; Volpe et al., 2007; Novoa et al., 2012). No obstante, Volpe et al. (2007) mostró que estos algoritmos reducen sólo en parte la incertidumbre asociada al uso de los algoritmos globales. Alternativamente, Banks et al. (2012) propusieron el uso combinado de información del color del océano y de las características biogeoquímicas en modelos que debían implementarse a escala regional. En todo caso, en la actualidad no se cuenta aún con un algoritmo regional desarrollado específicamente para toda la Demarcación. Tampoco ha sido posible desarrollar la aproximación propuesta por Banks et al. (2012), debido a que la información de que se dispone es incompleta. Teniendo en cuenta estas limitaciones, en el presente informe las imágenes de satélite se han usado exclusivamente como herramienta prospectiva, para la identificación inicial de los principales patrones generales de distribución espacial y temporal de la clorofila a , sin que en ningún caso se proponga su uso extensivo para la determinación de valores de referencia o de base de clorofila a . En este sentido hay que señalar que la utilidad de las imágenes de satélite para describir variabilidad interanual de la clorofila en la Demarcación ha sido ampliamente demostrada (Bardey et al., 1999; Gohin et al., 2003, 2005, 2008, 2011; García-Soto, 2006; García-Soto y Pingree, 2009; Varela et al., 2010).

La Figura 5.1 muestra una imagen de la distribución de la clorofila a de satélite obtenida a partir del promedio de los valores proporcionados por el satélite MODIS Aqua desde 2002 hasta 2010. La imagen muestra claramente que las áreas de mayor productividad se localizan en la costa gallega occidental. La distribución mensual de la clorofila de satélite indica además que la extensión de este área de alta productividad varía estacionalmente, al ser mayor de febrero a marzo (Figura 5.2). En el resto de la demarcación, la principal característica de la distribución de la clorofila de satélite es el gradiente desde costa hacia mar adentro. La intensidad del gradiente varía según la zona de la costa que se considere. Aparte de este gradiente, se aprecian núcleos costeros intensos de clorofila a de satélite con una extensión relativamente limitada. En la determinación de los valores de base de clorofila a y nutrientes para la evaluación de la eutrofización se tendrá en cuenta esta distribución espacial de la productividad.



Escala temporal

De acuerdo con la información obtenida desde imágenes de satélite (Figura 5.2), así como con la abundante información publicada (ver la lista de referencias) la clorofila a en la Demarcación Marina Noratlántica presenta en promedio un ciclo estacional caracterizado por picos de producción que se suelen producir en el período de febrero a mayo y valores relativamente bajos especialmente en verano. La información publicada permite concluir que este ciclo estacional responde de un lado a la mayor influencia de los vientos favorables al afloramiento y de otro a que la columna de agua está fuertemente estratificada en verano, lo que conduce a un agotamiento de los nutrientes en la capa superficial y a la consiguiente limitación del crecimiento del fitoplancton. Siguiendo las recomendaciones del grupo de trabajo sobre el D5 organizado por la UE (Ferreira et al., 2010), este ciclo anual será tenido en cuenta en la evaluación de la eutrofización. Adicionalmente, la información disponible indica que la intensidad del afloramiento es altamente variable (Cabanas *et al.*, 2003) e incluso se ha descrito una tendencia continua de debilitamiento del afloramiento (Lavín *et al.*, 1998) que podría estar afectando a la concentración de clorofila y a la producción primaria en la Demarcación (Bode *et al.*, 2011). Los mismos estudios indican que la concentración de clorofila presenta un patrón de variabilidad interanual que se caracteriza por la sucesión de ciclos de productividad alta seguidos por períodos menos productivos con una duración de entre tres y cuatro años (Bode *et al.*, 2011). Idealmente, los valores de referencia deberían estar basados en series temporales suficientemente largas como para integrar toda esta variabilidad. Teniendo en cuenta la misma, se ha optado por no limitar temporalmente la serie de datos utilizada para establecer las condiciones de base frente a las cuales comparar el periodo actual. Dicho de otro modo, se han utilizado todos los datos disponibles sin acotar temporalmente la serie. Por el mismo motivo, y siguiendo las pautas que la propia DMEM marca para la re-evaluación de los Descriptores, se ha optado por considerar como “estado actual” el definido por el período 2005-2010.

Otras escalas espaciales y zonación consideradas en la evaluación

Como resultado de la Directiva Marco del Agua, los Estados Miembros llevaron a cabo una zonación de sus aguas costeras. Las masas de agua costeras identificadas en la Demarcación Noratlántica en el marco de la aplicación de la DMA se muestran en la Figura 5.3.



Figura 5.3. Masas de agua costera identificadas en la Demarcación Noratlántica según consta en la Memoria del Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica de las Cuencas del Miño-Sil, Galicia Costa, Cantábrico Occidental y Cantábrico Oriental. La denominación de las masas de agua de las Demarcaciones del Cantábrico Oriental y Occidental se especifica en las Tablas 5.1 y 5.2.

Por otro lado, en la Instrucción de Planificación Hidrológica se establece que las aguas costeras (*sensu* DMA) de la Demarcación Marina pertenecen a uno de los siguientes tipos: 12, 14, 15, 16, 17 y 18 (Tabla 5.1). La tipología atiende principalmente a la mayor o menor incidencia de los afloramientos costeros. Como se ha comentado previamente, las aguas costeras de la Demarcación Noratlántica son gestionadas por cuatro Demarcaciones Hidrográficas: Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Oriental (DHC Oriental), Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Occidental (DHC Occidental), Galicia Costa (DHGC) y Miño-Sil (DHMS). Todas las aguas costeras de la DHC oriental son del Tipo 12 (Tabla 5.2). La Demarcación del Cantábrico Occidental cuenta con 14 masas de agua costera, 9 de las cuales son tipo 12 y 5 tipo 14 (Tabla 5.3). La demarcación hidrológica de Galicia-Costa es más compleja por cuanto incluye aguas costeras con tipología 15, 16, 17 y 18. La DHMS incluye aguas Tipo 17.



Tabla 5.1. Tipología de las masas de agua costera de la Demarcación Noratlántica según la Instrucción de Planificación Hidrológica. Se indica la demarcación hidrográfica a la que pertenecen los diferentes tipos de agua. DHC Oriental: demarcación hidrográfica del Cantábrico Oriental; DHC Occidental: demarcación hidrográfica del cantábrico occidental; DHGC, demarcación hidrográfica de Galicia-Costa; DHMS, demarcación hidrográfica del Miño-Sil.

| Tipo de masa de agua | Denominación | Salinidad | Otras características | Demarcación Hidrográfica |
|----------------------|--|-----------|---|------------------------------|
| 12 | Cantábrico oriental | >34,5 | Sin afloramientos | DHC Oriental, DHC Occidental |
| 14 | Cantábrico occidental | 30,0-36,0 | Baja influencia del afloramiento, expuestas | DHC Occidental |
| 15 | Atlánticas afloramiento medio expuestas | 30,0-36,0 | Costa norte de Galicia hasta Finisterre | DHGC |
| 16 | Atlántico afloramiento intenso semi expuestas o protegidas | 30,0-36,0 | Hasta la ría de Vigo | DHGC |
| 17 | Atlánticas afloramiento intenso expuestas | 30,0-36,0 | Hasta el límite de Portugal | DHMS, DHGC |
| 18 | Atlánticas afloramiento medio semi expuestas o protegidas | 30,0-36,0 | Costa norte de Galicia hasta Finisterre | DHGC |



Tabla 5.2. Masas de aguas costeras en la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Oriental.

| Masa de agua | Código | Extensión (km ²) | Tipología |
|----------------------|--------------|------------------------------|---------------------------|
| Cantabria-Matxitxako | ES111C000030 | 189,53 | Zona costera expuesta |
| Matxitxako-Getaria | ES111C000020 | 231,25 | Zona costera semiexpuesta |
| Getaria-Higer | ES111C000010 | 138,88 | Zona costera expuesta |
| Mompás-Pasaia | ES111C000015 | 10,46 | Zona costera expuesta |

Tabla 5.3. Masas de aguas costeras de la demarcación hidrográfica del Cantábrico Occidental.

| Masa de agua | Extensión (Km ²) | Tipología |
|---------------------------|------------------------------|---|
| Avilés Costa | 17,69 | Natural. Aguas costeras con afloramiento bajo |
| Castro | 0,11962 | Natural. Aguas costeras sin afloramiento |
| Costa Este | 5004,24 | Natural. Aguas costeras sin afloramiento |
| Costa Oeste | 4704,16 | Natural. Aguas costeras con afloramiento bajo |
| Eo Costa | 1,93 | Natural. Aguas costeras con afloramiento bajo |
| Gijón | - | Muy modificada. Aguas costeras sin afloramiento |
| Nalón Costa | 9,37 | Natural. Aguas costeras con afloramiento bajo |
| Navia Costa | 3,41 | Natural. Aguas costeras con afloramiento bajo |
| Noja | 39,18 | Natural. Aguas costeras sin afloramiento |
| Oyambre | 0,11372 | Natural. Aguas costeras sin afloramiento |
| Ribadesella Costa | 2,61 | Natural. Aguas costeras sin afloramiento |
| Santander | 74,68 | Natural. Aguas costeras sin afloramiento |
| Santoña | 78,21 | Natural. Aguas costeras sin afloramiento |
| Ría S. Martín de la Arena | 78,87 | Natural. Aguas costeras sin afloramiento |
| Virgen del Mar | 26,51 | Natural. Aguas costeras sin afloramiento |
| Suances | 78,36 | Natural. Aguas costeras sin afloramiento |

1.3. Principales presiones e impactos

La Figura 5.4 muestra un esquema conceptual de las principales fuentes alóctonas que pueden determinar la carga de nutrientes en la zona costera. Independientemente de su intensidad, la materia orgánica y composición de nutrientes asociados a cada una de estas fuentes puede ser *a priori* bastante diferente. En general, los aportes procedentes de las descargas al mar de ríos y arroyos (escorrentía en la Figura 5.4) dependen en gran medida de la naturaleza de la cuenca y de las actividades que a su vez inciden en la calidad de estas masas de agua. Una intensa actividad agrícola y ganadera suele aportar nitrógeno inorgánico que finalmente puede alcanzar el medio marino. El vertido de aguas residuales no tratadas puede suponer también una fuente adicional de nutrientes cuya composición depende de la actividad que la origina. La

calidad de las masas de agua continentales es analizada sistemáticamente en aplicación de la DMA. Los resultados integrados de estos análisis pueden ser consultados en las memorias de los planes hidrológicos que presentan masas de agua costera en la Demarcación Marina.

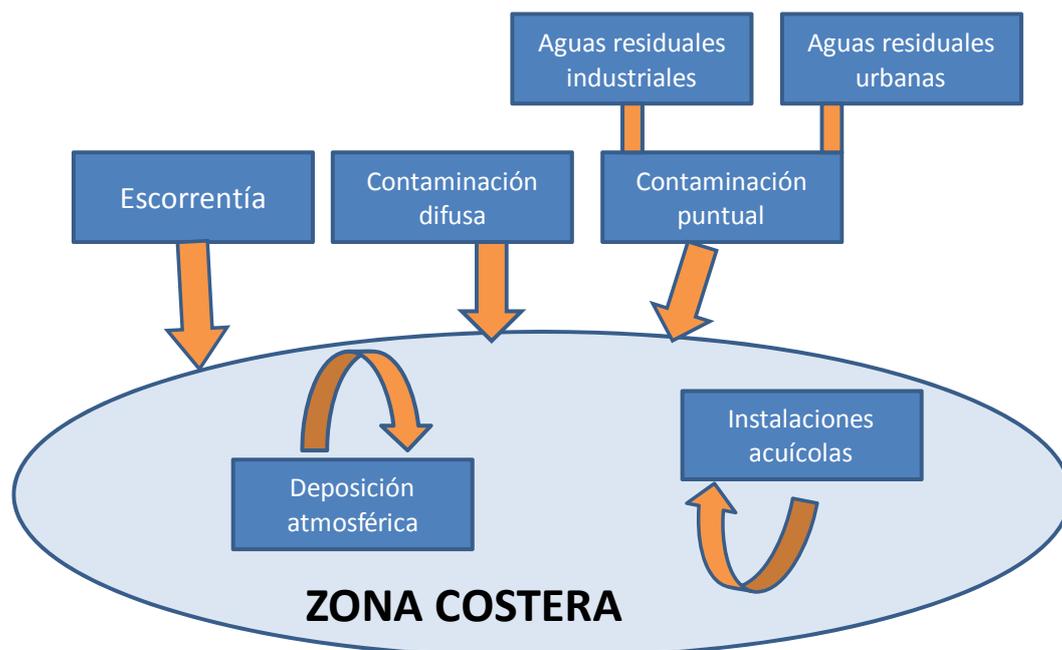


Figura 5.4. Esquema conceptual de las principales vías de descarga de nutrientes a la zona costera.

En general, los aportes de nutrientes y materia orgánica procedentes de las aguas residuales dependen de la actividad que las genera. Las aguas residuales urbanas suelen presentar una alta carga de fosfato y nitrógeno inorgánico en su forma reducida (amonio). La actividad industrial puede generar grandes cargas de nitrato, fosfato y amonio, dependiendo de la industria de que se trate. A estas fuentes potenciales de contaminación hay que añadir los vertidos directos al mar procedentes de explotaciones marinas acuícolas que pueden aportar cantidades significativas de nutrientes, en especial amonio (Pitta et al., 2006). En el Documento de Análisis de Presiones e Impactos de la Demarcación Noratlántica se presenta un inventario de los aportes de nitrógeno y fósforo procedentes de cada una de estas fuentes de contaminación.



1.4. Fuentes de información

1.4.1. Programas de seguimiento

Según consta en las memorias de sus planes hidrográficos, todas las cuencas hidrográficas que presentan masas de agua costeras en la Demarcación Marina Noratlántica mantienen un programa de vigilancia encaminado a la evaluación y el seguimiento de los indicadores de calidad biológica y fisicoquímica. Los programas se desarrollan conforme a los estándares y requerimientos de la DMA. Adicionalmente, el Instituto Español de Oceanografía por encargo del Ministerio de Agricultura y Medio Ambiente viene llevando a cabo el muestreo desde 2010 de indicadores de eutrofización para dar cumplimiento al Procedimiento Común de OSPAR. Estos muestreos se realizan en la franja costera aunque la Comunidad Autónoma del País Vasco incluye también tres estaciones en la plataforma (isóbata de 100 m) dentro de su red de seguimiento del estado ecológico de aguas costeras y de transición.

Hasta nuestro conocimiento, el único programa de seguimiento más allá de la plataforma es el programa Radiales del Instituto Español de Oceanografía (IEO) que se describe algo más en detalle a continuación.

1.4.2. Fuentes de información

La búsqueda de datos se ha centrado en aquellos indicadores que son susceptibles de ser analizados estadísticamente. Los datos recopilados corresponden fundamentalmente a análisis de nutrientes (nitrato, nitrito, fosfato, amonio y silicato) y clorofila *a* generados a partir de perfiles verticales llevados a cabo con botellas Niskin a profundidades discretas. Las principales fuentes de datos utilizadas han sido:

Programa RADIALES del Instituto Español de Oceanografía

Para el cálculo de los valores de referencia y la evaluación del estado actual se ha optado en primer lugar por acudir a los datos disponibles en el Instituto Español de Oceanografía, la mayoría procedentes del Programa Radiales que financia dicha Institución desde 1994. La finalidad de este programa es llevar a cabo un seguimiento sistemático del medio pelágico en estaciones de muestreo fijas localizadas en diferentes transectos perpendiculares a lo largo de la costa noratlántica española. Las estaciones en cada radial se distribuyen en perpendicular a la costa, con profundidades que van desde 20-30 metros en las más próximas a 4.000-4.500 metros en las más alejadas. Los muestreos proporcionan datos de nutrientes (nitrato, nitrito, fosfato,



amonio y silicato), clorofila a y fitoplancton, además de una descripción de la hidrología. Se cuenta por tanto, gracias a estos muestreos, con una serie temporal extensa de nutrientes y clorofila a que permite el cálculo de valores de base robustos y la estimación de tendencias temporales. Muchos de estos datos han sido ya publicados en diferentes artículos científicos y han servido de base para la elaboración de diferentes informes (ver la sección 4.Referencias).

Bases de datos

Para complementar la información proporcionada por los proyectos del IEO, se han consultado diferentes bases de datos. La principal de ellas ha sido la Red Nacional de Datos Oceanográficos administrada por el Centro de Datos del IEO (<http://indamar.ieo.es/>). Esta base de datos contiene abundante información sobre temperatura y salinidad procedente de campañas realizadas en la Demarcación Noratlántica. En comparación, la información disponible sobre nutrientes y clorofila a es bastante limitada. El Centro de Datos del IEO es el encargado de proveer datos a SeaDataNet, la infraestructura pan-europea que se encarga de la gestión de datos marinos y oceánicos. Por tanto, la información disponible para la Demarcación Noratlántica en ambas bases de datos es coincidente. Se han hecho también consultas a la base de datos de la NOAA (*World Ocean Database*), que contiene algunos datos coincidentes con los disponibles en el Centro de datos del IEO. La base de datos del ICES contiene también datos de clorofila a y nutrientes procedentes de campañas no seriadas realizadas entre 1981 y 1991. Estos datos se han incluido en el análisis puesto que amplían la ventana temporal para el cálculo de tendencias. Por último, se han realizado consultas a la base de datos CARINA (accesible desde EUROOCEAN) y EMODNED pero no se han obtenido datos adicionales de la Demarcación que pudieran ser relevantes para la evaluación del Descriptor 5.

En todos los casos, para nuestro análisis sólo se han utilizado los datos de buena calidad de acuerdo con la propia información proporcionada por los gestores de las bases de datos.

Datos proporcionados por las CCAA

Durante el proceso de elaboración del informe, se solicitó la colaboración de las CCAA por vía del envío de datos e información de la que ellas disponen como resultado de sus programas de seguimiento del estado ecológico de las aguas costeras en

cumplimiento de la DMA. Todos los datos proporcionados por las CCAA han sido incorporados al presente informe. En el caso de la costa de Galicia, se han incluido los datos recogidos en los Anuarios Oceanográficos de Galicia del Instituto Tecnológico para el control de Medio Marino (INTECMAR) correspondientes a los años 2006, 2007 y 2008. Para las aguas costeras del País Vasco, se han incorporado los datos procedentes de la red de seguimiento del estado ecológico de las aguas costeras, incluyendo la procedente de tres estaciones localizadas en la plataforma. La serie de datos incorporada incluye los resultados de muestreos periódicos en las estaciones del litoral desde 2005 a 2010. Por otro lado, se han incorporado al análisis los datos disponibles en el Sistema de Información del Agua para Europa (WISE-SoE Marine), que son datos medios anuales de nutrientes, clorofila *a* y transparencia (de 2009 y 2010) proporcionados por las CCAA procedentes de estaciones de muestreo costeras dentro de las redes de vigilancia de la DMA. Hay que hacer constar también que la Consejería de Medio Ambiente del Gobierno de Cantabria remitió datos de nutrientes y clorofila *a* procedentes de las boyas Virgen del Mar y Santoña (Red Vigia del Gobierno de Cantabria).

En conjunto, se han recopilado datos de nutrientes y clorofila *a* procedentes de muestreos llevados a cabo en unas 640 estaciones (Figura 5.5). Estos datos proporcionan información de entre 900 y 1500 perfiles verticales en la columna de agua (Figura 5.6; debe notarse que muchas de las estaciones costeras sólo se dispone de un valor de superficie por perfil). Los datos abarcan el periodo comprendido entre 1977-2009, aunque son más numerosos desde 2000 (Figura 5.7).

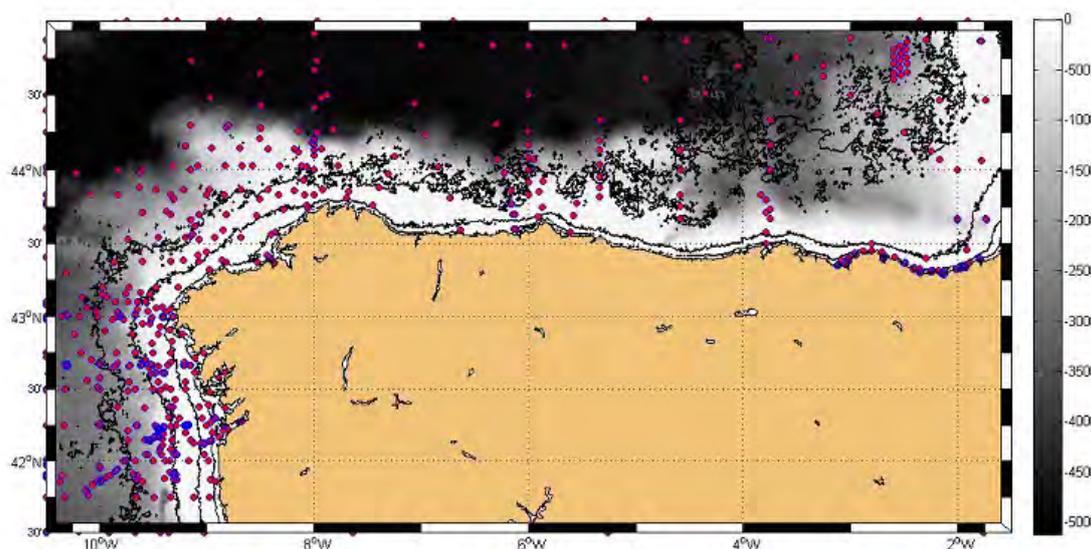


Figura 5.5. Posición de las estaciones de muestreo de las que se dispone información sobre algunos de los indicadores del Descriptor 5.

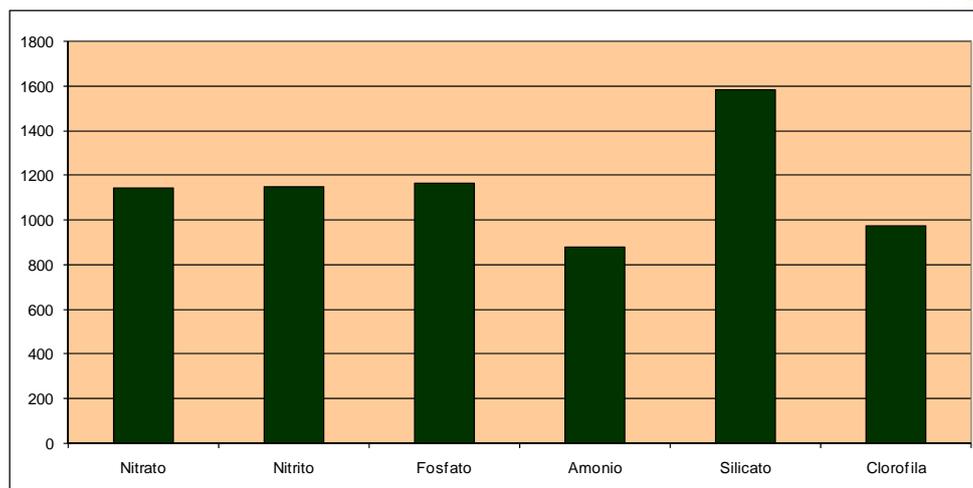


Figura 5.6. Número de perfiles de nutrientes y clorofila a recopilados para la evaluación de la Demarcación Noratlántica.

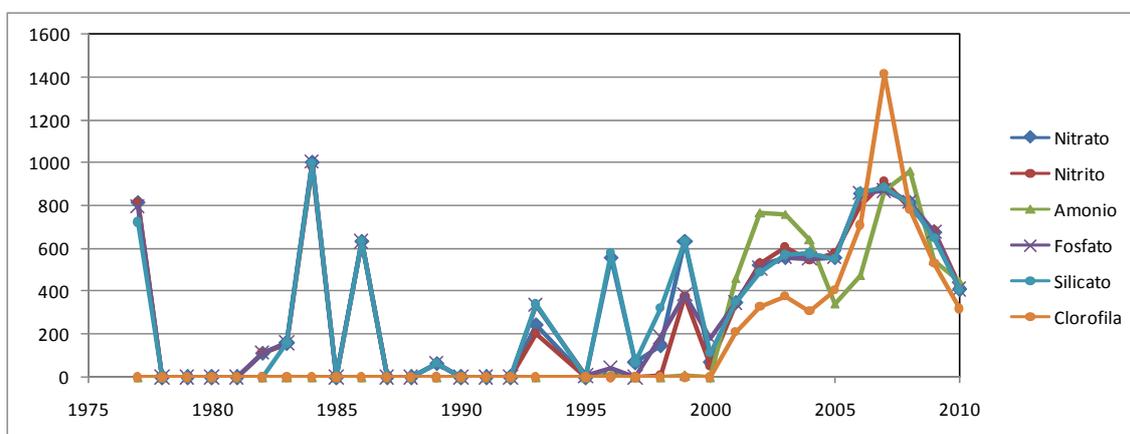


Figura 5.7. Número de registros por año obtenidos para nutrientes y clorofila a .

1.4.3. Otras fuentes de información

- *Imágenes de satélite de clorofila a.* Se han recopilado todas las imágenes del satélite MODIS-Aqua para la demarcación, suministradas diariamente desde 2002 hasta 2010. Las imágenes tienen una resolución espacial de aproximadamente $1,1 \text{ km}^2$. Para cada uno de estos píxeles se ha extraído la serie temporal completa de temperatura superficial y clorofila a (calculada esta última a partir del algoritmo OC3M).
- Se ha realizado una búsqueda exhaustiva de informes y artículos que contienen información que pueda ser útil para la evaluación de los indicadores del Descriptor 5. Dado que la mayoría de esta información está disponible en Internet, la principal herramienta de búsqueda ha sido este medio. En concreto se han realizado consultas a las páginas web oficiales de los organismos



autónomos responsables de las políticas de agua en cada Comunidad Autónoma. También se han llevado investigaciones generales utilizando los motores de búsqueda disponibles. Para la localización de artículos científicos se han realizado consultas a la base de datos *Science Citation Index* accesible desde *Web of Knowledge*. Dada la gran cantidad de informes y artículos publicados, en el presente informe se ha optado por citar preferentemente aquellos más recientes o que revisan información previa ya publicada.



2. EVALUACIÓN DEL ESTADO AMBIENTAL ACTUAL

2.1. Conceptos clave y criterios de evaluación

Los indicadores del Descriptor 5 se encuentran agrupados en tres categorías: indicadores de presión, efectos directos y efectos indirectos. Las tres categorías de indicadores responden a un esquema conceptual (discutido en el Documento Marco) que no hace sino jerarquizar los efectos del impacto de la contaminación por nutrientes. Siguiendo este esquema, la evaluación de la eutrofización requiere de un proceso secuencial en el que se evalúe en primer lugar el impacto de los aportes antropogénicos de nutrientes sobre su balance en el medio marino, en segundo lugar el impacto de este “exceso de nutrientes” sobre la productividad primaria y en tercer lugar el efecto del aumento de la productividad primaria sobre otras comunidades vegetales o animales (por vía de modificar la disponibilidad de luz o de oxígeno). Siguiendo este esquema, la evaluación del Descriptor 5 se centrará en determinar en qué medida la concentración de clorofila obtenida en una zona particular de la demarcación se explica por un “exceso de nutrientes” con origen en aportes desde fuentes alóctonas. Otros indicadores de efectos directos y efectos indirectos sólo serán evaluados en aquellas áreas en que se disponga información.

Teóricamente, la evaluación de la concentración actual de nutrientes y clorofila a requeriría definir en primer lugar un estado de referencia frente al cual comparar el estado actual. Idealmente, el estado de referencia sería aquel que es esperable en el caso de que los aportes antropogénicos de nutrientes fuesen mínimos. En principio, y siguiendo la estructura de la evaluación de la DMEM, este estado de referencia se describiría a partir de los valores de referencia para cada uno de los indicadores, en particular de los indicadores de presión (5.1) y de los de efectos directos (5.2). En la práctica, no contamos con series temporales de datos lo suficientemente largas como para establecer cuáles deberían ser los valores de los indicadores en una situación prístina hipotética, esto es, en ausencia de presiones. Las series temporales de nutrientes y clorofila disponibles en la Demarcación abarcan desde 1977 (con algún dato puntual previo), por tanto integran en sí mismas los efectos del enriquecimiento antropogénico de nutrientes producido desde entonces. Una aproximación alternativa podría ser seleccionar las áreas con una menor presión antropogénica para establecer los valores de referencia de nutrientes y clorofila a . Sin embargo, el uso de esta aproximación en la Demarcación Noratlántica es complicado debido a que la complejidad hidrológica y los aportes de los ríos determinan en principio una distribución horizontal heterogénea de la clorofila a . A esto hay que sumar que, de acuerdo con la distribución de puntos de vertidos antes mencionada, casi no hay



ningún tramo en la franja litoral que esté libre en principio de aportes de nutrientes. Ante esta situación, optamos por definir *valores de base* para las diferentes áreas de la Demarcación a partir del análisis estadístico de las series temporales disponibles. La comparación de la serie completa con los valores obtenidos en la actualidad (2005-2010) permitirá evaluar estadísticamente si los indicadores han experimentado algún cambio en el período actual.

Para el cálculo de los valores base y la evaluación del estado actual de los nutrientes e indicadores directos a una escala espacial relevante, se ha llevado a cabo el siguiente procedimiento:

- (1) Delimitar lo más precisamente posible las áreas con productividad contrastante, tratando de identificar aquellos núcleos cuya productividad no pueda en principio ser atribuible a variabilidad hidrológica. Para ello se usará la serie temporal de datos de clorofila provistos por el satélite MODIS-Aqua, disponibles desde 2002. La validez del procedimiento de zonación será contrastada mediante la comparación de los datos de clorofila *a* recopilados de los muestreos *in situ*.
- (2) Generar una serie temporal de valores de los indicadores para cada zona con productividad contrastante, agregando los datos procedentes de muestreos realizados en las estaciones localizadas dentro de cada área. Los valores de base para los indicadores en cada zona se calcularán a partir del análisis estadístico de cada serie temporal. Los estadísticos que se usarán son la media y el percentil 90.
- (3) Analizar estadísticamente la serie temporal desde 2005 hasta 2010 para cada indicador con el fin de determinar si ha habido cambios significativos durante el período actual (por comparación con el resto de la serie).
- (4) Comparar los valores de base y el estado actual con los valores de evaluación de la DMA en aquellas áreas de productividad contrastante que incluyan masas de agua costeras.

2.2. Elementos de evaluación

2.2.1. Nutrientes (Indicador 5.1.1)

En el Cuadro 1 del Anexo III de la DMEM se especifica la lista indicativa de características, presiones e impactos que deben ser tenidas en cuenta en la aplicación



del Artículo 8 (Evaluación). Entre las características físico-químicas se enumeran los nutrientes que se espera sean tenidos en cuenta: nitrógeno inorgánico disuelto (NID), nitrógeno total (NT), fósforo inorgánico disuelto (PID), fósforo total (PT) y carbono orgánico total (COT). Las tres especies de NID presentes en el agua son nitrato, nitrito y amonio, mientras que el fósforo inorgánico disuelto se encuentra en forma de fosfato y se suele medir como ortofosfato (el ión PO_4^{-3}) que son los fosfatos más comunes. A estos nutrientes habría que sumar el silicato (Si) que es necesario para el crecimiento de las diatomeas, uno de los grupos de fitoplancton costero más importante cuantitativa y funcionalmente. Carbono, nitrógeno y fósforo total hacen referencia a la suma de todas las formas orgánicas e inorgánicas en que se combinan estos elementos en el agua. Como se mostrará a continuación, la información disponible sobre cada uno de estos nutrientes es muy dispar, reflejando probablemente las dificultades metodológicas que plantean el análisis de alguno de ellos. Así, se cuenta con gran cantidad de datos de nitrato, nitrito, fosfato y silicato. Por el contrario la información disponible de amonio es comparativamente menor y los datos de NT, PT y COT son insuficientes para llevar a cabo cálculos de valores de base o de referencia. Por lo tanto, la evaluación del Descriptor 5 se basará fundamentalmente en el NID y PID (además de silicato).

Los nutrientes en la columna de agua suelen presentar una distribución vertical no homogénea caracterizada por bajas concentraciones en la capa superficial y una fuerte nutriclina a profundidades intermedias (véase como ejemplo Lavín et al., 2003). Esta distribución resulta de un lado del mayor consumo llevado a cabo por el fitoplancton en la capa de superficie y por otro de la presencia en profundidad de una capa de agua más salina y fría, con una mayor concentración. Por lo tanto, la “columna de agua” como tal no se puede caracterizar por una única concentración de nutrientes. Más bien habría que definir concentraciones características asociadas a cada una de estas capas de agua. La dificultad añadida que se encuentra es que el grosor de la capa de agua superficial, normalmente empobrecida en nutrientes, es muy variable tanto espacial como temporalmente, lo que dificulta notablemente el cálculo de valores de base que sean comparables en toda la demarcación. En este Informe Inicial se ha optado por considerar sólo la capa de agua más superficial (hasta 25 m) para el cálculo de este indicador. Según la información publicada, el límite inferior de la zona eufótica (la capa de agua a la que llega luz suficiente para que se produzca la fotosíntesis) en la mayoría de las aguas costeras y de plataforma de la Demarcación Marina se suele situar a esta profundidad, donde a su vez la limitación del crecimiento del fitoplancton por nutrientes es normalmente mayor. Es evidente que el aporte antropogénico de nutrientes puede afectar a su concentración en toda la columna de agua dependiendo de su naturaleza y posterior distribución por vía de las corrientes y de la dinámica



hidrológica. Sin embargo, teóricamente sólo si ese exceso de nutrientes alcanza la zona eufótica es de esperar que favorezca el crecimiento del fitoplancton o de otras especies de algas con tendencia a producir *blooms* (algas verdes). Centrándonos sólo en la distribución de nutrientes en la capa de agua superior se enfoca el análisis del indicador 5.1.1 hacia los efectos más que hacia las presiones.

2.2.2. Razones de nutrientes (Indicador 5.1.2)

Se asume que el término “razones de nutrientes” hace referencia a las razones elementales del total de nitrógeno, fósforo y sílice presentes en el agua. Como se ha comentado en el caso de la Demarcación Noratlántica sólo se dispone de datos extensivos de algunas de las formas de nitrógeno y fósforo inorgánicos, por tanto los índices que se calcularán son NID:PID, NID:Sil y Sil:PID. Además, hay que tener en cuenta que los datos disponibles de algunas de las formas de NID (amonio) son escasos, por tanto como una medida extensiva de las razones NID:PID y NID:Sil se ha optado por analizar las razones Nitrato/PID y Nitrato/Sil (que no obstante se nombrarán como N:P y N:Sil a lo largo del informe).

2.2.3. Concentración de clorofila α en la columna de agua (Indicador 5.2.1)

Los perfiles verticales de clorofila en la Demarcación se caracterizan por la presencia de un máximo sub-superficial cuya posición es muy variable dependiendo del área de estudio y de las condiciones hidrológicas durante las cuales se realiza el muestreo. No obstante, el máximo sub-superficial de clorofila se suele encontrar dentro de la capa superior de 25 m, por debajo de esta profundidad la concentración de clorofila suele disminuir notablemente (véanse las referencias citadas previamente). Por otro lado, la concentración de clorofila en esta capa superficial está estrechamente correlacionada con la concentración de clorofila α integrada de la columna de agua lo cual indica que la mayor parte de la producción primaria tiene lugar en esa capa de agua más superior. Así pues, y como en el caso de los nutrientes, para el uso de este indicador se ha optado por considerar sólo los valores de clorofila obtenidos en la capa superior de la columna de agua (hasta 25 metros).

Además de los datos de clorofila α procedentes de campañas de investigación oceanográfica, se ha llevado a cabo una recopilación de datos de clorofila superficial generados a partir de imágenes de satélite. El uso de imágenes de color del océano tiene enorme potencial en la monitorización de los riesgos de eutrofización en zonas



costeras (Klemas, 2011). De hecho, se ha aplicado a la detección de *blooms* de diferentes grupos taxonómicos de fitoplancton (Hu *et al.*, 2005; Ahn y Shanmugam, 2006; Carvalho *et al.*, 2011; Shanmugam *et al.*, 2008; Jackson *et al.*, 2011) y de cambios regionales en los patrones de distribución de la clorofila *a* (ver precisamente Gohin *et al.*, 2003 donde se muestran cambios en la distribución de la clorofila en la demarcación Noratlántica). Sin embargo, los algoritmos disponibles para calcular concentración de clorofila *a* desde las imágenes de satélite proporcionan valores de concentración que en algunos casos no reproducen adecuadamente los valores medidos *in situ*, particularmente en áreas costeras (Cota *et al.*, 2004). Es por esto que en general se ha propuesto desarrollar algoritmos adaptados regionalmente (Bricaud *et al.*, 2002, Eiras-García *et al.*, 2005). A día de hoy no se dispone de algoritmos regionales para calcular concentración de clorofila *a* derivada de satélite a escala de la Demarcación. En todo caso, las limitaciones de esta técnica para la estimación de valores de clorofila *a* con un adecuado grado de certidumbre son notables. En especial la incertidumbre puede ser notable en aguas tipo II cuya presencia en algunas zonas de la Demarcación, asociadas al menos puntualmente a las plumas de los principales ríos que desembocan en la misma, no es descartable. En este sentido, Novoa *et al.* (2012a, b), propuso utilizar el algoritmo OC5, desarrollado para aguas tipo II, en aguas costeras del Cantábrico Oriental. No se dispone de información suficiente que permita determinar la extensión y localización de las aguas costeras tipo II en toda la Demarcación. En cualquier caso, su incidencia debe ser recudida por cuanto en la tipología de aguas costeras recogida en la Instrucción de Planificación Hidrológica no se indica la presencia de agua costera atlántica con influencia de aportes de agua dulce en la Demarcación Noratlántica. Esto indica que este factor no ha sido considerado relevante en la aplicación de la DMA. Por otro lado, ya se ha comentado que no se dispone de un algoritmo regional para la Demarcación que en parte reduzca la incertidumbre asociada al uso de algoritmos globales. En el presente informe se ha usado el algoritmo OC3M, por lo que, teniendo en cuenta las limitaciones discutidas, la información de satélite será tratada estadísticamente únicamente con el fin de determinar los principales patrones de variabilidad temporal. El tratamiento estadístico de las imágenes de satélite (que se describe en detalle en el Anexo II) va encaminado a detectar estos patrones de variabilidad más allá de la incertidumbre asociada a los valores de clorofila *a*. En el mismo sentido, Vantrepotte y Mélin (2010) han demostrado que las imágenes de satélite reproducen adecuadamente la variabilidad estacional y temporal en los diferentes mares regionales europeos, independientemente de la incertidumbre asociada a los productos derivados de esta técnica.



2.2.4. Transparencia del agua (Indicador 5.2.2)

Sólo se dispone de los datos reportados por las CCAA para algunas estaciones costeras. Para el litoral de la Comunidad Autónoma del País Vasco se dispone de la serie temporal de valores de profundidad del disco de Secchi procedente de la red de seguimiento del estado ecológico de las aguas costeras desde 2005 hasta 2010. Para el resto de la Demarcación sólo se dispone de los valores promediados anualmente de la profundidad del disco de Secchi, que han sido enviados al WISE SoE-Marine, en algunas estaciones localizadas en la DHC Occidental. No se dispone por tanto de datos extensivos de transparencia para toda la zona costera de la demarcación, que es en principio la que es capaz de albergar comunidades fitobentónicas para las cuales la luz disponible puede ser un factor limitante del crecimiento.

2.2.5. Abundancia de macroalgas oportunistas (Indicador 5.2.3)

No se dispone de un cartografiado exhaustivo de macroalgas oportunistas en toda la Demarcación tal que permita determinar si existe o no alguna tendencia temporal significativa en la abundancia de estas especies (fundamentalmente algas verdes). No obstante, para las masas de agua costera de las demarcaciones del Cantábrico Occidental y Oriental, se cuenta con la evaluación de la DMA de las comunidades de macroalgas. Esta evaluación está basada en índices de calidad que incluyen la abundancia de estas especies oportunistas. Por lo tanto, para la evaluación de este indicador se asumirá la realizada en el marco de la aplicación de la DMA.

2.2.6 Cambios en la composición de especies (Indicador 5.2.4)

Los cambios en la proporción relativa de los principales nutrientes pueden dar lugar a cambios en la abundancia relativa de los principales grupos taxonómicos del fitoplancton (en particular diatomeas y dinoflagelados). Así, se considera que una disminución de la proporción de nitrato relativa a fosfato o sílice favorece el crecimiento de dinoflagelados frente a diatomeas. La principal serie temporal de datos sobre la composición taxonómica del plancton en la Demarcación Marina Noratlántica es la generada a partir del proyecto RADIALES del IEO. Esta serie ha sido analizada y los resultados de los análisis han sido publicados (ver por ejemplo Bode et al., 2009 y otros artículos en la lista de referencias). La evaluación del indicador 5.2.4 se basará



principalmente en las conclusiones de estos estudios. No obstante, este indicador será evaluado más en profundidad en el marco del Descriptor 4.

2.2.7. Cambios en la abundancia de algas perennes y angiospermas (Indicador 5.3.1)

Este indicador será evaluado más en profundidad en el marco del Descriptor 6. En el contexto del Descriptor 5, se considerará la evaluación de las comunidades de macroalgas realizada por las CCAA en aplicación de la DMA.

2.2.8. Concentración de oxígeno (Indicador 5.3.2)

Para la elaboración del presente informe no se dispone de datos extensivos de este indicador que permitan hacer una evaluación completa de la Demarcación. No obstante, el indicador se evaluará en algunas estaciones costeras a partir de los datos proporcionados por las CCAA procedentes de sus programas de muestreo de las masas de agua costera.

2.3. Determinación de niveles de referencia o de base

2.3.1. Áreas con diferente productividad

Con el fin de delimitar más claramente las áreas de productividad contrastante en la Demarcación Marina, se llevó a cabo un análisis clúster no jerárquico con los datos de clorofila *a* de satélite. Para clasificar los píxeles no sólo en función de su concentración promediada de clorofila sino también de las características del ciclo estacional (en qué mes se produce el pico máximo de producción y cuál es su duración) la serie temporal de clorofila fue descompuesta en 12 series mensuales. Para cada uno de los píxeles en que se dividió la demarcación (que corresponden a cuadrados de 1,1X1,1 km²) se obtuvieron 12 valores mensuales de clorofila. El análisis clúster se llevó a cabo con estos datos de manera que los píxeles quedaron agrupados según su similitud en seis grupos (en el ANEXO II se detalla el procedimiento analítico y estadístico llevado a cabo con las imágenes de satélite). El resultado del análisis se muestra en la Figura 5.12.

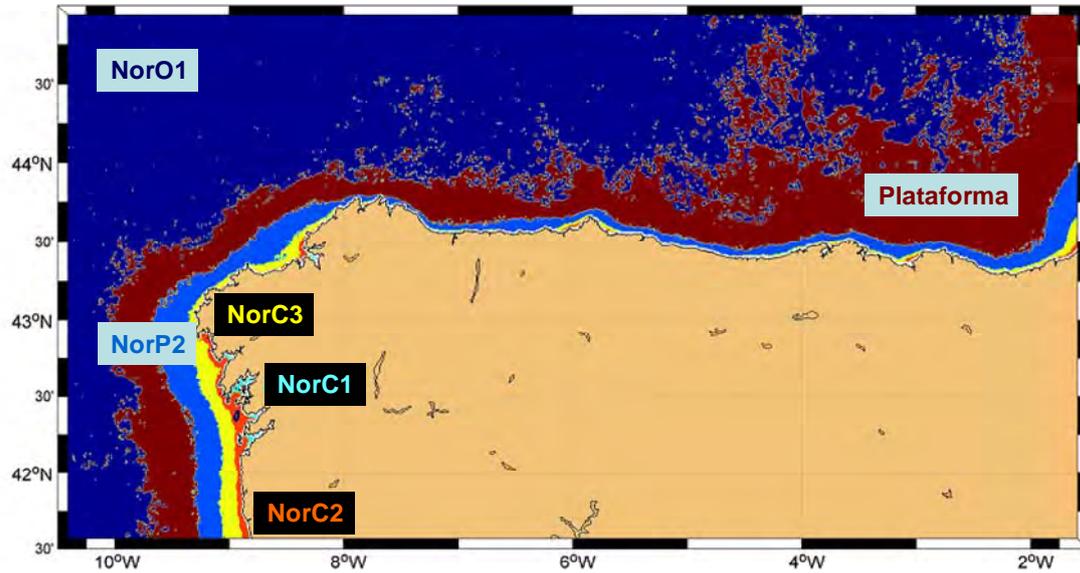


Figura 5.12. Clústeres obtenidos a partir de las series temporales de clorofila *a* de satélite para los 12 meses del ciclo anual.

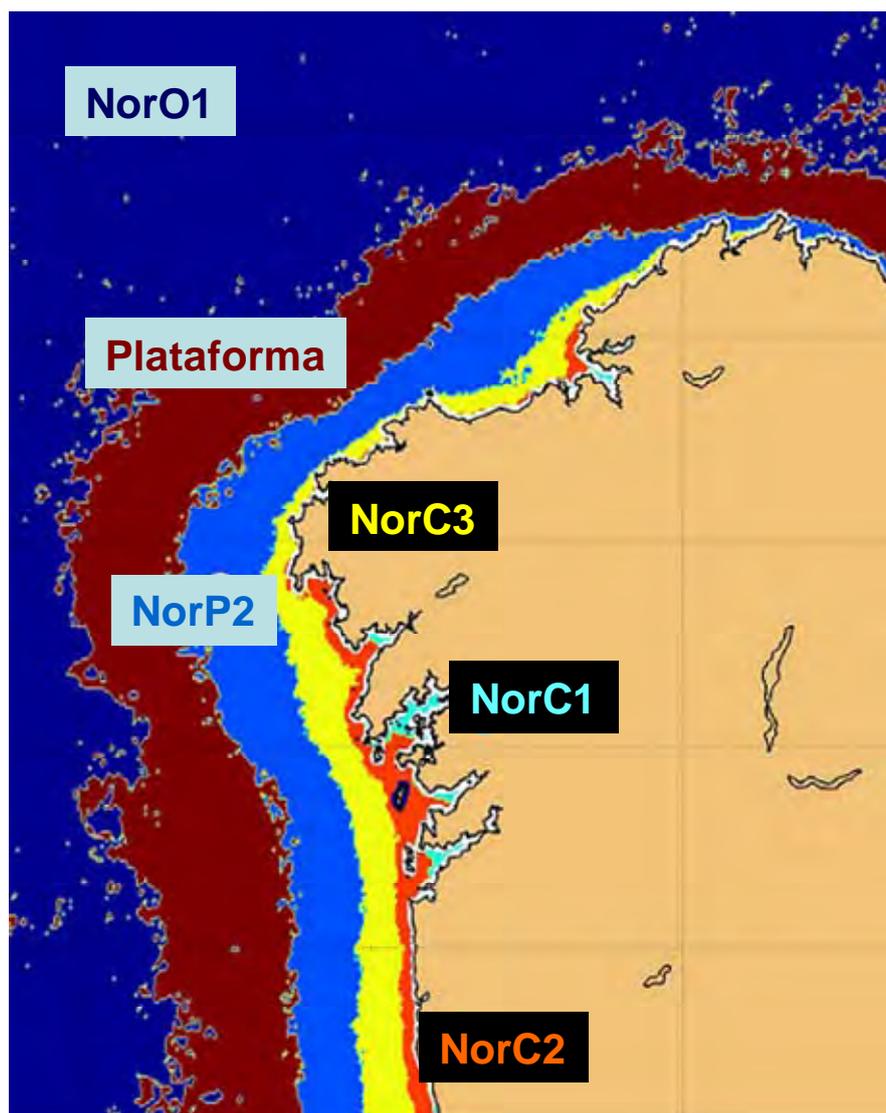


Figura 5.13. Detalle de los resultados del análisis clúster para la costa de Galicia

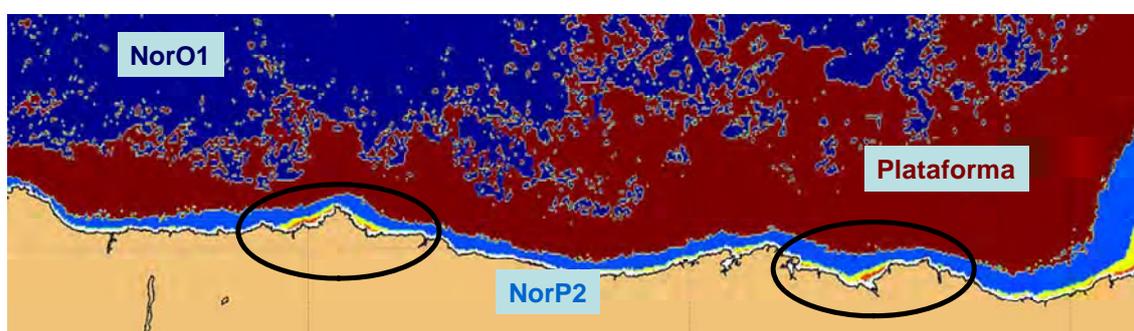


Figura 5.14. Detalle de los resultados del análisis clúster para la costa cantábrica.

El análisis clúster permite diferenciar seis áreas de productividad contrastante (Figura 5.12), cuya concentración mensual promedio de clorofila de satélite se muestra en la Figura 5.15. Así, es posible identificar y delimitar las áreas más productivas que se localizan en la costa oeste de Galicia (áreas NorC1 y NorC2 en las Figura 5.13) y comprenden la parte interna de las rías y la franja costera que las circunda. Estas áreas más productivas están rodeadas de una franja de productividad intermedia entre las mismas y el mar abierto (área NorC3 en amarillo en la Figura 5.13). Circundando todas estas áreas se encuentra el área NorP2 (en azul) que a su vez ocupa la mayor parte del litoral de la costa norte de la Demarcación. Fuera de la zona de Galicia, tan sólo se observan núcleos localizados de mayor productividad (zonas marcadas con un círculo en la Figura 5.14) en torno a Avilés y Gijón, Castro-Urdiales y en el extremo oriental de la Demarcación Marina. La productividad del área oceánica es uniforme en toda la demarcación (zona azul oscuro en la Figura 5.12), salvo por la franja de productividad algo mayor que circunda toda el área litoral y que corresponde aproximadamente con la zona de transición entre la plataforma oceánica y el mar abierto (denominada Plataforma en las Figuras 5.12, 5.13 y 5.14).

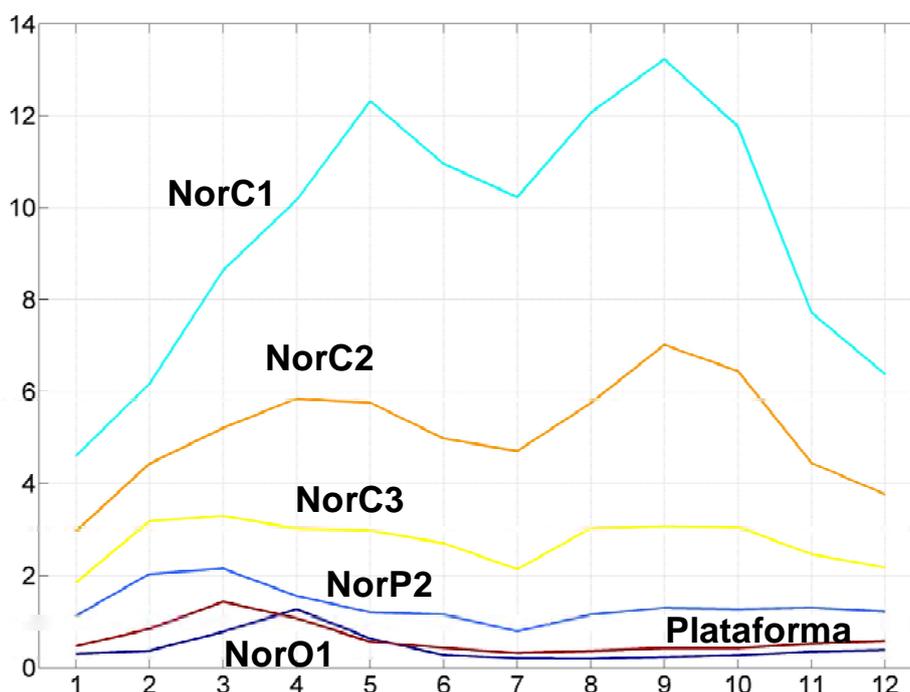


Figura 5.15. Variación mensual de la concentración de clorofila a de satélite promediada para cada zona de productividad identificada en la Figura 5.12.



Tabla 5.4. Zonas de productividad contrastante identificadas a partir de las imágenes de satélite. Se indica la extensión expresada como porcentaje de la demarcación y las demarcaciones hidrográficas con masas de agua costeras que quedan incluidas dentro de cada una de ellas y la tipología según la Instrucción de Planificación Hidrológica.

| Identificador de las áreas | Extensión (%) | Masas de agua costeras de la DMA que incluye |
|----------------------------|---------------|---|
| NorO1 | 60,81 | - |
| Plataforma | 29,41 | - |
| NorP2 | 6,86 | DHC Oriental, DHC Occidental (aguas Tipo 12 y 14) |
| NorC3 | 2,11 | DHGC (aguas Tipo 15 y 18) |
| NorC2 | 0,67 | DHGC (aguas Tipo 16-17) |
| NorC1 | 0,13 | * |

*El área NorC1 incluiría las partes internas de las rías gallegas que han sido catalogadas como aguas de transición por la Comunidad Autónoma. Por lo tanto, no serán evaluadas en el presente informe aunque sí se presentan valores de algunos de los indicadores para comparación con las áreas costeras.

Debe notarse que los resultados del procedimiento de zonación basado en imágenes de satélite son compatibles con la tipología de aguas costeras recogida en las memorias de las demarcaciones hidrográficas que presentan masas de agua costera dentro de la Demarcación Marina Noratlántica (Tabla 5.1). Así, todas las masas de agua costera de la DHGC quedan incluidas dentro de las áreas NorC3 y NorC2, que corresponden con masas de agua tipo 15, 16, 17 y 18 según la tipología de la Instrucción de Planificación Hidrológica (Tabla 5.1). Todas las masas de agua costeras de las demarcaciones hidrográficas del Cantábrico Occidental y del Cantábrico Oriental



quedan comprendidas dentro del área NorP2, dentro de la cual se incluyen los núcleos mostrados en la Figura 5.14 que son ocupados por las masas de agua costera Avilés-Costa y Costa Este en la DHC Occidental y Cantabria-Matxitxako y Getaria-Higer en la DHC Oriental. No obstante, se ha de tener en cuenta que por razones técnicas las imágenes de satélite no permiten definir la franja litoral hasta una distancia de aproximadamente 1.1 km desde la línea de costa (franja sin color que circunda el litoral en la Figura 5.12). Por tanto las áreas de productividad contrastante identificadas mediante satélite incluirían únicamente las zonas más alejadas de la línea de costa de cada masa de agua costera definida en la DMA.

2.3.2. Valores de base de los indicadores

A continuación se presentarán los valores de base para los indicadores que son susceptibles de análisis cuantitativo de acuerdo con los datos que se han conseguido recopilar para cada zona de productividad contrastante. Se ha optado por presentar los valores del percentil 90, que es el estadístico que se viene usando para establecer los valores de referencia en el marco de la aplicación de la DMA. Los valores de base de cada indicador, junto con la descripción estadística de las series de datos a partir de las cuales se han calculado se recogen en el ANEXO II. Por otro lado, y de acuerdo con la distribución mensual promedio de la clorofila a en la demarcación, se presentan dos valores de base para cada indicador con el fin de caracterizar el periodo anual más productivo (marzo, abril y mayo) y el resto del ciclo.

Niveles de nutrientes (Indicador 5.1.1)

Las series temporales de nutrientes en la capa superficial de la Demarcación se caracterizan en general por su alta variabilidad. No obstante, se observan diferencias notables en su distribución horizontal, con gradientes desde costa hacia mar abierto que son más o menos acusados dependiendo del sector de la Demarcación. En consecuencia, los valores promediados de nitrato para las seis áreas de productividad contrastante identificadas mediante imagen de satélite son notablemente diferentes (en el ANEXO II se presentan los resultados de la comparación estadística de las series temporales para cada área de productividad contrastante). Es interesante notar que las concentraciones medias de nitrato, fosfato y silicato en el área de mar abierto (NorO1) fueron menores durante el periodo no productivo, al igual que el percentil 90 (Figura 5.15). En el área de Plataforma, se encuentra el mismo patrón temporal, aunque las diferencias relativas en concentración para los dos periodos anuales considerados son menores. En general, se encuentra un gradiente creciente de



concentración de nitrato desde costa hacia mar abierto en toda la Demarcación Marina. Sin embargo, paradójicamente, los mayores valores del percentil 90 de nitrato y fosfato se encuentran en las áreas NorC2 y NorC3 en lugar de en NorC1 (el área interna de las rías gallegas). El gradiente costa-mar abierto de nitrito y amonio es mucho menos claro, de hecho las concentraciones de amonio son en promedio menores en el área NorC2 que en las otras dos áreas costeras (nótese que no hay datos de amonio para el área NorC1). En conjunto, el nitrito representa entre el 6% y el 10% del NID. En contraste, el amonio representa entre el 12 y el 50% del NID.

El fosfato también se distribuye horizontalmente siguiendo un gradiente decreciente de costa a mar abierto, salvo durante el periodo más productivo, cuya concentración media en el área NorO1 es relativamente alta, al igual que ocurre con el silicato. Los valores de base (Figura 5.17) siguen este mismo patrón espacial y temporal.

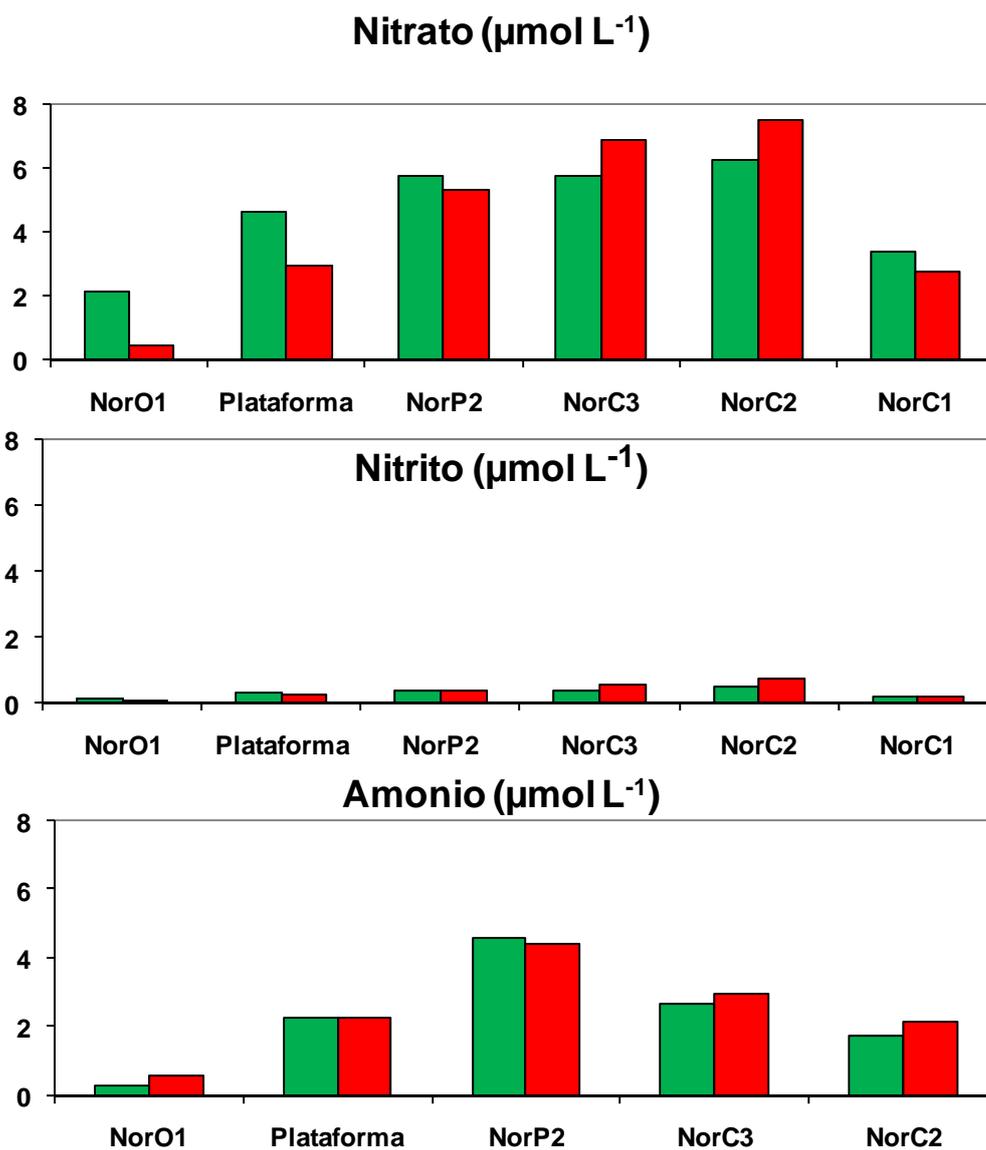
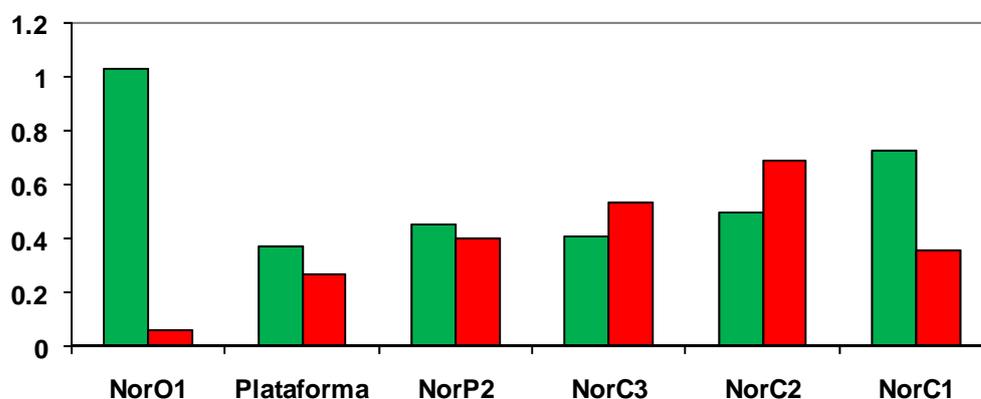


Figura 5.16. Valores de base (percentil 90) de las concentraciones de nitrato, nitrito y amonio para cada área de productividad contrastante identificadas mediante el análisis de las imágenes de satélite. Se presentan los valores para el período de alta (barras verdes) y baja productividad (barras rojas).

Fosfato ($\mu\text{mol L}^{-1}$)



Silicato ($\mu\text{mol L}^{-1}$)

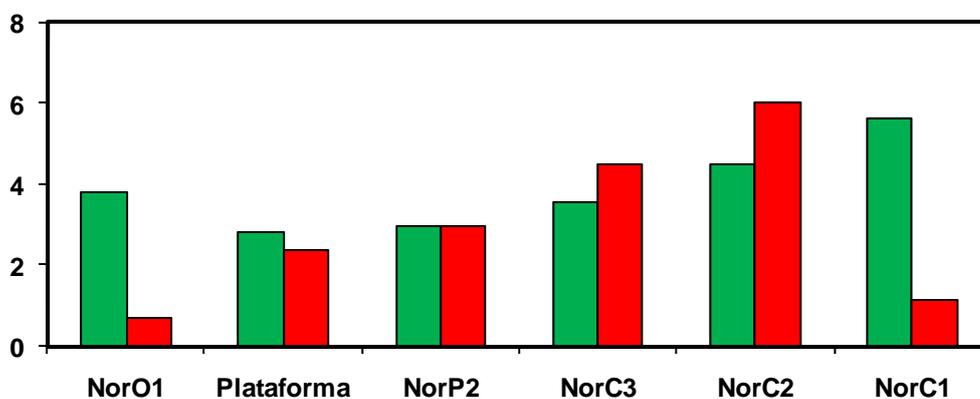


Figura 5.17. Valores de base (percentil 90) de las concentraciones de fosfato y silicato para cada área de productividad contrastante identificadas mediante el análisis de las imágenes de satélite. Se presentan los valores para el período de alta (barras verdes) y baja productividad (barras rojas).

Valores de base de clorofila *a* (Indicador 5.2.1)

Como ocurre con los concentraciones de nutrientes, la concentración de clorofila *a* es bastante variable incluso dentro de cada zona de productividad contrastante. No obstante, es notorio que las mayores concentraciones de clorofila *a* se encuentra en la zona costera del afloramiento de Galicia (NorC2; Figura 5.18). En promedio anual, las concentraciones de clorofila *a* para el área NorP2 son algo menores que para Plataforma. Debe notarse que los valores calculados para el área NorC3 deben ser tomados con precaución dado que están basados en un número relativamente reducido de datos (ver ANEXO II).



Clorofila a ($\mu\text{g L}^{-1}$)

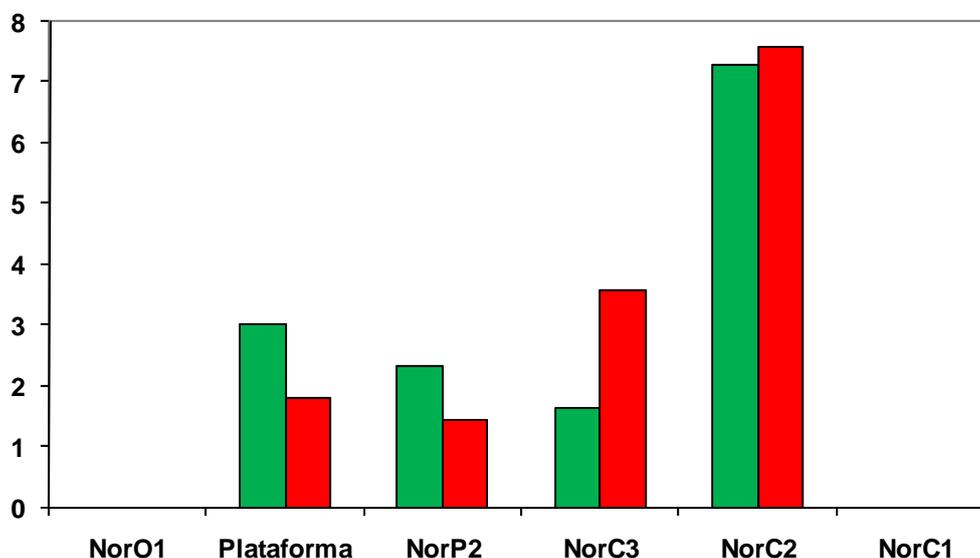


Figura 5.18. Valores de base (percentil 90) de la concentración de clorofila a para cada área de productividad contrastante identificadas mediante el análisis de las imágenes de satélite. Se presentan los valores para el período de alta (barras verdes) y baja productividad (barras rojas).

Valores de evaluación definidos en aplicación de la DMA y del Procedimiento Común de OSPAR

La Instrucción de Planificación Hidrológica especifica las condiciones de referencia que deben ser tenidas en cuenta en la evaluación del elemento de calidad Fitoplancton para las aguas costeras tipo 12, 14, 15, 16, 17 y 18 en aplicación de la DMA (Tabla 5.5). Adicionalmente, las CCAA han aplicado los valores de referencia para nitrógeno y fósforo inorgánico disuelto que se muestran en la Tabla 5.5. En general, los valores de base calculados en el presente informe para NID y PID son bastante próximos a la condición de referencia para las masas de agua tipo 12 y 14. Para los otros tipos de masas de agua, los valores de base de NID son algo menores a los valores de referencia. El acuerdo entre los valores de referencia y de base para clorofila a es también bastante aceptable.

En la segunda evaluación integrada de la eutrofización en el área marítima de OSPAR basada en la aplicación del Procedimiento Común (OSPAR 2008) se establecieron los niveles de evaluación para nutrientes y clorofila en la costa atlántica española. En el contexto de la DMEM, estos valores deberían tomarse únicamente como indicativos del límite superior esperable en las aguas costeras ya que se definieron para estuarios en los que la descarga de ríos es de esperar que impacte directamente la concentración de nutrientes y clorofila a . Teniendo esto en cuenta, y como era de



esperar, los valores de base de NID y PID para las áreas de productividad costeras son algo menores a los niveles de evaluación del Procedimiento Común (Tabla 5.6).

Tabla 5.5. Valores de referencia y límites para definir el estado bueno/muy bueno y bueno/moderado de la clorofila a (percentil 90; $\mu\text{g L}^{-1}$), nitrógeno inorgánico disuelto (NID; $\mu\text{mol L}^{-1}$) y fósforo inorgánico disuelto (PID; $\mu\text{mol L}^{-1}$) utilizados por las CCAA para la aplicación de la DMA. Todos los valores están basados en el percentil90. Se incluyen además los valores de base calculados para la evaluación del Descriptor 5 en aquellas áreas de productividad contrastante dentro de las cuales quedan incluidas los diferentes tipos de masas de agua costera (según la tipología de la Instrucción de Planificación Hidrológica). Nótese que para PID sólo se dispone de los valores de referencia comunicados para el País Vasco.

| Tipología | Indicador | Condición de referencia | Límite bueno/muy bueno | Límite bueno/Moderado | Valores de base |
|------------------------------|---------------|--|--|---|---|
| 12 14 15,16,17,18 | Clorofila a | 2,33 (1,67) 4,00 5,33 | 3,5 (2,5) 6 8 | 7 (<5,0)* 9 12 | 1,6 (NorP2) 1,6 (NorP2) 7,5 (NorC2) |
| 12** 14 16 17 18 | NID | 8,2 7,36 13,59 10,11 11,40 | <10,5 8,43 16,37 12,18 13,73 | <15 10,99 20,28 15,09 17,01 | 7,1 (NorP2) 7,1 (NorP2) 8,5-8,8 (NorC3-NorC2) " " |
| 12** | PID | 0,45 | <0,55 | <0,70 | 0,38 (NorP2) |

*Entre paréntesis se incluyen los valores establecidos por el País Vasco por cuanto difieren de los publicados en la instrucción de Planificación Hidrológica.

**Valores basados en los criterios utilizados por el País Vasco.



Tabla 5.6. Niveles de evaluación de nitrógeno inorgánico disuelto (NID; $\mu\text{mol L}^{-1}$), fósforo inorgánico disuelto (PID; $\mu\text{mol L}^{-1}$) y clorofila *a* utilizados en la aplicación del Procedimiento Común para la realización de la segunda evaluación del estado de eutrofización en las aguas costeras españolas (OSPAR 2008). Los valores de nutrientes están normalizados a salinidad de 30.

| Indicador | | Niveles de evaluación |
|---|---|-----------------------|
| NID ($\mu\text{mol L}^{-1}$) | Suma de las formas inorgánicas de nitrógeno en la época de menor productividad (invierno) | 12-15 |
| PID ($\mu\text{mol L}^{-1}$) | Valores de invierno | 0,62-1 |
| Clorofila <i>a</i> ($\mu\text{g L}^{-1}$) | | 7-12 |

2.4. Evaluación del estado actual. Principales presiones, actividades e impactos.

2.4.1. Estado actual y tendencias de las principales presiones

A falta de datos suficientes que permitan cuantificar adecuadamente todos los aportes de nutrientes a la zona costera desde las diferentes fuentes de contaminantes esquematizadas en la Figura 5.4, se ha elaborado un mapa de zonas de riesgo de acumulación de nutrientes con la información disponible sobre la distribución de los puntos de contaminación. La metodología para el cálculo se describe en detalle en el Documento Marco. En breve, para el mismo se ha tenido en cuenta la presencia o cercanía de las siguientes fuentes de contaminantes:

- EDARs.
- Complejos industriales que tienen obligación de informar a la UE por vertido de nutrientes.
- Presencia de desembocaduras de ríos.
- Depositiones atmosféricas calculadas a partir del modelado EMEP.
- Fuentes de contaminación difusa procedente de vertederos de material dragado.

Los resultados de este análisis cualitativo se muestran en la Figura 5.19, donde se evidencia que en la Demarcación Marina hay varias zonas con potencial entre alto y moderado de acumulación de nutrientes. Así, en la costa gallega, las rías de Pontevedra y la zona del golfo Ártzabo presentan moderado potencial de acumulación de nutrientes. En Asturias, se presenta potencial alto en la costa de Avilés, mientras que en Cantabria se detectan 3 zonas de potencial moderado San Vicente de la Barquera, Suances y Santoña. Finalmente, en la costa del País Vasco, se encuentran áreas con alto potencial de acumulación de nutrientes en Bilbao y Butroe y Deba y con potencial moderado en Donostia-Pasajes.

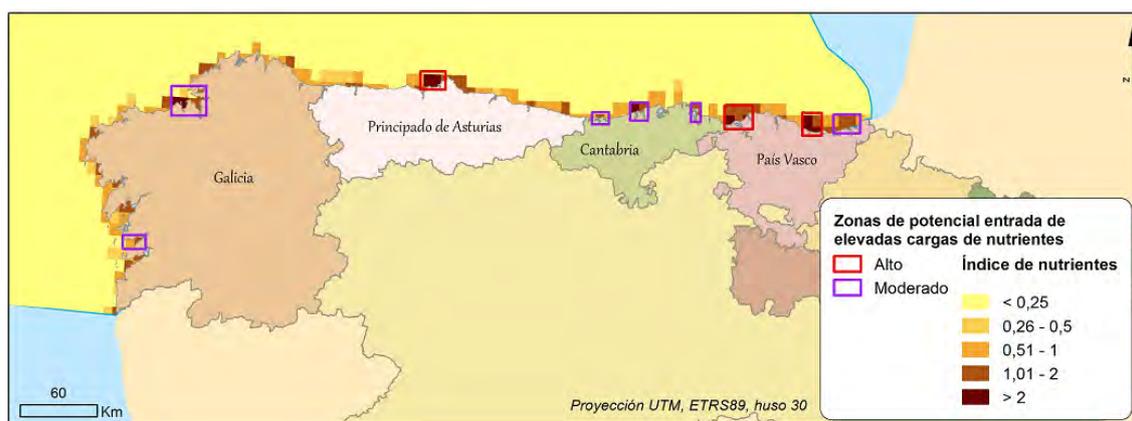


Figura 5.19. Zonas de acumulación potencial de nutrientes de origen alóctono. Ver el texto para una explicación detallada del cálculo del índice de nutrientes.

2.4.2. Estado actual y tendencias temporales de los indicadores de presión

Para el área NorO1 sólo se dispone de datos de nutrientes desde 1977 hasta 2001, por lo tanto no es posible evaluar el estado actual a partir de la serie temporal. Para las otras áreas de productividad la variabilidad en la concentración de nutrientes es notable, en particular nitrato y nitrito variaron entre concentraciones máximas algo mayores a 10 y 2,4 $\mu\text{mol L}^{-1}$, respectivamente, y concentraciones por debajo de los límites de detección (Figuras 5.20 y 5.21). La mayor concentración de amonio (14,9 $\mu\text{mol L}^{-1}$) se ha registrado en 2002 en el área NorP2 (Figura 5.22). Las medias anuales de nitrato fueron mayores a la media total a partir de 2004 en todas las áreas de productividad excepto en NorP2 en 2010 (Figura 5.23). A partir de 2004, se alcanzaron las mayores concentraciones anuales medias de nitrato de toda la serie temporal en NorP2 y NorC3 (Figura 5.23). Concordantemente, el test de Mann-Kendall aplicado a la serie temporal de las medias anuales para las dos áreas indica que hubo una tendencia



creciente significativa estadísticamente ($p < 0.05$) durante el período menos productivo. Similarmente, la tendencia creciente para la serie de las medias anuales de amonio calculadas para el período menos productivo fue significativa estadísticamente ($p < 0.05$). En el mismo sentido, destaca el hecho de que los mayores valores medios mensuales de NID se obtuvieron a partir de 2005 en NorP2 y NorC3 (Figura 5.26). Independientemente de esta tendencia creciente, el percentil 90 de nitrato y amonio en el periodo actual (2005-2010) no difiere respecto a los valores de base calculados para toda la serie temporal en estas dos áreas de productividad (tampoco se encuentran diferencias entre el periodo actual y el resto de la serie para las otras áreas de las que se dispone de datos suficientes para llevar a cabo el cálculo).

En la Figura 5.27 se presentan los valores de NID promediados para los años 2009 y 2010 reportados por las CCAA a WISE-SoE Marine. Las estaciones cuyos datos se reportan se localizan en masas de agua costeras distribuidas dentro de las tres demarcaciones hidrográficas principales que presentan masas de agua en la Demarcación Marina. Por tanto representan adecuadamente las diferentes tipologías mencionadas previamente con sus equivalencias (ya comentadas también) con las áreas de productividad contrastante. Así, en principio, todas las estaciones de la DHC Occidental y DHC Oriental de la Figura 5.27 se localizan en masas de agua costera ocupadas por el área NorP2. Todas las estaciones de la DHGC se localizan en NorO2 excepto CW8-10 que estaría localizada en NorC3 al situarse más al norte. En principio los valores de NID extraídos de WISE-SoE Marine y los descritos para las áreas de productividad contrastante son por tanto directamente comparables. Las medias anuales de NID para las estaciones costeras son notablemente mayores a la media total calculada para toda la serie de datos en las áreas NorC2 y NorC3 (Figura 5.26). Para las masas de agua de la DHC Oriental, la media anual reportada en WISE-SoE Marine es también algo mayor a la calculada para NorP2 en tres de las cuatro estaciones costeras.



Nitrato ($\mu\text{mol L}^{-1}$)

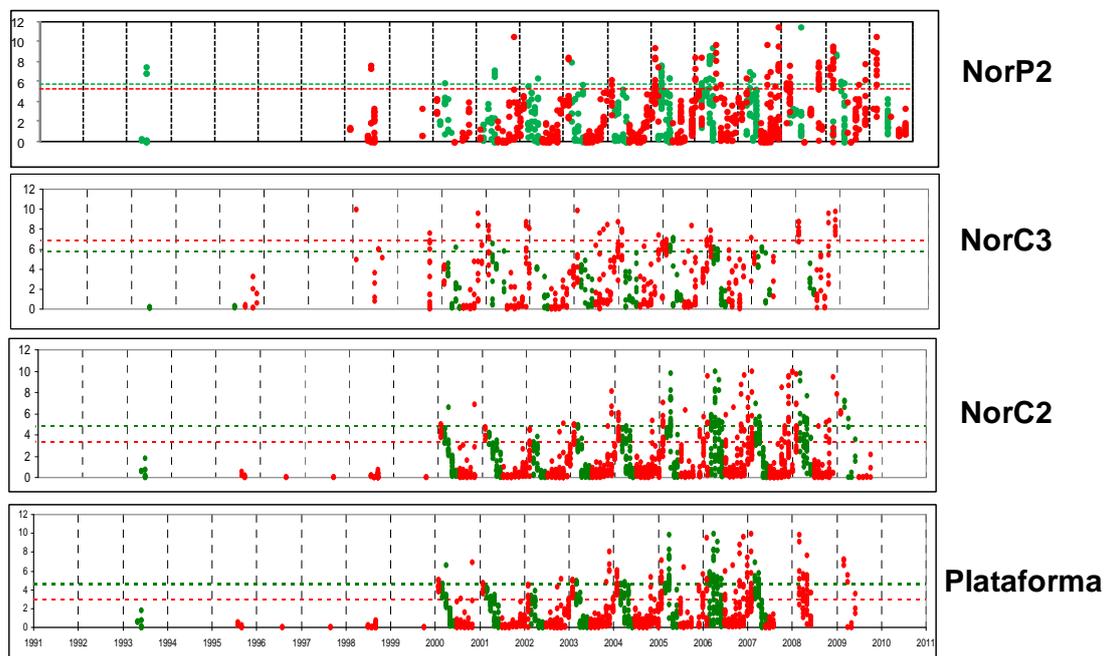


Figura 5.20. Variabilidad temporal de la concentración de nitrato en las áreas de productividad contrastante. Los puntos verdes corresponden al periodo más productivo y los rojos al período menos productivo. Las líneas discontinuas muestran los valores correspondientes al percentil 90.



Nitrito ($\mu\text{mol L}^{-1}$)

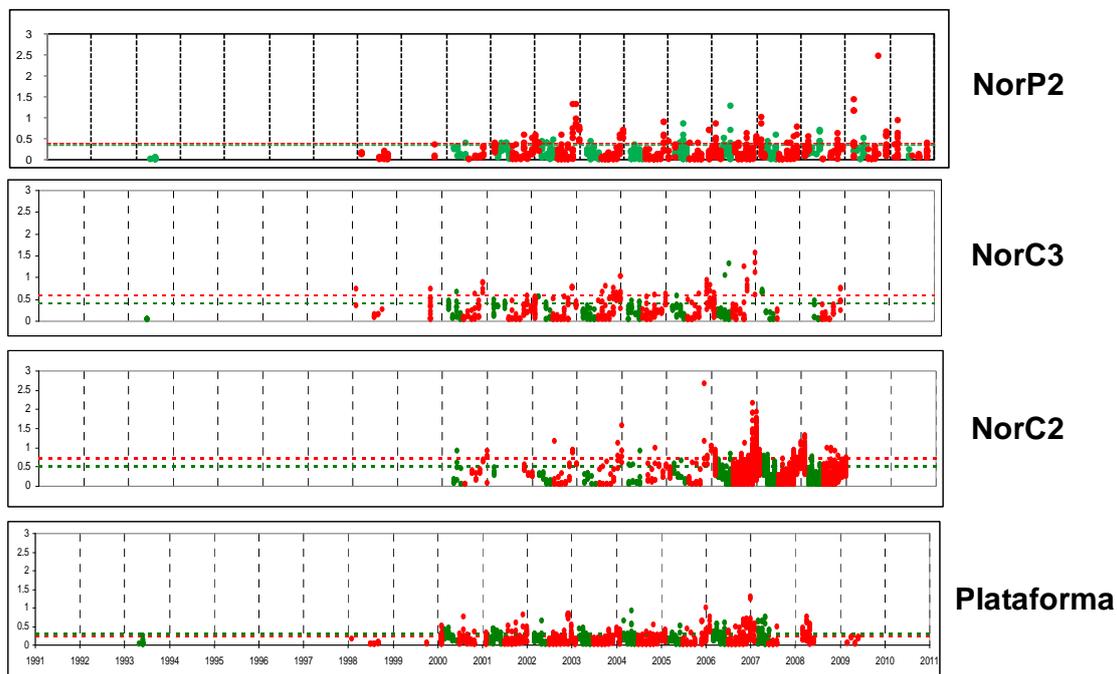


Figura 5.21. Variabilidad temporal de la concentración de nitrito en las áreas de productividad contrastante. Los puntos verdes corresponden al periodo más productivo y los rojos al período menos productivo. Las líneas discontinuas muestran los valores correspondientes al percentil 90.

Amonio ($\mu\text{mol L}^{-1}$)

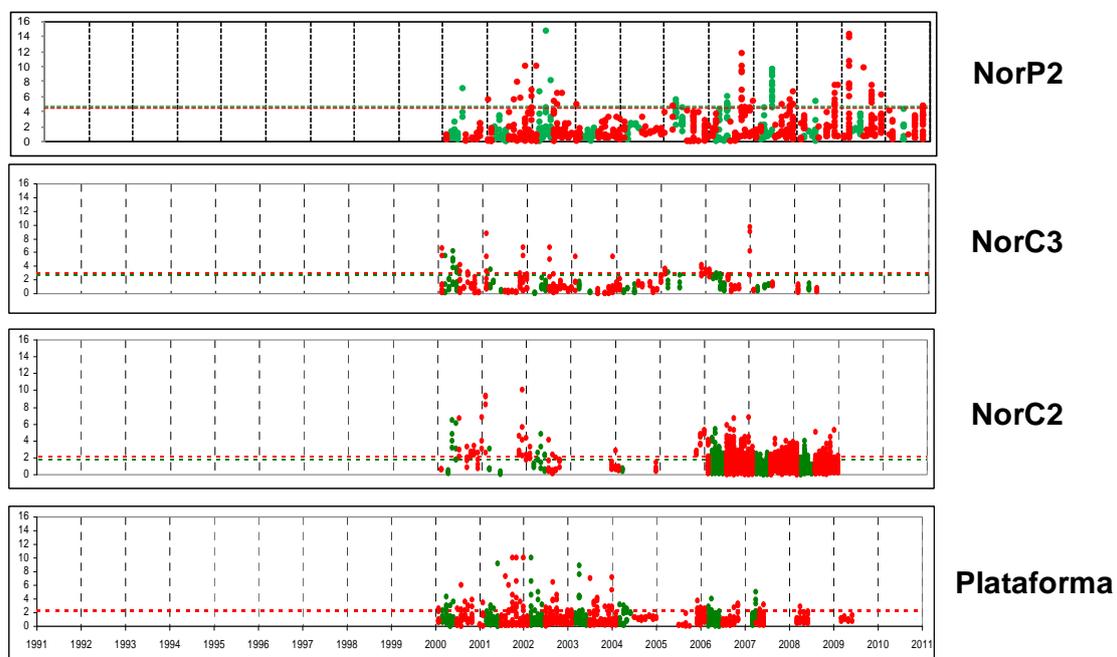


Figura 5.22. Variabilidad temporal de la concentración de amonio en las áreas de productividad contrastante. Los puntos verdes corresponden al periodo más productivo y los rojos al período menos productivo. Las líneas discontinuas muestran los valores correspondientes al percentil 90.



Nitrato ($\mu\text{mol L}^{-1}$)

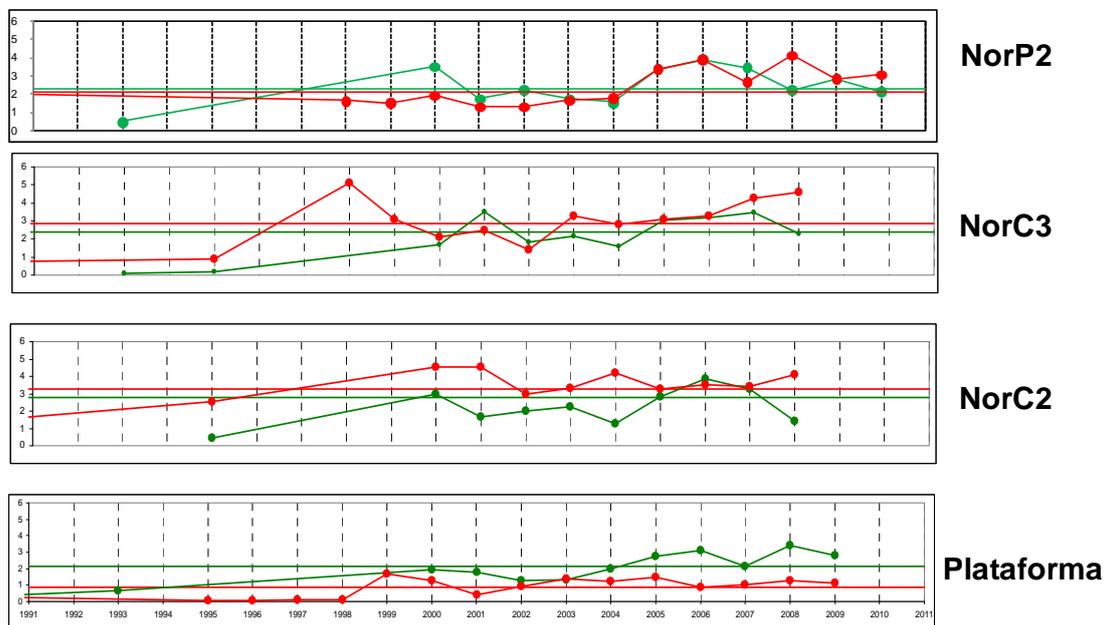


Figura 5.23. Variabilidad de las medias anuales de la concentración de nitrato en las áreas de productividad contrastante. Los puntos verdes corresponden al periodo más productivo y los rojos al periodo menos productivo. Las líneas horizontales continuas muestran los valores de la media para todo el periodo.

Nitrato ($\mu\text{mol L}^{-1}$)

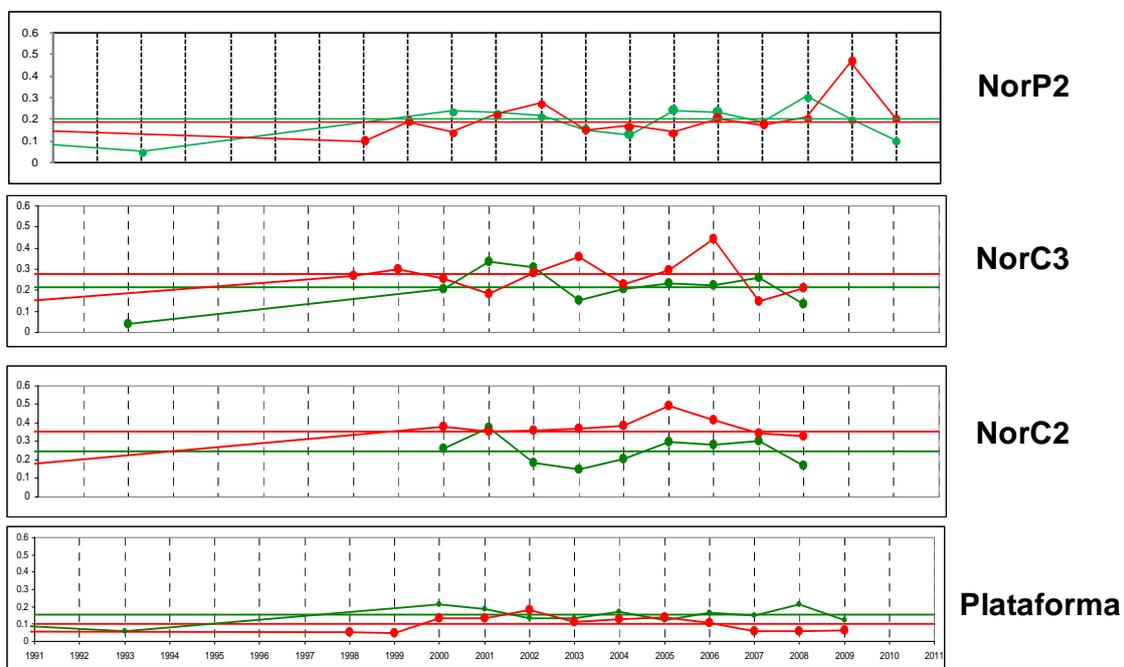


Figura 5.24. Variabilidad de las medias anuales de la concentración de nitrato en las áreas de productividad contrastante. Los puntos verdes corresponden al periodo más productivo y los rojos al



restos del ciclo anual. Las líneas horizontales continuas muestran los valores de la media para todo el periodo.

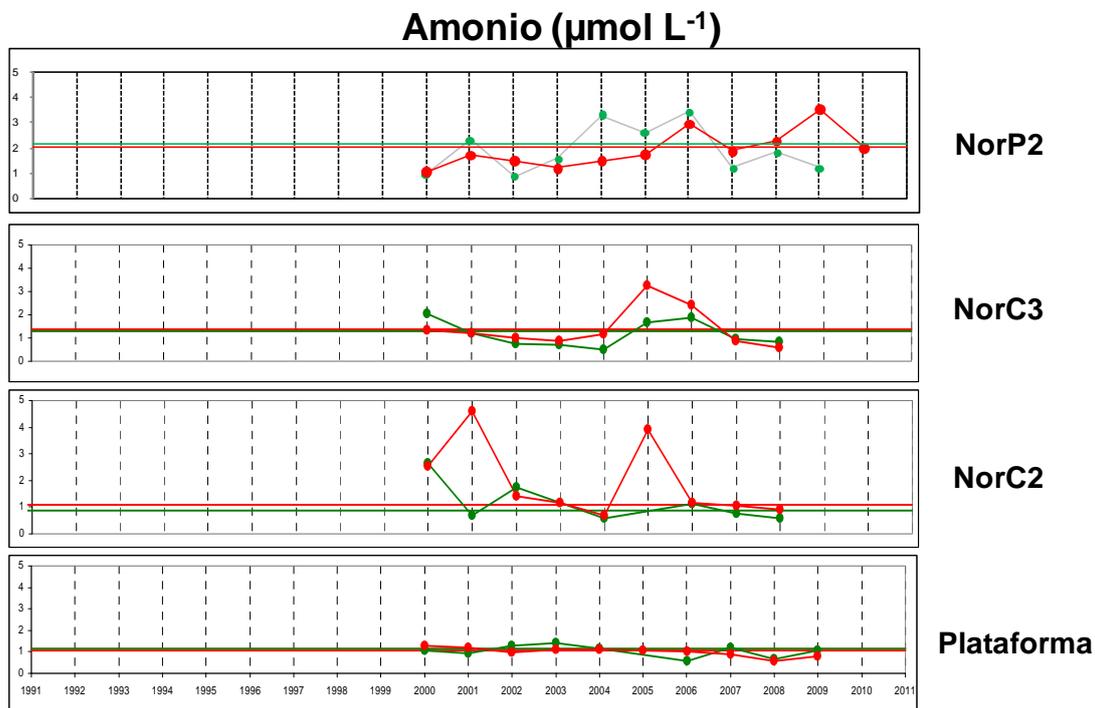


Figura 5.25. Variabilidad de las medias anuales de la concentración de amonio en las áreas de productividad contrastante. Los puntos verdes corresponden al periodo más productivo y los rojos al resto del ciclo anual. Las líneas horizontales continuas muestran los valores de la media para todo el periodo.

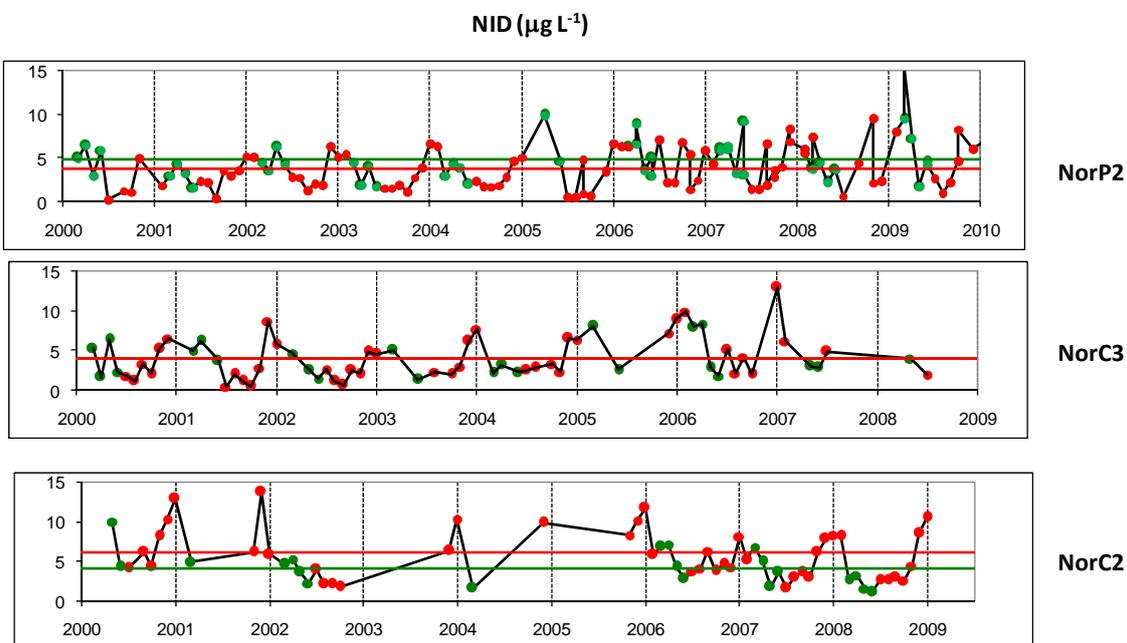


Figura 5.26. Variabilidad de las medias mensuales de la concentración de nitrógeno inorgánico total (NID) en tres de las áreas de productividad contrastante. Los puntos verdes corresponden al periodo más productivo y los rojos al período resto del periodo anual. Las líneas horizontales continuas muestran los valores de la media para todo el periodo.

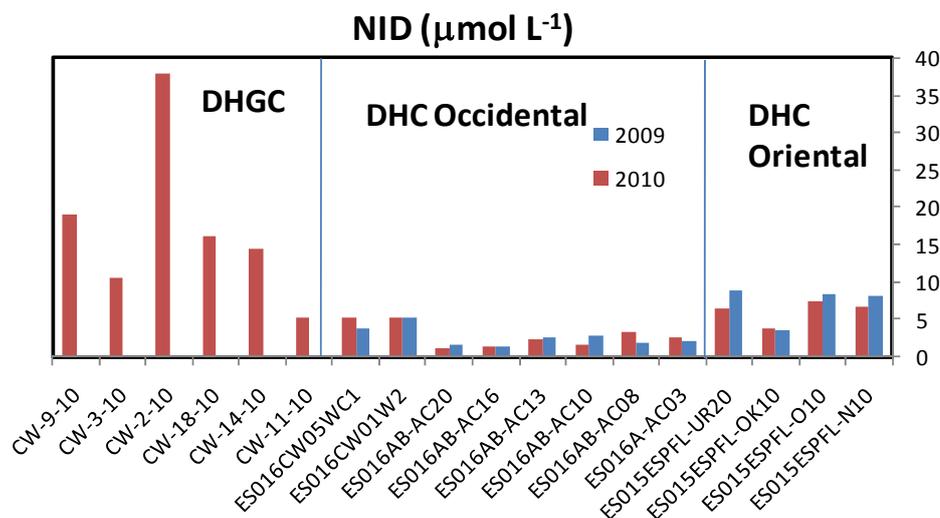


Figura 5.27. Concentraciones de NID en algunas estaciones costeras de la Demarcación Marina. Los valores corresponden a la media anual publicada en WISE-SoE Marine.

En general, la concentración de fosfato fue menos variable que la de nitrato, salvo en el área NorC3 donde se registraron las mayores concentraciones en 2001 (Figura 5.28). Las concentraciones medias anuales de fosfato tendieron a aumentar en todas las áreas a partir de 2004 dado que las medias anuales fueron mayores en comparación con el periodo previo (Figura 5.29). De hecho, los mayores valores anuales promediados en todo el periodo se obtuvieron en 2008-2009 (excepto en el área NorC2). En el área NorP2, la concentración media anual de fosfato describió una tendencia lineal creciente durante el período menos productivo ($p < 0.05$). Por el contrario, no se obtuvo ninguna tendencia temporal para el silicato (Figuras 5.30, 5.31) aunque la mayor concentración media anual en el área NorP2 se obtuvo en 2009.



Fosfato ($\mu\text{mol L}^{-1}$)

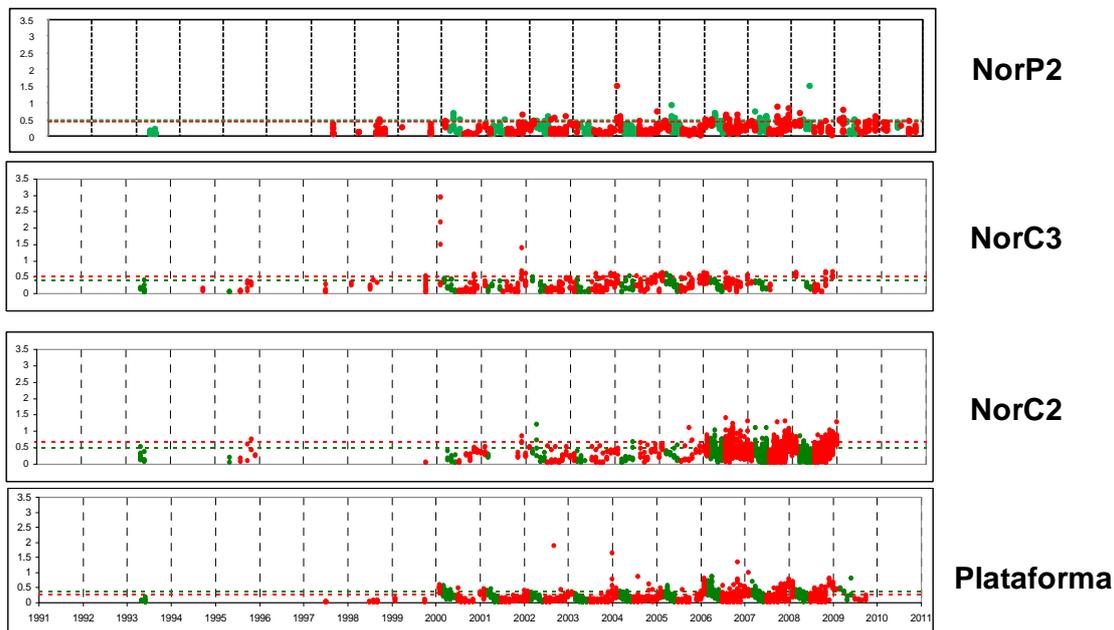


Figura 5.28. Variabilidad temporal de la concentración de fosfato en las áreas de productividad contrastante. Los puntos verdes corresponden al periodo más productivo y los rojos al resto del ciclo anual. Las líneas discontinuas horizontales muestran los valores correspondientes al percentil 90.

Fosfato ($\mu\text{mol L}^{-1}$)

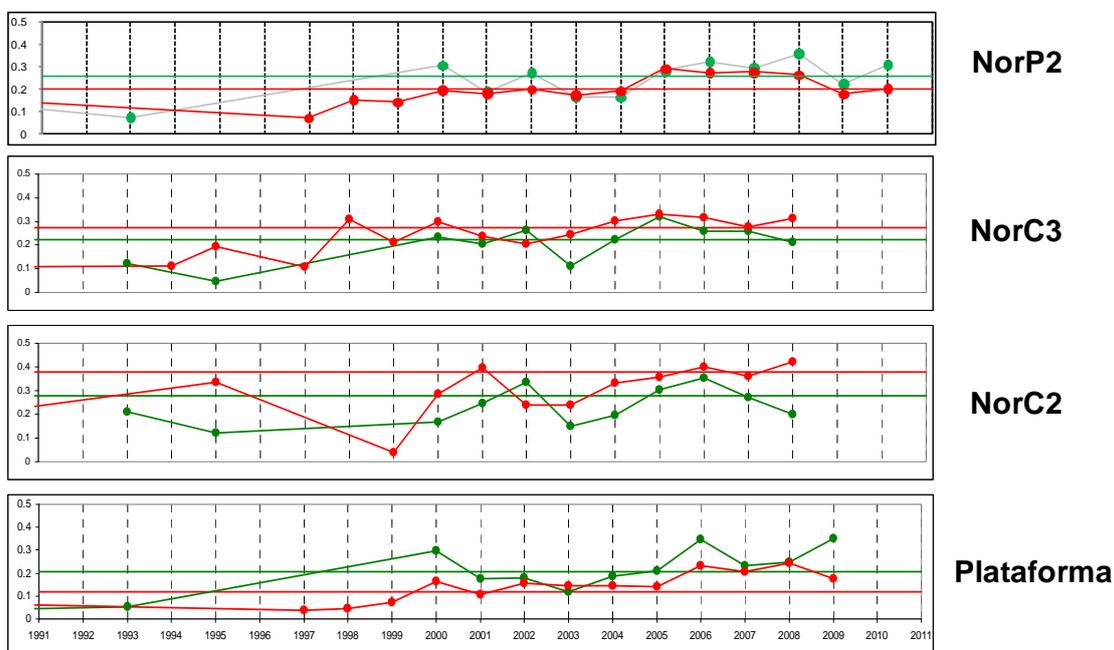


Figura 5.29. Variabilidad de las medias anuales de la concentración de fosfato en las áreas de productividad contrastante. Los puntos verdes corresponden al periodo más productivo y los rojos al



resto del ciclo anual. Las líneas horizontales continuas muestran los valores de la media para todo el periodo.

Silicato ($\mu\text{mol L}^{-1}$)

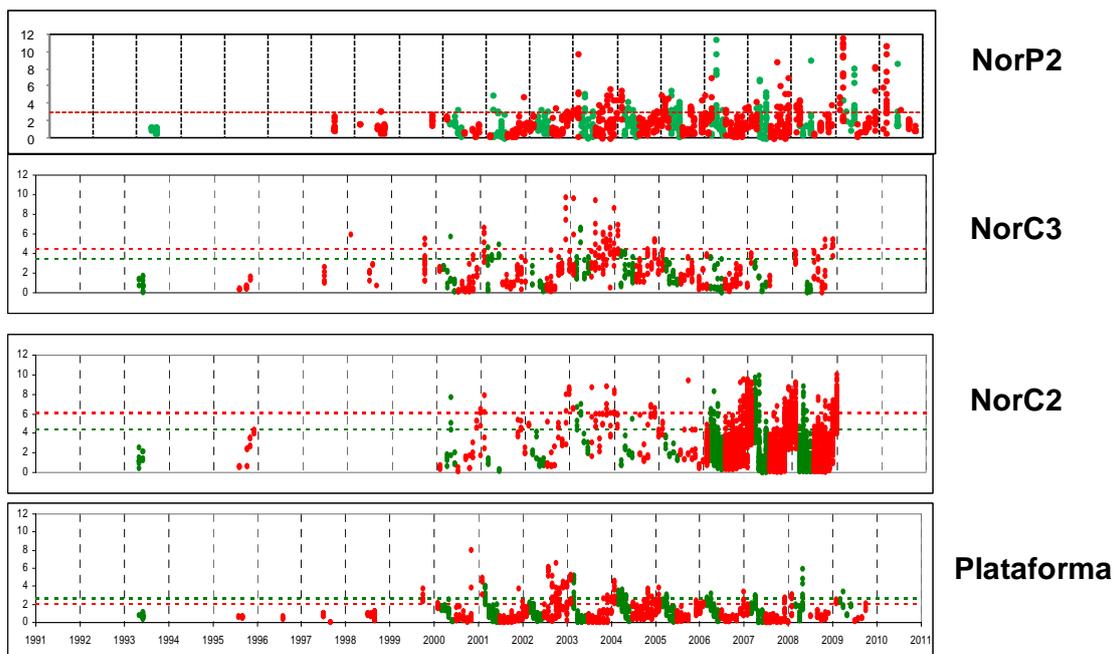


Figura 5.30. Variabilidad temporal de la concentración de silicato en las áreas de productividad contrastante. Los puntos verdes corresponden al periodo más productivo y los rojos al resto del ciclo anual. Las líneas discontinuas horizontales muestran los valores correspondientes al percentil 90.



Silicato ($\mu\text{mol L}^{-1}$)

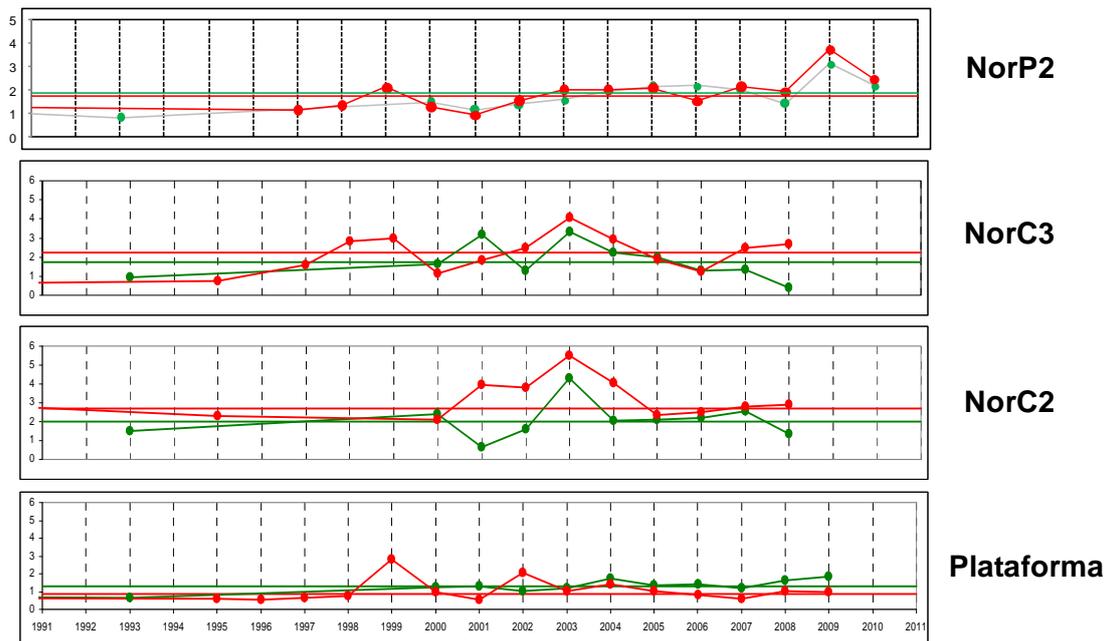


Figura 5.31. Variabilidad de las medias anuales de la concentración de silicato en las áreas de productividad contrastante. Los puntos verdes corresponden al periodo más productivo y los rojos al resto del período anual. Las líneas horizontales continuas muestran los valores de la media para todo el periodo.

2.4.3. Estado actual y tendencias temporales de los indicadores de efectos directos

Los datos disponibles de clorofila *a* estimada a partir de muestras recogidas *in situ* no permiten reconstruir una serie temporal para el área NorO1 ni para el área NorC1. No obstante, para la primera de ellas se muestra la serie temporal de valores de clorofila *a* de satélite con el fin de comprobar si ha habido alguna tendencia de cambio significativa. Como se ha comentado anteriormente, los valores de clorofila *a* de satélite mostrados en la Figura 5.32 se han calculado a partir del algoritmo OCM3 (ver ANEXO II), no adaptado regionalmente. Este hecho debe tenerse en cuenta en su comparación con las concentraciones de clorofila *in situ* en las otras áreas de productividad. No obstante, la correlación entre las medias de la concentración de clorofila *a* de satélite e *in situ* calculadas para las áreas de productividad contrastante identificadas en este informe (considerando el período más productivo y el resto del ciclo anual) fue significativa ($r^2=0.85$, $n=7$; Anexo II). La media calculada a partir del satélite tiende a sobreestimar la media basada en datos *in situ* entre un 30% y un 75%. Estas comparaciones indican no obstante que el satélite expresa adecuadamente los patrones de variabilidad espacial y temporal en la Demarcación. Además, los datos de



satélite indican que durante el periodo 2002-2010 no ha habido ninguna tendencia significativa en la concentración de clorofila en el área NorO1.

Las series temporales de clorofila *in situ* para las otras tres áreas de las que se dispone datos se muestran en la Figura 5.33. En las tres áreas, el rango de variabilidad de la concentración de clorofila fue muy similar, sin embargo la frecuencia de valores relativamente altos (mayor a $8 \mu\text{g L}^{-1}$) fue mayor en NorC2 (aunque para esta área sólo se dispone de datos para el periodo de 2006 a 2008, por lo tanto no es posible comparar el periodo actual con el previo, y determinar así si ha habido o no alguna tendencia significativa). En las áreas de Plataforma y NorP2 no se observa ninguna tendencia significativa (Figura 5.34). Los valores medios anuales de clorofila *a* para las estaciones costeras reportadas a WISE-SoE Marine son en general menores a la media anual para NorP2 y NorC2 (Figura 5.35). No obstante, es interesante destacar que en las estaciones costeras de la DHC Occidental mostradas en la Figura 5.35 los valores medios anuales de clorofila media anual en 2010 fueron mayores que en las estaciones costeras de la DHC Oriental.

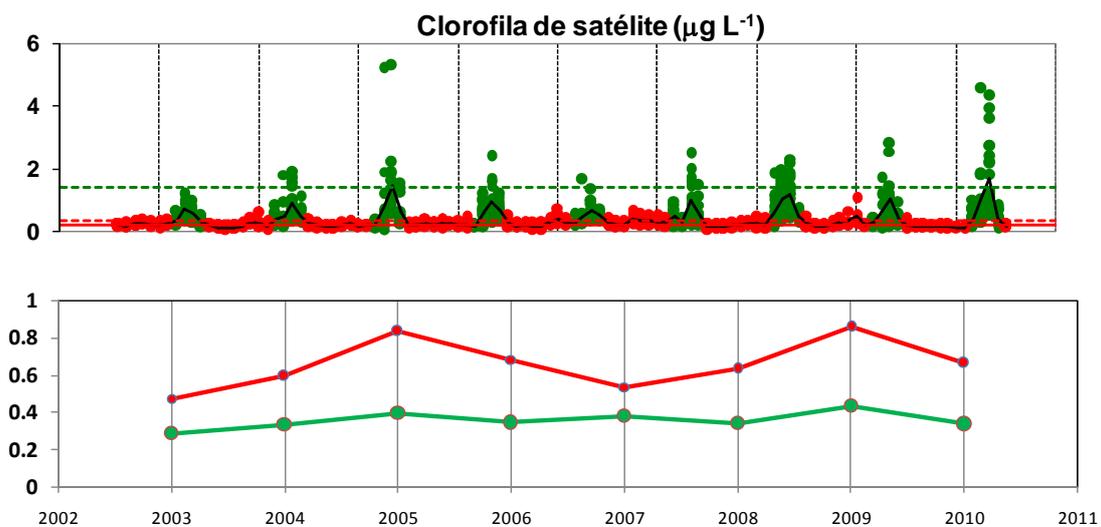


Figura 5.32. Promedios mensuales (panel superior) y anuales (panel inferior) de clorofila *a* de satélite para el área NorO1. Los datos en verde corresponden al período más productivo, los datos en rojo al resto del ciclo anual. En el panel superior, las líneas horizontales discontinuas representa el respectivo percentil 90.



Clorofila a ($\mu\text{g L}^{-1}$)

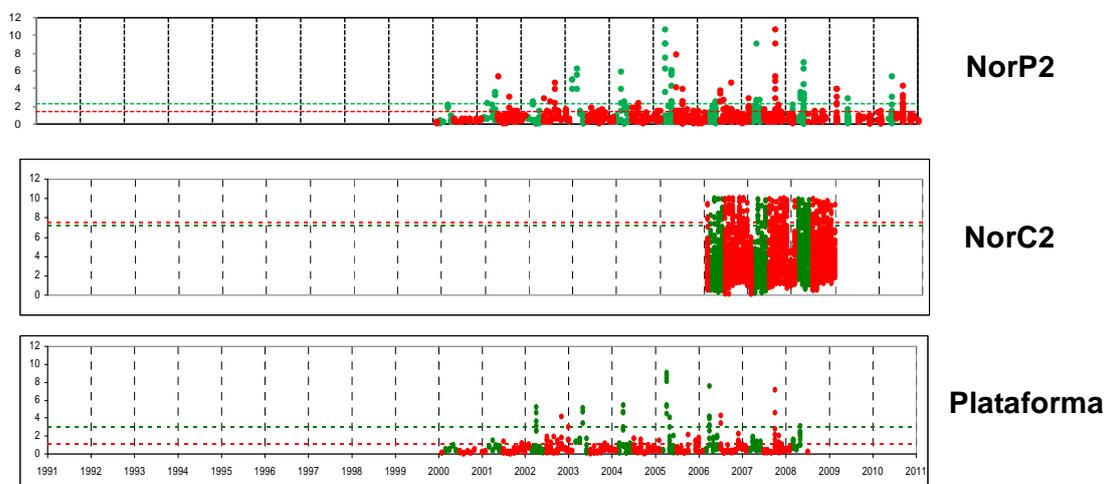


Figura 5.33. Variabilidad temporal de la concentración de clorofila *a in situ* en las áreas de productividad contrastante para las que se dispone datos. Los puntos verdes corresponden al periodo más productivo y los rojos al período resto del ciclo anual. Las líneas discontinuas muestran los valores correspondientes al percentil 90.

Clorofila a ($\mu\text{g L}^{-1}$)

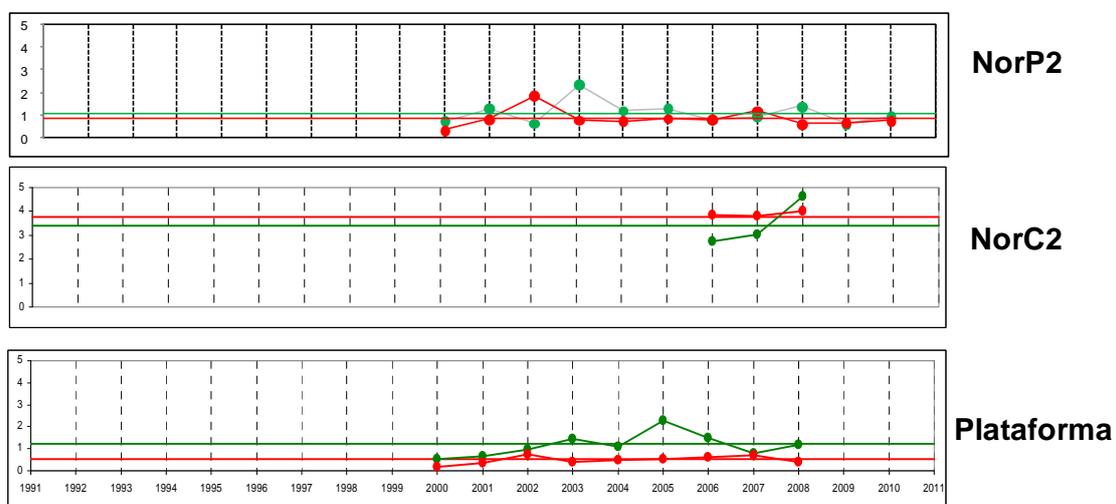


Figura 5.34. Variabilidad de las medias anuales de la concentración de clorofila *a in situ* en las áreas de productividad contrastante. Los puntos verdes corresponden al periodo más productivo y los rojos al resto del ciclo anual. Las líneas horizontales continuas muestran los valores de la media para todo el periodo.

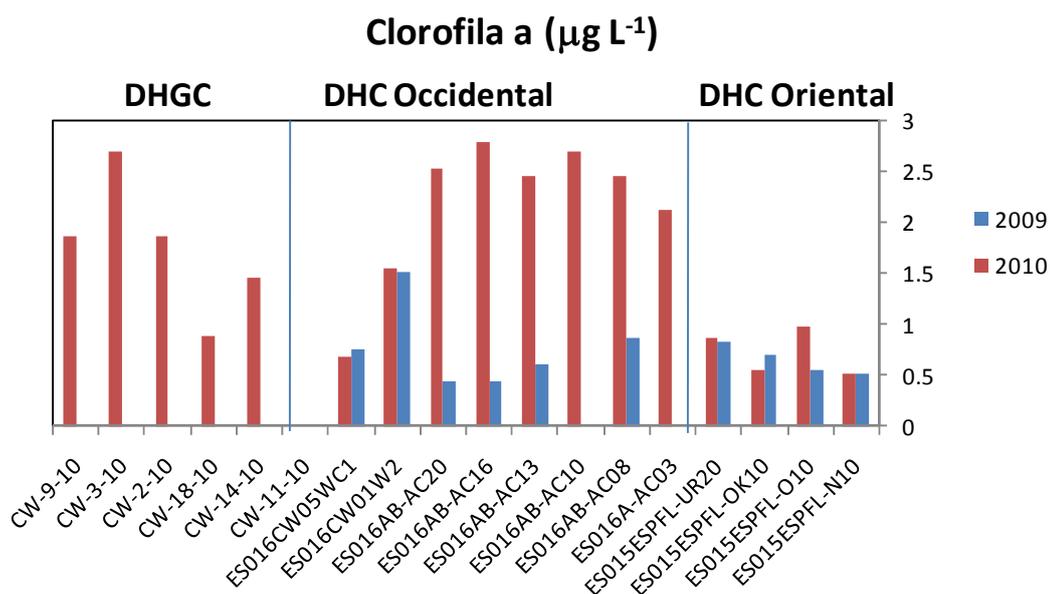


Figura 5.35. Promedio anual de las concentraciones de clorofila *a* (panel superior) en diferentes estaciones costeras localizadas en las demarcaciones hidrográficas de Galicia Costa (DHGC), Cantábrico Occidental y Cantábrico Oriental.

Los datos publicados sobre la composición taxonómica de las comunidades de fitoplancton, generados a partir del programa RADIALES del IEO, no revelan cambios temporales significativos que puedan atribuirse a eutrofización (ver lista de referencias). Más bien al contrario, la conclusión de estos trabajos es que los cambios temporales en estas comunidades están asociados a cambios hidrológicos relacionados con el forzamiento atmosférico. Hay que señalar también que, al menos en la costa de Asturias, no se ha detectado la ocurrencia de episodios de mareas verdes ni de crecimiento explosivo de otras especies de macroalgas oportunistas.

En la Figura 5.36 se muestran los valores medios anuales de la profundidad del disco de Secchi en algunas estaciones costeras de la Demarcación (según los datos reportados por las CCAA a WISE SoE Marine). Los datos mostrados corresponden a valores promediados para los años 2009 y 2010. Las estaciones están distribuidas dentro de las tres demarcaciones hidrográficas principales que presentan masas de agua en la Demarcación Marina. Considerando todos los datos en su conjunto, la correlación entre la profundidad del disco de Secchi y la concentración de clorofila *a* fue significativa estadísticamente (Figura 5.37), lo que indica que la transparencia de la columna de agua fue determinada por la concentración de clorofila, esto es, en



promedio las aguas costeras de la Demarcación son aguas Tipo I. De acuerdo con la profundidad de las estaciones en las que se recogieron los datos de la Figura 5.36, la profundidad de la zona eufótica calculada a partir de la profundidad del Secchi, es mayor a la profundidad real de la estación. Por tanto los datos no permiten concluir que el fitoplancton esté limitando la luz que alcanza el fondo en estas estaciones. Esto es, con los datos disponibles no hay evidencia de que en promedio durante 2009 y 2010 la concentración de clorofila *a* en la columna de agua haya limitado substancialmente la disponibilidad de luz. No obstante, se ha de tener en cuenta que la cobertura espacial de los datos es limitada y que en todo caso las conclusiones deben ser tomadas con precaución en su extrapolación a toda la Demarcación.

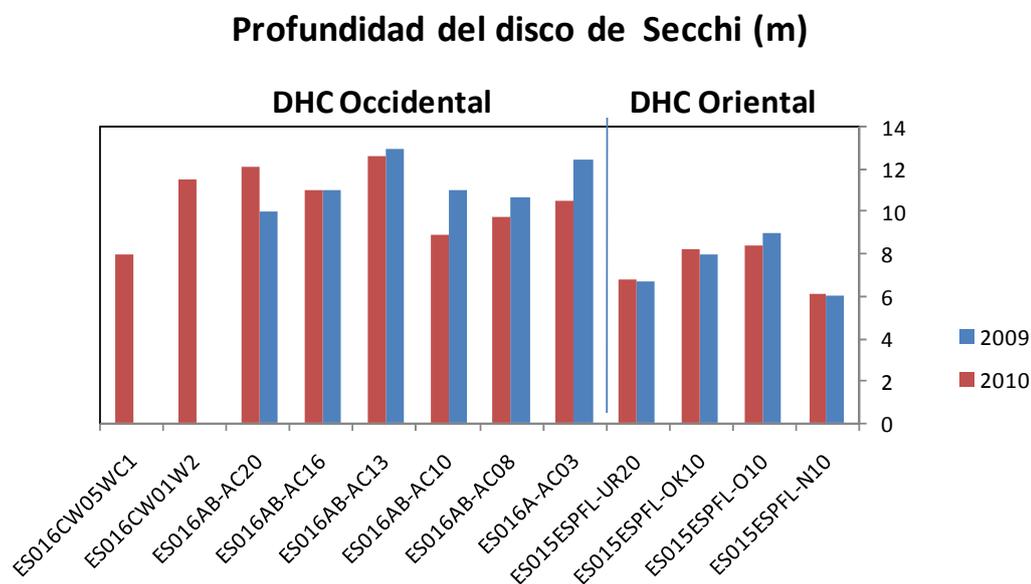


Figura 5.36. Promedio anual de las concentraciones de clorofila *a* (panel superior) y profundidad del disco de Secchi (panel inferior) en diferentes estaciones costeras localizadas en las demarcaciones hidrográficas de Galicia Costa (DHGC), cantábrico occidental (DHCO) y cuencas internas del País Vasco (DHCIPV). Nótese que no hay datos de profundidad del disco de Secchi para las masas de agua de DHGC y que en algunas masas de agua no hay datos disponibles para 2009.

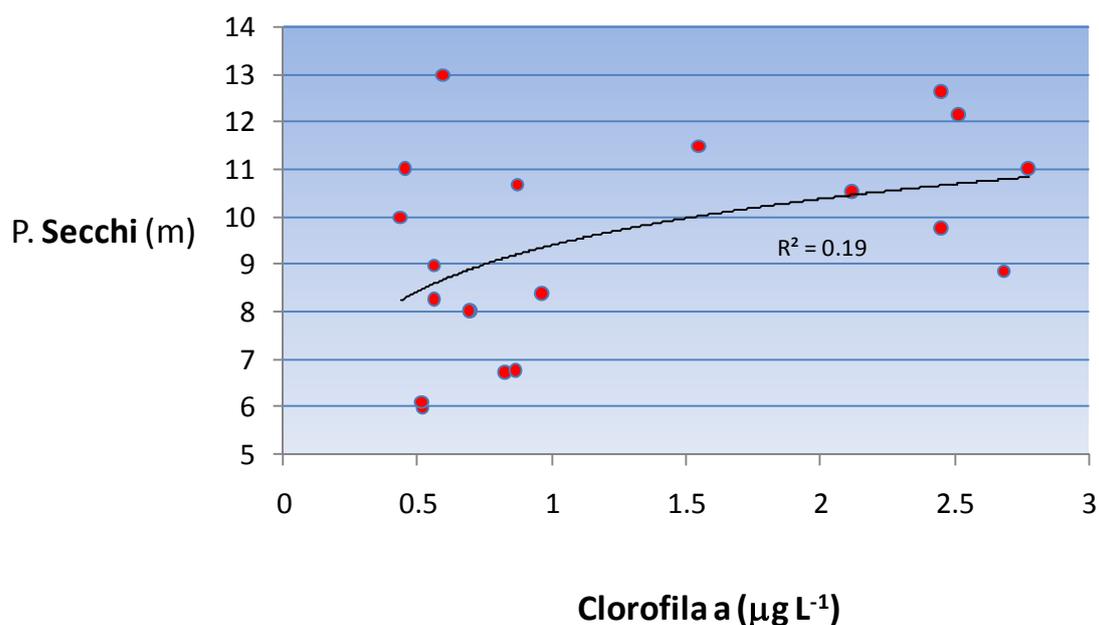


Figura 5.37. Correlación entre la concentración de clorofila a y la profundidad del disco de Secchi en las masas de agua listadas en la Figura 31. La línea continua indica el ajuste a una función exponencial.

2.4.4. Estado actual y tendencias temporales de los indicadores de efectos indirectos

Los datos de concentración de oxígeno disponibles para algunas estaciones costeras de la Demarcación (que son en principio las zonas que podrían presentar mayor limitación de oxígeno debido a su mayor productividad) no muestran en promedio valores inferiores al límite de referencia de saturación de oxígeno definido en la aplicación del Procedimiento Común de OSPAR (80%; Figura 5.38). Por otro lado, el análisis de los datos procedentes de la red de seguimiento del estado ecológico de las aguas costeras del País Vasco indica que durante el período 2005-2010 sólo se registraron valores de saturación de oxígeno menores del 80% puntualmente en dos ocasiones, lo que representa menos del 0,5% de los registros (unos 1000 en total durante ese período).

Las comunidades de macroalgas han sido evaluadas en el contexto de la DMA en las masas de agua costera de la DHC Occidental y la DHC Oriental (Figura 5.39). Según dicha evaluación, las comunidades de macroalgas se encuentran en muy buen estado, por lo tanto, tampoco hay evidencias de efectos indirectos de la eutrofización sobre las mismas.

Saturación de oxígeno (%)

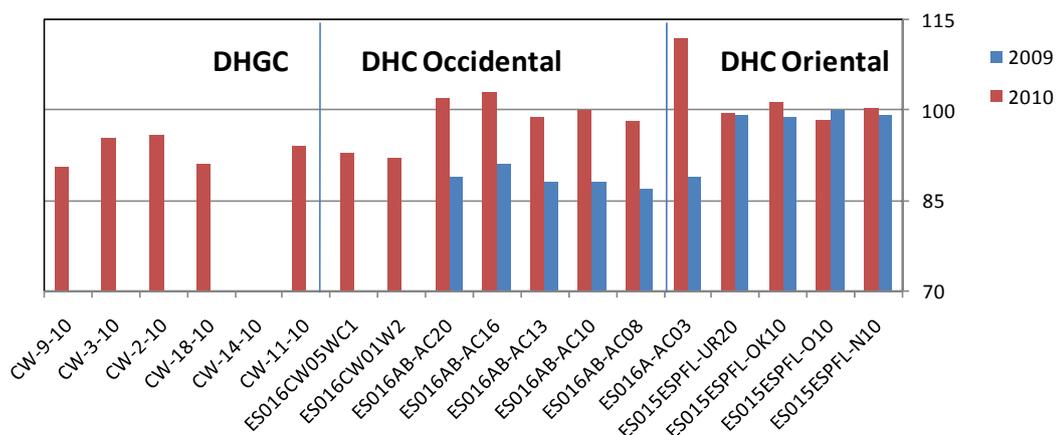


Figura 5.38. Promedio anual de saturación de oxígeno en diferentes estaciones costeras localizadas en las demarcaciones hidrográficas de Galicia Costa (DHGC), del Cantábrico Occidental (DHC Occidental) y del Cantábrico Oriental (DHC Oriental). Nótese que no hay datos disponibles para 2009 en algunas estaciones.

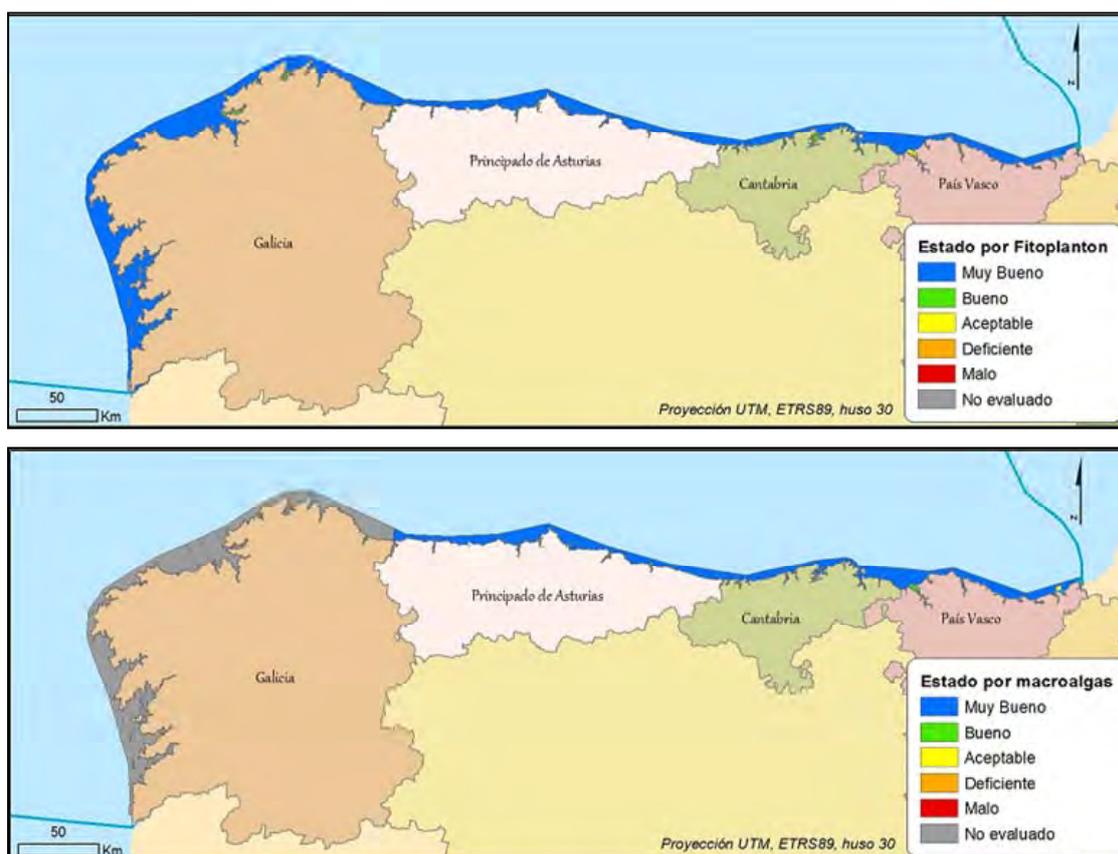


Figura 5.39. Resultados de la evaluación de los elementos de calidad fitoplancton y macroalgas llevada a cabo en cumplimiento de la DMA.



2.4.5. Evaluación integrada del estado actual de los indicadores y el descriptor

El Procedimiento Común de OSPAR, propone una clasificación de las zonas marinas en tres clases en cuanto a la eutrofización: con problemas, con problemas potenciales y sin problemas. La clasificación se basa en la evaluación integrada y secuencial de las tres categorías de parámetros propuestos en el Procedimiento Común para el seguimiento de la eutrofización: nutrientes, efectos directos y efectos indirectos. Ya se ha discutido previamente que en gran medida la estructura de los indicadores del Descriptor 5 responde al mismo esquema jerárquico de presiones y efectos que el Procedimiento Común. Por lo tanto, en el contexto de la evaluación del Descriptor 5 se puede asumir plenamente el esquema de evaluación de la eutrofización del Procedimiento Común de OSPAR.

De acuerdo con el procedimiento analítico expuesto en el apartado 5.2.1, se propone basar la evaluación integrada del Descriptor 5 en los siguientes dos criterios:

- (1) Las tendencias de los indicadores de presión y efectos directos registradas durante el período actual por comparación con periodos previos.
- (2) Los criterios de calidad definidos en las CCAA en aplicación de la DMA (valores de evaluación en las Tabla 5.5). Como valor de evaluación se propone adoptar el umbral definido por la DMA como límite para el estado Bueno/Moderado. Puesto que estos valores se han definido únicamente para las masas de agua costeras, este criterio sólo se aplicará a las áreas de productividad contrastante que incluyen aguas costeras (NorP2, NorC2 y NorC3).

Obviamente, estos dos criterios (tendencias y valores de evaluación) sólo han podido ser aplicados simultáneamente a nutrientes y clorofila *a*. En particular, el procedimiento de evaluación aplicado a estos indicadores ha sido el siguiente:

- Respecto a las tendencias, se ha considerado que existen tendencias positivas (de aumento) del indicador en un área de productividad particular cuando el percentil 90 calculado para el período 2005-2010 exceden el valor de base (percentil 90 estimado para toda la serie). Adicionalmente, para las áreas e indicadores de los que se dispone de una serie temporal larga (al menos diez años), se ha calculado la significancia estadística de la tendencia temporal monótona de los promedios anuales mediante el test de Maan-Kendall.



Debido a los escasos datos disponibles, las tendencias no se han podido aplicar a la clorofila a en todas las áreas de productividad contrastante.

- Respecto a los valores de evaluación, se ha considerado que se sobrepasan en un área particular cuando el percentil 90 de la clorofila (o la concentración media en el caso de los nutrientes) calculado para el período 2005-2010 excede el valor del límite para el estado Bueno/Moderado de la DMA.

Los resultados de la aplicación de estos criterios se resumen en la Tabla 5.7, donde se incluye además la evaluación de los otros indicadores. La evaluación de la transparencia está basada en los datos de 2009 y 2010 mostrados en la Figura 5.36. El criterio aplicado ha sido el discutido más arriba, esto es, si hay evidencias de que la transparencia limita o no substancialmente la disponibilidad de luz para las comunidades de macrófitos costeros. Para el indicador 5.2.4 se cuenta con la evaluación de las tendencias de las comunidades de fitoplancton disponibles en la literatura, basada en los datos del proyecto RADIALES del IEO. Adicionalmente, se ha considerado la propia evaluación realizada por las CCAA del elemento de calidad Fitoplancton de la DMA, que incluye la evaluación de la frecuencia de *blooms* de fitoplancton (Figura 5.39). De igual forma, para la evaluación del indicador 5.3.1 se ha asumido la evaluación de las comunidades de macroalgas llevada a cabo desde la DMA. La evaluación de la concentración de oxígeno está basada en el criterio adoptado en el Procedimiento Común de OSPAR que considera como valor umbral el 80% de saturación.

Para el área más oceánica (NorO1), no se dispone de datos que permitan determinar si las concentraciones de nutrientes han experimentado cambios significativos durante el periodo actual. No obstante, los datos de clorofila de satélite no evidencian cambios significativos, además el área adyacente (plataforma) no ha experimentado tampoco cambios significativos ni en concentración de nutrientes ni en clorofila a . Por tanto es muy probable que en NorO1 tampoco se hayan producido cambios en concentración de nutrientes en 2005-2010 respecto a periodos previos. En principio ambas áreas (NorO1 y Plataforma) pueden definirse, con los datos disponibles, como “sin problemas de eutrofización”.

En el área de productividad NorP2 se ha encontrado un aumento de las concentraciones de nutrientes durante los últimos años (con respecto al período previo del que se dispone datos). Esta área ocupa casi todas las masas de agua costera de las demarcaciones hidrográficas DHC Occidental y DHC Oriental, por tanto en



principio los datos indicarían que en esta franja costera podría haberse incrementado la concentración de nutrientes durante el periodo actual. Además, la tendencia creciente para toda la serie temporal de las medias anuales de nitrato, amonio y fosfato para el periodo menos productivo, es estadísticamente significativa. Dicho incremento no sería atribuible a cambios en las condiciones hidrológicas de las masas de agua por cuanto se trata de una zona del litoral no afectada (o afectada débilmente) por afloramientos y además no se han producido cambios significativos de nutrientes en el área inmediatamente adyacente (Plataforma). Alternativamente, el incremento se podría deber al aporte de nutrientes desde fuentes terrestres, incluyendo los procedentes de la escorrentía de ríos y arroyos (nótese que este elemento también se ha tenido en cuenta en la estimación del potencial de acumulación de nutrientes mostrado en la Figura 5.19). La distribución de zonas de acumulación potencial de nutrientes indica que en el litoral cantábrico se encuentran varios focos con alto y moderado riesgo de acumulación de nutrientes (ver Figura 5.19). No obstante, no se dispone de información suficientemente detallada como para determinar qué zonas específicas dentro del área NorP2 podrían haber experimentado un aumento de la concentración de nutrientes durante el período actual ni cuál es la contribución a ese aumento de las diferentes fuentes que aportan nutrientes al litoral. La influencia de las descargas de los ríos en el Cantábrico fue estudiada por Prego et al. (2008) quien concluyó que su efecto, al menos en términos de aportes en sólidos en suspensión a la zona costera, es modesto en comparación con otras áreas del golfo de Vizcaya. Además, los autores indicaron que una de las principales características de estos aportes es su alta dispersión debido a la naturaleza de los ríos (en general cortos y con poco caudal). Por otro lado, es interesante notar que en el segundo informe del estado de eutrofización del área marítima OSPAR se señaló la presencia de varios estuarios localizados en la DHC Occidental y la DHC Oriental que fueron calificados como con problemas potenciales de eutrofización (OSPAR 2008; Tabla 5.8). Es evidente que dada la muy diferente susceptibilidad de los estuarios y las zonas costeras a la eutrofización, el estado ecológico de los estuarios no puede extrapolarse a toda el área costera adyacente, sin embargo esta clasificación sí denota que en los primeros se detectó una excesiva carga de nutrientes que, al menos sí pudo influir sobre las concentraciones de nutrientes en las zonas costeras más próximas. Sin embargo, es probable que los aportes de nutrientes desde estos cursos de agua hayan experimentado una tendencia decreciente desde principios de la década pasada en algunas zonas del litoral. Así al menos es de esperar para algunas áreas de la costa del País Vasco en que se ha constatado que las descargas de nutrientes a algunos de los estuarios allí localizados han disminuido progresivamente desde el año 2000 (Borja et al., 2004, 2006, Garmendia et al., 2012), lo que en principio debe también repercutir



en la zona costera. Por lo tanto es probable que la tendencia creciente encontrada en la concentración de nutrientes en el área NorP2 no se haya producido homogéneamente en todas las zonas costeras que esta ocupa. En este sentido, hay que tener en cuenta que no todas las zonas que ocupa el área NorP2 están representadas homogéneamente en nuestra base de datos. Evaluaciones futuras deben ir enfocadas a detectar cuáles son los aportes que pueden explicar estas tendencias y sobre todo cuál es su localización específica.

En las áreas NorC3 y NorC2 también se han detectado aumentos en la concentración de nitrato y fosfato durante los últimos años (2005-2010). Así mismo, destacan los relativamente altos valores de NID en 2010 reportados por las CCAA para algunas masas de agua costera en la DHGC (Figura 5.27). Estas áreas presentan una alta incidencia del afloramiento, que en principio debe ser una fuente notable de nutrientes. Sin embargo, no hay evidencias de que la intensidad del afloramiento haya aumentado durante los últimos años. En toda la costa de Galicia se distribuyen puntos con alta y moderada probabilidad de acumulación de nutrientes, por tanto no es descartable que las fuentes terrestres sean la causa de esta tendencia creciente en la concentración de nutrientes, aunque el contraste de esta hipótesis requiere más datos y análisis adicionales.

A pesar de las tendencias crecientes encontradas, no se han detectado valores de concentración de NID ni fosfato en estas áreas que excedan el límite Bueno/Moderado definido por las CCAA en aplicación de la DMA. En este sentido, la evaluación presentada en la Tabla 5.7 es coherente con la realizada en cumplimiento de la DMA.

Independientemente de los cambios en las concentraciones de nutrientes, no hay evidencias de que se hayan producido durante el periodo actual cambios significativos en la concentración de clorofila α en ninguna de las áreas de productividad identificadas en el informe. Por tanto, no hay datos que permitan inferir que el hipotético aumento de la concentración de nutrientes en la columna de agua haya producido efectos directos. Además, los límites para la clase Bueno/Moderado de la DMA en relación con la concentración de clorofila se han cumplido en todas las áreas y masas de agua para las que se dispone de datos. En el mismo sentido, y con los datos disponibles, no hay evidencias de efectos indirectos de eutrofización. No obstante, y con respecto a la clorofila α , hay que tener en cuenta que se han encontrado núcleos de alta productividad en la costa del Cantábrico, precisamente coincidiendo con alguna de las zonas de alta probabilidad de acumulación de nutrientes antes mencionadas. Estos altos valores de clorofila α de satélite en principio difícilmente puede atribuirse a



variabilidad hidrológica (Figura 5.14), aunque en todo caso es necesario contrastar esta información de satélite con datos de clorofila *a in situ* obtenidos dentro de estas zonas. De hecho, en algunas estaciones costeras del litoral del País Vasco en que se ha llevado a cabo una comparación entre los datos de satélite y los datos *in situ*, se ha comprobado que los datos de clorofila de satélite calculados mediante el algoritmo OC3M sobreestiman notablemente la concentración *in situ* (Novoa et al., 2012). Los autores atribuyeron estos altos valores a la presencia de agua Tipo II. Hay que notar que, según Novoa et al. (2012), el percentil 90 de la clorofila *in situ* en las estaciones costeras del litoral del País Vasco (algunas de las cuales se localizan cercanas a los núcleos con alta concentración de clorofila *a* de satélite) varió entre 0,96 y 1,18 $\mu\text{g L}^{-1}$, de acuerdo con datos tomados entre 2005 y 2010. Estos valores estarían por debajo de los valores de base calculados para el área NorP2.

De acuerdo con el Procedimiento Común de OSPAR y los criterios indicados en la Tabla 5.7, con el conocimiento disponible, las áreas NorC3, NorC2 y NorP2 podrían presentar problemas potenciales de eutrofización derivados de la acumulación de nutrientes. Por otro lado, no se dispone de datos suficientes que permitan realmente establecer una relación causa-efecto entre las descargas de nutrientes con origen en tierra y su incremento en la columna de agua, por tanto la clasificación de estas áreas como con problemas potenciales de eutrofización respondería más bien a un principio de precaución, a la espera de poder disponer de más y mejores datos (en especial de los aportes antropogénicos de nutrientes). El área NorP2 en su conjunto presentaría también problemas potenciales de eutrofización (por la tendencia creciente en los nutrientes antes comentada). Sin embargo, se precisa de una base de datos *in situ* con una distribución suficientemente homogénea para toda el área, de manera que se pueda delimitar más concretamente qué zonas de la costa (dentro del área NorP2) son afectadas por estas tendencias.



Tabla 5.7. Evaluación del estado actual de la eutrofización en las áreas de productividad contrastante (el área NorC3 no se incluye en la evaluación por cubrir masas de agua de transición, que no han sido evaluadas en el presente informe). La evaluación de cada indicador se ha realizado atendiendo a dos criterios: la tendencia (Tend.) y los valores adoptados en la DMA para delimitar el estado Bueno/Moderado (Valores de evaluación, VE). Este último criterio sólo se ha usado para las áreas de productividad que incluyen masas de agua costera. Se han resaltado en celeste aquellos indicadores y/o áreas para las que no se dispone de datos suficientes para llevar a cabo la evaluación. En las dos últimas filas se indica el resultado de la evaluación integrada según el Procedimiento Común de OSPAR y según los criterios de la DMEM donde en verde se indica que el área está en BEA (ver apartado 5.3).

| | Indicador | NorO1 | Plataforma | NorP2 | NorC3 | NorC2 |
|--------------------|--|----------------------|----------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| | | Tend. // VE | Tend. // VE | Tend. // VE | Tend. // VE | Tend. // VE |
| Nutrientes | NID | | = // NA | + // OK | + // OK | + // OK |
| | Fosfato* | | = // NA | + // OK | = // NA | = // NA |
| Efectos directos | Clorofila | =** // NA | = // NA | = // OK | = // OK | ¿? // OK |
| | Transparencia | | | ¿? // OK | | |
| | Cambio en especies | | | = // OK | = // OK | = // OK |
| Efectos indirectos | Oxígeno | | | ¿? // OK | ¿? // OK | ¿? // OK |
| | Comunidades macrófitos | | | ¿? // OK | | |
| | Estado actual de eutrofización según Procedimiento Común de OSPAR | Sin problemas | Sin problemas | Con problemas potenciales | Con problemas potenciales | Con problemas potenciales |
| | Áreas en BEA | | | | | |

=: No se han detectado tendencias significativas de aumento en 2005-2010

NA: Criterio no aplicable

VE: valores de evaluación

+: Se han detectado tendencias positivas en 2005-2010 (ver el texto para una explicación sobre cómo se ha aplicado el criterio)

OK: Se cumple el límite para el estado Bueno/Moderado de la DMA

* Para fosfato sólo se dispone del límite Bueno/Moderado proporcionado por la Comunidad Autónoma del País Vasco

**La tendencia se ha calculado a partir de la serie de datos de clorofila de satélite



Tabla 5.8. Listado de áreas con problemas potenciales reportados por OSPAR (OSPAR, 2008) como resultado de la aplicación del Procedimiento Común. Tabla reproducida del “Eutrophication Status of the OSPAR Maritime Area Second OSPAR Integrated Report” (OSPAR, 2008).

| Denominación del área evaluada | |
|--------------------------------|--|
| País Vasco | Estuario de Butroe Estuario de Oka Estuario de Inurritza (unidad del Oria) Estuario de Oiartzun |
| Cantabria | Estuario de Oyambre Bahía de Santander Estuario de Joyel Estuario Victoria Estuario de Santoña |

2.5. Lagunas de información y conocimiento. Necesidades de investigación y desarrollo de programas de seguimiento

- Con el fin de estudiar de forma más precisa y cuantitativa el impacto de la contaminación por nutrientes sobre su concentración en la columna de agua, es preciso disponer de más información sobre la variabilidad temporal de las descargas desde las diferentes fuentes puntuales, así como de los ríos que desembocan en la Demarcación. Además, no se dispone de información suficiente sobre los vertidos de nutrientes procedentes de fuentes difusas. Es conveniente por tanto que para la próxima evaluación se cuente con datos desagregados por meses o estaciones del año de estos vertidos.
- Los datos que se han conseguido recopilar de algunos componentes de los indicadores de presión (niveles de nutrientes) no han sido suficientes para llevar a cabo una evaluación de los mismos. Así por ejemplo, los escasos datos



disponibles de concentración amonio en la columna de agua impiden valorar adecuadamente el impacto de los vertidos de aguas residuales. En el mismo sentido, la información disponible de nitrógeno y fósforo total es relativamente escasa. Muy probablemente esta carencia de datos de algunos indicadores en relación con otros se debe a las dificultades metodológicas que plantea la estimación de los primeros en agua de mar. Se recomienda promover ejercicios de inter-comparación entre los laboratorios de análisis de nutrientes en agua de mar, que participan de una u otra forma en la evaluación de la eutrofización en la Demarcación.

- En cuanto a los indicadores de efectos directos, se requiere un mayor y mejor conocimiento sobre la frecuencia y distribución de los *blooms* de fitoplancton (tóxico o no) para poder realizar una adecuada evaluación de este indicador. Dado el potencial de las imágenes de satélite para la detección y estudio de estos fenómenos, se recomienda promover el uso de esta herramienta para el seguimiento de la eutrofización. Además, es necesario disponer de un algoritmo regional que permita disminuir la incertidumbre asociada al cálculo de la concentración de clorofila de satélite a partir de los algoritmos globales. Igualmente, sería conveniente iniciar un seguimiento continuado de la incidencia de las mareas verdes y del estado ecológico en general de las comunidades de macroalgas, en aquellas zonas de la Demarcación donde este no se lleva a cabo con la periodicidad e intensidad adecuadas.
- En general, los datos disponibles han sido suficientes para llevar a cabo una evaluación inicial de la eutrofización a escala de Demarcación. Sin embargo, la información que se ha conseguido recopilar no es lo suficientemente homogénea ni temporal ni espacialmente como para poder definir de manera más precisa las áreas que requieren un especial seguimiento. Así, a pesar de que se han localizado núcleos costeros en la costa del cantábrico con relativamente alta productividad según la información de satélite, este hecho no ha podido ser corroborado con datos *in situ*, lo que impide concluir si efectivamente dichas zonas presentan concentraciones de clorofila *a* mayores a las esperadas y si el origen de los mismos se puede atribuir a descargas de fuentes terrestres. Sería conveniente poder contar para próximas evaluaciones con los datos que las CCAA están generando en cumplimiento de la DMA, ya que estos datos podrían ser útiles para contrastar la información de satélite. En el presente informe, la puesta a disposición de estos datos por parte de las CCAA ha sido dispar entre unas zonas y otras.



- Es de esperar que la carencia de información mencionada vaya siendo solventada conforme los resultados de los programas de monitorización que se llevan a cabo en la zona en cumplimiento de la estrategia de eutrofización de OSPAR vayan produciendo resultados. Dicho programa debería ir enfocado a cubrir todas las carencias de información mencionadas. En particular, a posibilitar que se disponga de datos simultáneos de todos los indicadores del Descriptor 5 tal que sea posible el uso de algunos de los índices integrados que hay disponibles para la determinación del estado de calidad respecto a la eutrofización (índice TRIX o cualquier otro).

2.6. Conclusiones

1. El procedimiento analítico utilizado, basado en el uso de las imágenes de satélite, ha permitido delimitar las zonas de productividad contrastante en la Demarcación: NorO1, Plataforma, NorP2, NorC3 y NorC2. Esta zonación responde principalmente a la incidencia de los afloramientos costeros, más intensos en la costa oeste de Galicia. Basada en la misma, se han provisto valores de base de nitrato, nitrito, amonio, fosfato, silicato y clorofila *a* que permiten caracterizar cada una de estas zonas homogéneas respecto a su productividad. En lo que respecta a la zona costera, los valores de base provistos en el presente informe son muy próximos a los valores de evaluación utilizados por las CCAA en aplicación de la DMA.
2. El análisis de las series temporales disponibles para las áreas de productividad contrastante revela tendencias al aumento de nitrato y fosfato en NorP2 y NorC2. No se tienen datos que permitan determinar si estas tendencias tienen o no su origen en vertidos de nutrientes desde fuentes terrestres. En contraste con los nutrientes, no se han detectado tendencias significativas en la concentración de clorofila *a* en ninguna de las áreas de productividad. Por tanto no hay evidencias de que estas mayores concentraciones de nutrientes durante los últimos años hayan dado lugar a un aumento de la biomasa de fitoplancton. Tampoco ha y evidencias de que la transparencia limite



significativamente la penetración de la luz en la columna de agua, ni se han detectado valores de saturación de oxígeno que sugieran la presencia de áreas con déficit de oxígeno.

3. Independientemente de las tendencias crecientes en algunos nutrientes, los datos disponibles no indican que se hayan sobrepasado los criterios de calidad para la clasificación de las masas de agua costera en estado Bueno/Muy Bueno (*sensu* DMA) respecto a nutrientes y fitoplancton. Esta conclusión es coherente con el análisis realizado por las CCAA.
4. Asumiendo el principio de precaución, y en tanto no se disponga de datos que permitan valorar la relación entre la contaminación por nutrientes y la propia concentración en la columna de agua, algunas zonas costeras de la demarcación podrían clasificarse como “con problemas potenciales de eutrofización”.



3. DEFINICIÓN DEL BUEN ESTADO AMBIENTAL

3.1. Interpretación del BEA en relación con los criterios del Descriptor 5

De acuerdo con la DMEM, el Buen Estado Ambiental (BEA) respecto a la eutrofización se alcanza cuando “la eutrofización inducida por el ser humano se minimiza, especialmente los efectos adversos como pueden ser la pérdida de biodiversidad, la degradación de los ecosistemas, las eflorescencias masivas de algas y el déficit de oxígeno en las aguas profundas”. Es evidente que la minimización de los efectos de la eutrofización se produce cuando el impacto de los nutrientes vertidos desde fuentes alóctonas se mantiene por debajo de un umbral tal que no produce efectos sobre el medio marino. Este umbral máximo dependerá de las características de cada zona (condiciones hidrográficas, corrientes, estructura de los ecosistemas, etc.). Por tanto, debería definirse específicamente para cada área de estudio dentro de la Demarcación. En la evaluación presentada en la sección anterior, se han definido áreas de productividad relativamente homogéneas, que se espera por tanto que presenten una “sensibilidad” homogénea al enriquecimiento de nutrientes.

En la práctica no es posible definir cuantitativamente, con los datos disponibles, ese umbral máximo de carga de nutrientes, entre otras razones porque los datos se han recogido en zonas ya afectadas por contaminación. Alternativamente, se cuenta con la evaluación de los indicadores de eutrofización ya mostrada anteriormente. De acuerdo con esta evaluación, es posible definir un BEA para cada uno de los indicadores (o grupo de indicadores) en los términos que se recogen en la Tabla 5.9. En la definición se recogen los dos criterios complementarios utilizados anteriormente para la evaluación del BEA: las tendencias temporales de los indicadores y los valores de evaluación definidos en aplicación de la DMA. Estos últimos sólo son de aplicación en las zonas de productividad que solapan con las masas de agua costeras *sensu* DMA. En la Figura 5.40 se muestra el porcentaje (en superficie) de la demarcación que se encuentra en BEA para los tres grupos de indicadores (niveles de nutrientes, efectos directos y efectos indirectos) evaluados en este informe. Debe notarse que para el grupo de indicadores de efectos indirectos la información de la que se ha dispuesto es en general escasa, por lo que esta clasificación ha de tomarse en todo caso como provisional.

Los indicadores del Descriptor 5 están estructurados jerárquicamente, de manera que sólo si se detecta una tendencia hacia el incremento de la concentración de nutrientes no ligada a variabilidad hidrológica se podrían esperarse efectos cuantificables sobre la



concentración de clorofila *a* o las comunidades de fitoplancton atribuibles a contaminación. De igual forma, sólo si se manifiestan algunos de estos efectos directos, cabe esperar efectos indirectos relacionados con la contaminación por nutrientes. Dicho de otra forma, el hecho de que la carga contaminante afecte a la concentración de nutrientes en la columna de agua no implica necesariamente que se esté produciendo un proceso de eutrofización si no se detectan a la vez efectos directos. Bajo este punto de vista, el BEA se podría definir como aquel en el cual la aportación de nutrientes resultantes de actividades humanas no conduce a efectos (significativos) directos o indirectos de eutrofización antropogénica (por ejemplo, en relación a los niveles o abundancia de biomasa de algas y *blooms*, concentraciones de clorofila, fitoplancton molesto/tóxico, praderas de algas y fanerógamas, oxígenos disueltos).

Siguiendo este planteamiento, un área dada podría encontrarse en BEA respecto a la eutrofización incluso cuando se haya concluido que los indicadores de nutrientes no se encuentran en BEA. Por otro lado, y de acuerdo con el Procedimiento Común de OSPAR, el BEA se alcanzaría en aquellas áreas que quedan definidas como “sin problemas de eutrofización”. De acuerdo con esta definición, toda la demarcación Noratlántica alcanza el BEA con respecto a la eutrofización aun cuando se detectan concentraciones elevadas de nutrientes en algunas áreas. Debe notarse que, en relación con las zonas costeras, esta conclusión es coherente con la realizada por las CCAA respecto al elemento de calidad fitoplancton, así como con los resultados de diferentes estudios realizados en algunas zonas de la Demarcación (Borja et al., 2009; Revilla et al., 2012).



Tabla 5.9. Definición del BEA de los grupos de indicadores del Descriptor 5.

| | Definición del BEA |
|-------------------------------|---|
| Indicadores de presión | No hay tendencias crecientes no explicables por variabilidad hidrológica en la concentración de nutrientes en el período actual, ni se han registrado valores por encima de los umbrales bueno/moderado definidos en la DMA o planes de cuenca ni se sobrepasan los valores del percentil 90 con más frecuencia de lo esperable estadísticamente para toda la serie temporal |
| Efectos directos | No hay tendencias no explicables por variabilidad hidrológica hacia el aumento de la concentración de clorofila <i>a</i> , ni se han registrado valores por encima de los umbrales bueno/moderado definidos en la DMA o planes de cuenca ni se sobrepasan los valores del percentil 90 con más frecuencia de lo esperable estadísticamente para toda la serie temporal. A su vez, no se ha detectado una tendencia hacia la disminución de la transparencia, ni cambios en la composición o abundancia del fitoplancton, ni aumento en la frecuencia de producción de blooms de algas |
| Efectos indirectos | No se registran cambios en las comunidades atribuibles al aumento de la concentración de nutrientes, no se registran valores de saturación de oxígeno inferiores al 80% |

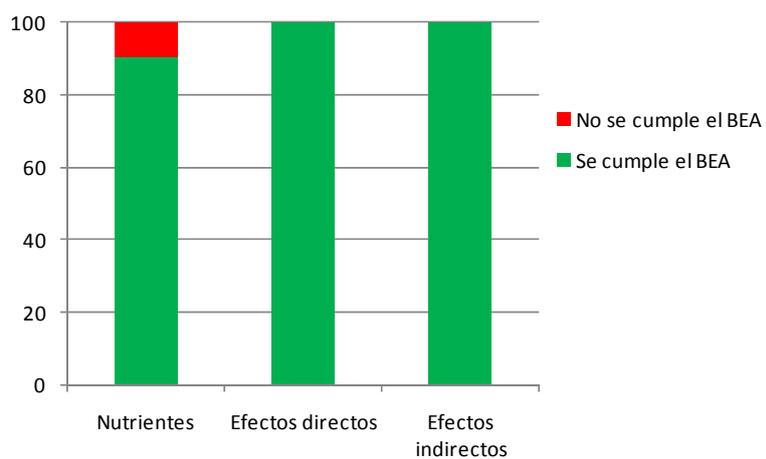


Figura 5.40. Porcentaje de la Demarcación que se encuentra en BEA para los tres grupos de indicadores que componen el Descriptor 5.



4. REFERENCIAS

- Ahn Y-H, Shanmugam P. 2006. Detecting the red tide algal blooms from satellite ocean color observations in optically complex Northeast-Asia Coastal waters. *Remote Sensing of Environment* 104: 419-437
- Ahn Y-H, Shanmugam P. 2006. Detecting the red tide algal blooms from satellite ocean color observations in optically complex Northeast-Asia Coastal waters. *Remote Sensing of Environment* 104: 419-437
- Bailey, S.W., McClain, C.R., Werdell, P.J., Schrieber, B.D., 2000. Normalized water leaving radiance and chlorophyll-a match-up analyses. In: Hooker, S.B., Firestone, E.R. (Eds.), 2000. SeaWiFS Postlaunch Technical Report Series 10, SeaWiFS Postlaunch Calibration and Validation Analyses, Part 2. NASA Tech. Memo. 2000-206892, 10 (Greenbelt, MD,
- Bailey, S.W., McClain, C.R., Werdell, P.J., Schrieber, B.D., 2000. Normalized water leaving radiance and chlorophyll-a match-up analyses. In: Hooker, S.B., Firestone, E.R. (Eds.), 2000. SeaWiFS Postlaunch Technical Report Series 10, SeaWiFS Postlaunch Calibration and Validation Analyses, Part 2. NASA Tech. Memo. 2000-206892, 10 (Greenbelt, MD, NASA Goddard Space Flight Center, USA).
- Banks, A.C., Prunet P., Chimot P, Pina, P., Donnadille, J., Jeansou , E., Lux , M., Petihakis G., Korres, G., Triantafyllou, G., Fontana, C., Estournel C., Ulses, C., Fernandez L., 2012. A satellite ocean color observation operator system for eutrophication assessment in coastal waters. *Journal of Marine System* 94:S2-S15.
- Bardey, P., Garnesson, P., Mousu, G., Wald, L. 1999. Joint analysis of temperature and ocean colour satellite images for mesoscale activities in the Gulf of Biscay. *International Journal of Remote Sensing*. 230:1329-1341.
- Bode A., Anadón R., Morán X.A.G., Nogueira E., Teira E., Varela M. 2011. Decadal variability in chlorophyll and primary production off NW Spain. *Climate Research* 48: 293-305.
- Bode A., Casas B., Fernández E., Marañón E., Serret P., Varela M. 1996. Phytoplankton biomass and production in shelf waters off NW Spain: spatial and seasonal variability in relation to upwelling. *Hydrobiologia*, 341: 225-234.
- Bode A., Casas B., Varela M., 1994. Size-fractionated primary productivity and biomass in the Galician shelf (NW Spain): Netplankton versus nanoplankton dominance. *Scientia Marina*, 58: 131-141.
- Bode, A., Álvarez-Ossorio, M.T., Cabanas, J.M., Varela, M. 2009. Recent trends in plankton and upwelling intensity off Galicia (NW Spain). *Progress in Oceanography* 83: 342-350
- Bode, A., Carrera, P., Lens, S. 2002. The pelagic foodweb in the upwelling ecosystem of Galicia (NW Spain) during spring: natural abundance of stable carbon and nitrogen isotopes. *ICES Journal of Marine Science* 60:11-22
- Bode, A., Varela, M., Casas, B., González, N. 2002. Intrusions of eastern North Atlantic central waters and phytoplankton in the north and northwestern Iberian shelf during spring. *Journal of Marine System* 36: 197-218



- Borja, A., Franco, J., Valencia, V., Bald, J., Muxika, I., Belzunce, M.J., Solaun, O., 2004. Implementation of the European water framework directive from the Basque Country (northern Spain): a methodological approach. *Marine Pollution Bulletin*, 48: 209-218.
- Borja, A., Galparsoro, I., Solaun, O., Muxika, I., Tello, E.M., Uriarte, A., Valencia, V., 2006. The European Water Framework Directive and the DPSIR, a methodological approach on assessing the risk of failing to achieve the good ecological status. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 66: 84–96.
- Borja, A., Belzunce, M.J., Franco, J., Garmendia, M., Muxika, I., Revilla, M., Valencia, V., 2009. *Informe sobre zonas sensibles a la eutrofización en el País Vasco*. AZTI-Tecnalia Technical Report, Pasaia, Spain, unpublished. 193 pp.
- Bosc, E., Bricaud, A., and Antoine, D. 2004. Seasonal and interannual variability in algal biomass and primary production in the Mediterranean Sea, as derived from four years of Sea-WiFS observations, *Glob. Biogeochem. Cy.*, 18, GB1005, doi:10.1029/2003GB002034.
- Bricaud, A., Bosc, E., Antoine, D., 2002. Algal biomass and sea surface temperature in the Mediterranean Basin: intercomparison of data from various satellite sensors, and implications for primary production estimates. *Remote Sensing of Environment* 81: 163–178.
- Cabanas J.M., Lavín A., García M.J., González-Pola C., Tel Pérez E. 2003. Oceanographic variability in the northern shelf of the Iberian Peninsula (southern bay of Biscay). 1990-1999. *ICES Decadal Sym.*, 71-79.
- Carvalho G.A., Minnett P.J., Banzon V.F., Baringer W., Heil C.A. 2011. Long-term evaluation of three satellite ocean color algorithms for identifying harmful algal blooms (*Karenia brevis*) along the west coast of Florida: A matchup assessment. *Remote Sensing of Environment* 115: 1-18
- Carvalho G.A., Minnett P.J., Banzon V.F., Baringer W., Heil C.A. 2011. Long-term evaluation of three satellite ocean color algorithms for identifying harmful algal blooms (*Karenia brevis*) along the west coast of Florida: A matchup assessment. *Remote Sensing of Environment* 115: 1-18
- Castro, C.G., Álvarez-Salgado, X.A., Figueiras, F.F., Fraga, F., 1997. Transient hydrographic and chemical conditions affecting microplankton populations in the coastal transition zone of the Iberian upwelling system (NW Spain) in September 1986. *Journal of Marine Research* 55: 321-352.
- Claustre H., Morel A., Hooker S. B., Babin M., Antoine D., Oubelkhei, K., Bricaud A., Leblanc K., Quéguiner B., Maritorena S. 2002. Is desert dust making oligotrophic waters. *Geophysical Research Letter* 29, 10, 10.1029/2001GL014056.
- Comunidad Autónoma de Galicia. 2011. Propuesta de la Memoria del Plan Hidrológico de Galicia Costa.
- Cota G.F., Wang J., Comiso J.C. 2004. Transformation of global satellite chlorophyll retrievals with a regionally tuned algorithm, *Remote Sensing of Environment*, Volume 90, Issue 3, 15 April 2004, Pages 373-377, ISSN 0034-4257, DOI: 10.1016/j.rse.2004.01.005.



- Cota G.F., Wang, J., Comiso J.C. 2004. Transformation of global satellite chlorophyll retrievals with a regionally tuned algorithm, *Remote Sensing of Environment*, Volume 90, Issue 3, 15 April 2004, Pages 373-377, ISSN 0034-4257, DOI: 10.1016/j.rse.2004.01.005.
- D'Ortenzio F., D'Alcalá M.R. 2009. On the trophic regimes of the Mediterranean Sea: a satellite analysis. *Biogeosciences* 6, 1-10.
- D'Ortenzio F., Marullo S., Ragni M., d'Alcalá M. R., Santoleri R. 2002. Validation of empirical SeaWiFS chlorophyll-a algorithms retrieval in the Mediterranean Sea: a case study for oligotrophic seas, *Remote Sens. Environ.*, 82, 79–94.
- Darecki, M., Kaczmarek, S., Olszewski, J., 2005. SeaWiFS ocean colour chlorophyll algorithms for the southern Baltic Sea. *International Journal of Remote Sensing* 26, 247–260.
- Devred E., Platt, T. Sathyendranath S. 2007. Delineation of ecological provinces using ocean colour radiometry, *Mar. Ecol. Progress S.*, 346, 1–7.
- Eiras-Garcia C.A., Tavano-Garcia V.M., McClain C.R. 2005. Evaluation of SeaWiFS chlorophyll algorithms in the Southwestern Atlantic and Southern Oceans, *Remote Sensing of Environment*. 95: 125-137.
- Eiras-Garcia C.A., Tavano-Garcia V.M., McClain C.R. 2005. Evaluation of SeaWiFS chlorophyll algorithms in the Southwestern Atlantic and Southern Oceans, *Remote Sensing of Environment*. 95: 125-137.
- Eiras-Garcia C.A., Tavano-Garcia V.M., McClain C.R. 2005. Evaluation of SeaWiFS chlorophyll algorithms in the Southwestern Atlantic and Southern Oceans, *Remote Sensing of Environment*. 95: 125-137.
- Fernández, E., Cabal, J., Acuña, J.L., Bode, A., Botas, A., García-Soto, A. (1993) Plankton distribution across a slope current-induced front in the southern Bay of Biscay. *Journal of Plankton Research* 15:619-641.
- Froidefond, J.-M., Lavender, S., Laborde, P., Herbland, A., Lafon, V. 2002. SeaWiFS data interpretation in a coastal area in the Bay of Biscay. *International Journal of Remote Sensing*. 23:881-904.
- García-Soto C., Pingree R.D., 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 (C8): 3118.
- García-Soto, C. 2006. Blooms de fitoplacton (SeaWiFS) en el Golfo de Vizcaya y Canal de la Mancha a lo largo de la ruta del ferry *Pride of Bilbao*. *Revista de Teledetección*. 2006. Número Especial: 10-14
- García-Soto, C., Pingree, R.D. 2009. Spring and summer blooms of phytoplankton (SeaWiFS/MODIS) along a ferry line in the Bay of Biscay and western English Channel. *Continental Shelf Research* 29: 1111-1122.
- Garmendia, M., Bricker, S., Revilla, M., Borja, A., Franco, J., Bald, J., Valencia, V. 2012. Eutrophication Assessment in Basque Estuaries: Comparing a North American and a European Method. *Estuaries and Coasts* 35:991-1006
- Gil, J. 2008. Macro and mesoscale physical patterns in the Bay of Biscay. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 88 (2): 217-225.



- Gohin F., Lampert L., Guillaud J.F., Herbland A., Nezan E. 2003. Satellite and *in situ* observations of a late winter phytoplankton bloom in the northern Bay of Biscay. *Continental Shelf Research*, 23: 1117-1141.
- Gohin F., Saulquin B., Oger-Jeanneret H., Lozac'h L., Lampert L., Lefebvre A., Riou P., Bruchon F. 2008. Towards a better assessment of the ecological status of coastal waters using satellite-derived chlorophyll-a concentrations. *Remote Sensing of Environment* 112: 3329-3340 greener?, *Geophys. Res. Lett.*, 29, 107-111.
- Gohin, F. 2011. Joint use of satellite and in-situ data for coastal monitoring. *Ocean Science Discussion* 8:955-998.
- Gohin, F., Loyer, S., Lunven, M., Labry, C., Froidefond, J.-M-, Delmas, D., Huret M., Herbland. 2005. Satellite-derived parameters for biological modelling in coastal waters: Illustration over the eastern continental shelf of the Bay of Biscay. 95:29-46.
- González-Quirós, R, Pascual, A., Gomis, D., Anadón, R. 2004. Influence of mesoscale physical forcing on trophic pathways and fish larvae retention in the central Cantabrian Sea. *Fisheries Oceanography* 13: 351-364
- Gregg, W.W., Casey, N.W., 2004. Global and regional evaluation of the SeaWiFS chlorophyll data set. *Remote Sensing of Environment* 93, 463-479.
- Hooker, S.B., McClain, C.R., 2000. The calibration and validation of SeaWiFS data. *Progress in Oceanography* 45, 427-465.
- Hu C., Muller-Karger F.-E., Taylor C., Carder K.L., Kelble C., Johns E., Heil C.A. 2005. Red tide detection and tracing using MODIS fluorescence data: A regional example in SW Florida coastal waters. *Remote Sensing of Environment* 97: 311-321
- Jackson T., Bouman H.A., Sathyendranath S., Devred E. 2011. Regional-scale changes in diatom distribution in the Humboldt upwelling system as revealed by remote sensing: implications for fisheries. *Journal of Marine Science* 68:729-736
- Klemas V. 2011. Remote Sensing Techniques for Studying Coastal Ecosystems: An Overview. *Journal of Coastal Research* 27:2-17
- Lavín A., Valdés L., Gil J., Moral, M. 1998. Seasonal and interannual variability in properties of surface water off Santander (Bay of Biscay) (1991-1995). *Oceanologica Acta* 21 (2): 179-190.
- Llope M., Anadón R., Álvarez-Ossorio M., Valdés L., Varela, M. 2003. Zooplankton biomass timing with temperature in South Bay of Biscay. *3rd International Zooplankton Production Symposium*, Gijón (Mayo 2003).
- McClain, C.R., 2009. A decade of satellite ocean color observations. *Annual Review of Marine Science* 1, 19-42.
- Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. 2011. Propuesta de la Memoria del Plan Hidrológico del Cantábrico Occidental.
- Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. 2011. Propuesta de la Memoria del Plan Hidrológico del Cantábrico Oriental.
- Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. 2011. Propuesta de Proyecto de Plan Hidrológico de la Parte Española de la Demarcación Hidrológica del Miño-Sil.



- Novoa, S., Chust, G., Petus, C., Franco, J., Borja, A. (2012) Water quality monitoring in Basque coastal areas using local chlorophyll-*a* algorithm and MERIS images. *Journal of Applied Remote Sensing* 6: 063519 .
- Novoa, S., Chust, G., Sagarminaga, Y., Revilla, M., Borja, A., Franco, J., 2012. Water quality assessment using satellite-derived chlorophyll-a within the European directives, in the southeastern Bay of Biscay. *Marine Pollution Bulletin* 64: 739-750.
- O'Reilly J.E., Maritorena S., Siegel D.A., O'Brien M.C., Toole D., Mitchell B.G., et al. 2000. Ocean color chlorophyll a algorithms for SeaWiFS, OC2, and OC4: version 4. In: Hooker SB, Firestone ER, editors. *SeaWiFS Postlaunch Calibration and Validation Analyses, Part 3. NASA Technical Memorandum 2000–206892, Vol. 11. Greenbelt, Maryland: NASA Goddard Space Flight Center; pp. 9–23*
- OSPAR. 2008 Second integrated Report on Eutrophication Status of the OSPAR Maritime Area. Publ. nº 372. ISBN: 978-1-9086840-13-6.
- Pitta P., Apostolaki E.T., Tsagaraki T., Tsapakis M., Karakassis I. 2006. Fish farming effects on chemical and microbial variables of the water column: A spatio-temporal study along the Mediterranean Sea. *Hydrobiologia* 563: 99-108
- Prego, R., Boi, P., Cobelo-García, A. 2008. The contribution of total suspended solids to the Bay of Biscay by Cantabrian Rivers (northern coast of the Iberian Peninsula). *Journal of Marine System* 72:342-349
- Revilla, M., Franco, J., Garmendia, M., Borja, A. 2010. A new method for phytoplankton quality assessment in the Basque estuaries (northern Spain), within the European Water Framework Directive. *Revista de Investigación Marina* 17: 150-167.
- Sancak, S., Besiktepe, S.T., Yilmaz, A., Lee, M., Frouin, R., 2005. Evaluation of SeaWiFS chlorophyll-a in the Black and Mediterranean Seas. *International Journal of Remote Sensing* 26: 2045–2060.
- Shanmugam P., Ahn Y.-H., Ram P.S. 2008. SeaWiFS sensing of hazardous algal blooms and their underlying mechanisms in shelf-slope waters of the Northwest Pacific during summer. *Remote Sensing of Environment* 112: 3248:3270
- Vantrepotte, V., Mélin, F. 2010. Temporal variability in SeaWiFS derived apparent optical properties in European seas. *Continental Shelf Research* 30:319-334.
- Varela M. 1996. Phytoplankton ecology in the Bay of Biscay. *Scientia Marina*, 60 (2): 45-53.
- Varela, M., Álvarez-Ossorio, T., Bode, A., Prego, R., Bernárdez, P., Garcia-Soto, G. 2010. The effects of a winter upwelling on biogeochemical and planktonic components in an area close to the Galician Upwelling Core: The Sound of Corcubión (NW Spain). *Journal of Sea Research* 64: 260-272.
- Volpe, G., Santoleri, R., Vellucci, V., Ribera d'Alcala, M., Marullo, S., D'Ortenzio, F. 2007. The colour of the Mediterranean Sea: global versus regional bio-optical algorithms evaluation and implication for satellite chlorophyll estimates, *Remote Sens. Environ.* 107, 625–638.
- Volpe, G., Santoleri, R., Vellucci, V., Ribera d'Alcala, M., Marullo, S., D'Ortenzio, F. 2007. The colour of the Mediterranean Sea: global versus regional bio-optical algorithms evaluation and implication for satellite chlorophyll estimates, *Remote Sens. Environ.* 107, 625–638.



5. ANEXOS

Anexo I. Glosario de términos y acrónimos

Afloramiento: Ascenso hacia superficie de agua de mar profunda, normalmente enriquecida en nutrientes. Los afloramientos costeros están asociados a frentes geostróficos o a episodios de vientos que favorecen este fenómeno. BEA: Buen Estado Ambiental

Bloom: Crecimiento explosivo de algas

CCAA: Comunidades autónomas

Diatomeas: Formas celulares y coloniales de fitoplancton caracterizadas por presentar una cubierta de naturaleza silíceas. Normalmente dominan las comunidades de fitoplancton en masas de agua costera no estratificada y enriquecidas en nutrientes.

Dinoflagelados: Formas celulares de fitoplancton caracterizadas por presentar una cubierta denominada teca. Presentan dos flagelos desiguales, lo que les confiere capacidad de movimiento. Se considera que dominan normalmente masas de agua estratificadas ricas en nutrientes. Bajo determinadas condiciones pueden dar lugar a mareas rojas y la consiguiente producción de toxinas.

DHGC: Demarcación hidrográfica de Galicia-Costa

DHC Occidental: Demarcación hidrográfica del Cantábrico occidental

DHC Oriental: Demarcación hidrográfica del Cantábrico oriental

DHMS: Demarcación Hidrográfica del Miño-Sil

DMA: Directiva Marco del Agua

DMEM: Directiva Marco sobre la Estrategia Marina

EEA: Agencia Europea de Medioambiente

Fitoplancton: Componente del plancton integrado por individuos unicelulares o coloniales con capacidad de llevar a cabo fotosíntesis oxigénica.

IEO: Instituto Español de Oceanografía



Macroalgas oportunistas: algas no perennes cuyo crecimiento se ve favorecido por el enriquecimiento en nutrientes y son capaces de desplazar a las comunidades perennes debido a su mayor capacidad de asimilación de nutrientes.

Macrófitos: Organismos fotosintéticos macroscópicos marinos que incluyen a las macroalgas y las angiospermas.

Mareas rojas: Crecimiento masivo de fitoplancton, normalmente dinoflagelados, que suele ir acompañado de acumulación de toxinas en el agua. Por extensión, se utiliza el término de marea roja para describir el proceso de acumulación de toxinas fitoplanctónicas en el agua.

Mareas verdes: Fenómeno de crecimiento masivo de macroalgas normalmente del género *Ulva* (incluyendo las especies clasificadas anteriormente dentro del género *Enteromorpha*, que en la actualidad se considera asimilado al género *Ulva*). Adicionalmente, se han documentado casos de crecimiento masivo de macroalgas protagonizados por otras especies de clorofitas (algas verdes) de los géneros *Pilayella*, *Chaetomorpha* y *Cladophora* así como por la rodofícea *Gracilaria*.

N:P: Razón molar entre el nitrógeno y el fósforo presentes en el agua. En el presente informe, y por simplificar, se utiliza el término para expresar la razón molar entre nitrato y fosfato.

NID: Suma de todas las formas de nitrógeno inorgánico (nitrato, nitrito y amonio) presentes en el agua.

NT: Nitrógeno total. Suma de todas las formas orgánicas e inorgánicas de nitrógeno presentes en el agua.

OSPAR: Convenio OSPAR firmado en 1992, que se constituyó como el instrumento legislativo que regula la cooperación internacional para la protección del Atlántico noreste que resultó de la combinación y actualización de los Convenios de Oslo (1972) y de París (1974).

Procedimiento común: Estrategia adoptada por los países firmantes para la identificación del estado de eutrofización del área marítima de OSPAR (1997-11). El Procedimiento Común fue adoptado en 1997 y representó un marco unificado para que los países evaluaran y clasificaran sus aguas con respecto al estado de eutrofización.

PT: Fósforo total. Suma de todas las formas orgánicas e inorgánicas de fósforo presentes en el agua.

Si:P: Razón molar silicato:fosfato



WISE-SoE Marine: Sistema de información del agua para Europa



Anexo II. Determinación de niveles de base: Metodología y fundamento

Tratamiento de las imágenes de satélite

Las concentraciones de clorofila a calculadas a partir de los valores de reflectancia a 443, 480 y 551 nm suministrados por el satélite MODIS-Aqua desde junio de 2002 hasta diciembre de 2010 fueron usadas para identificar las zonas de productividad contrastante en la Demarcación (<http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>). En principio, el satélite provee imágenes diarias de la zona de estudio, aunque algunas de ellas deben ser desechadas por la presencia de nubes o por la excesiva luminosidad solar (que resta calidad a las mismas). En el análisis se utilizaron imágenes de nivel 2 que se proyectaron sobre una malla regular de 1,1 Km². Dentro de este mallado, y para cada imagen, se excluyeron los píxeles que fueron catalogados con la etiqueta L2 por el proveedor (esta etiqueta señala los píxeles de calidad dudosa según los criterios indicados por Bailey y Werdell; 2006). Hay que señalar que este control de calidad lleva implícito que los píxeles en los que se detecta la presencia de tierra (según color) son desechados en la estimación de la concentración de la clorofila a . Por lo tanto los píxeles más cercanos a costa, útiles para el cálculo de la concentración de clorofila a , se sitúan aproximadamente a una milla náutica de la línea de costa (nótese la franja blanca que rodea la línea de costa en las imágenes de satélite de clorofila a presentadas en el informe). Por otro lado es de destacar que el efecto de fondo, esperable en principio en las aguas más someras, no parece haber afectado a las imágenes de forma sistemática. Tampoco se aprecia en ninguna de las zonas costeras de la Demarcación una influencia sistemática de las escorrentías, que arrastran partículas en suspensión y sustancias coloreadas que podrían afectar a la señal que capta el satélite y por consiguiente producir valores espurios de clorofila a de satélite.

La concentración de clorofila a de satélite es estimada a partir de los valores de reflectancia para el color azul (443 y 488 nm) y el verde (551 nm), utilizando el algoritmo global OC3M (O'Reilly et al. 2000):

$$\text{Log}_{10}(\text{Chla}) = -1.403R^4 + 0.659R^3 + 1.457R^2 - 2.753R + 0.2830$$



Donde R es igual a $\text{Log}_{10}(\max(R_{rs443}, R_{rs480}) / R_{rs551})$. R_{rs} es la reflectancia captada por el satélite con la correspondiente corrección atmosférica.

Es conocido (y así se ha discutido previamente) que los datos de clorofila a de satélite del océano están afectados por un problema de incertidumbre (Claustre et al., 2002; D'Ortenzio et al., 2002; Bosc et al., 2004; Volpe et al., 2007) lo que da lugar a que las concentraciones de clorofila a de satélite se desvíen en promedio un 35% respecto a los valores *in situ*. En nuestro conjunto de datos, la correlación entre los valores medios de clorofila calculados a partir de las imágenes de satélite y los recopilados *in situ* es altamente significativa (Figura 5.40), por lo que se puede afirmar que los datos de satélite reproducen adecuadamente el ciclo anual de productividad descrito en la Demarcación, así como sus gradientes espaciales de distribución (Fernández et al., 1993; Bode et al., 1994, 2002a,b 2009; Varela, 1996, 2010; Castro et al., 1997, Lavín et al., 1998; García-Soto et al., 2002; Llope et al., 2003; González-Quirós et al., 2004; García-Soto, 2006; Gil, 2008). Por tanto, los datos presentados corroboran la hipótesis de que las imágenes de satélite sí expresan adecuadamente los cambios temporales y espaciales en la concentración de clorofila (si bien los datos de satélite en tanto que valores en términos absolutos de concentración deben usarse con precaución). Otro aspecto técnico que hay que tener en cuenta es que el satélite sólo proporciona información de la primera profundidad óptica de la columna de agua (los primeros 10-30 metros), por tanto no recoge información sobre la distribución vertical de la clorofila a . Sin embargo, la información disponible en la Demarcación indica que la clorofila a de superficie está fuertemente correlacionada con su concentración integrada en la columna de agua por lo tanto en principio las conclusiones extraídas desde el análisis de las imágenes de satélite (referentes a clorofila de superficie) podrían extrapolarse a toda la columna de agua con un error asumible. En resumen, el procedimiento de zonación de la Demarcación basada en imágenes de satélite se fundamenta en dos hipótesis: (1) que la variabilidad espacio-temporal de la clorofila a de satélite refleja la variabilidad de la clorofila a superficial *in situ* y (2) que la clorofila de superficie está correlacionada con la clorofila a en toda la columna de agua. La comparación de los promedios calculados para la clorofila a *in situ* con los de satélite indica que la primera hipótesis es razonable (Figura 5.40), aunque se requerirán datos adicionales para validarla completamente.



Procedimiento de zonación basado en imágenes de satélite

Se utilizaron las imágenes diarias de MODIS-Aqua para generar series climatológicas mensuales de clorofila a de satélite para cada uno de los píxeles en que se dividió la Demarcación. Previamente, se realizó un análisis de las series temporales diarias con el fin de comprobar que los huecos (días o zonas para los cuales no se pudieron obtener imágenes) se presentaban bien distribuidos en el espacio y en el tiempo. De esta forma se descartó que existieran sesgos en la información de satélite que pudiera restar robustez a las medias mensuales que fueron calculadas. Con las series mensuales obtenidas para cada píxel se llevó a cabo un análisis clúster no jerárquico del tipo *K-medias* (*K-means*) con la finalidad de agrupar estadísticamente los píxeles, que por consiguiente quedaron ordenados en función no sólo de su media estacional de clorofila a de satélite sino además de su distribución durante el ciclo anual. Este método de ordenación descrito inicialmente por Mac Queen (1967) minimiza la suma global de las distancias euclídeas cuadráticas entre los distintos píxeles y el centroide del clúster al que asignan. Se trata de un proceso iterativo en dos fases (asignación de puntos a los centroides y recálculo de los centroides). Como resultado del análisis, los píxeles son separados en función de su distancia en relación con los demás píxeles, lo que hace que los resultados dependan más de las diferencias relativas dentro de la Demarcación que de los valores absolutos de clorofila a de satélite. Esto es, si se asume que la incertidumbre en los valores de clorofila a de satélite se distribuye al azar tanto espacial como temporalmente, este método de ordenación debe ser poco sensible a las incertidumbres asociadas al satélite.

En el análisis clúster no jerárquico el número de grupos debe ser previamente escogido puesto que no se presupone ningún tipo de relación entre los elementos que se comparan (píxeles). Para la Demarcación Noratlántica, el análisis se llevó a cabo ensayando diferente número de grupos. Atendiendo a la distancia entre los centroides y a la distribución estacional de los mismos que se obtuvo después de diferentes ensayos (partiendo de un número de grupos de 2 hasta 7) se decidió agrupar los píxeles en cinco clústeres, ya que la distribución espacial resultante fue la que reprodujo de forma más adecuada las características hidrológicas de la Demarcación (en particular el gradiente costa-mar adentro de temperatura y clorofila descrito en la literatura, así como la presencia de una zona de afloramiento intenso en la costa occidental de Galicia) y la distribución estacional de la clorofila a (ver Figura 5.14). Es interesante señalar que se realizaron diferentes ensayos para asegurar que las soluciones del modelo de ordenación convergieron independientemente del punto de partida.



De esta forma, el análisis clúster permitió obtener de manera relativamente sencilla y objetiva imágenes integradas de la Demarcación basadas en las variaciones espaciales del ciclo estacional de la clorofila. Esta técnica estadística ha sido utilizada previamente por varios autores con la misma finalidad (Devred et al., 2007; D'Ortenzio y D'Alcalà 2009).

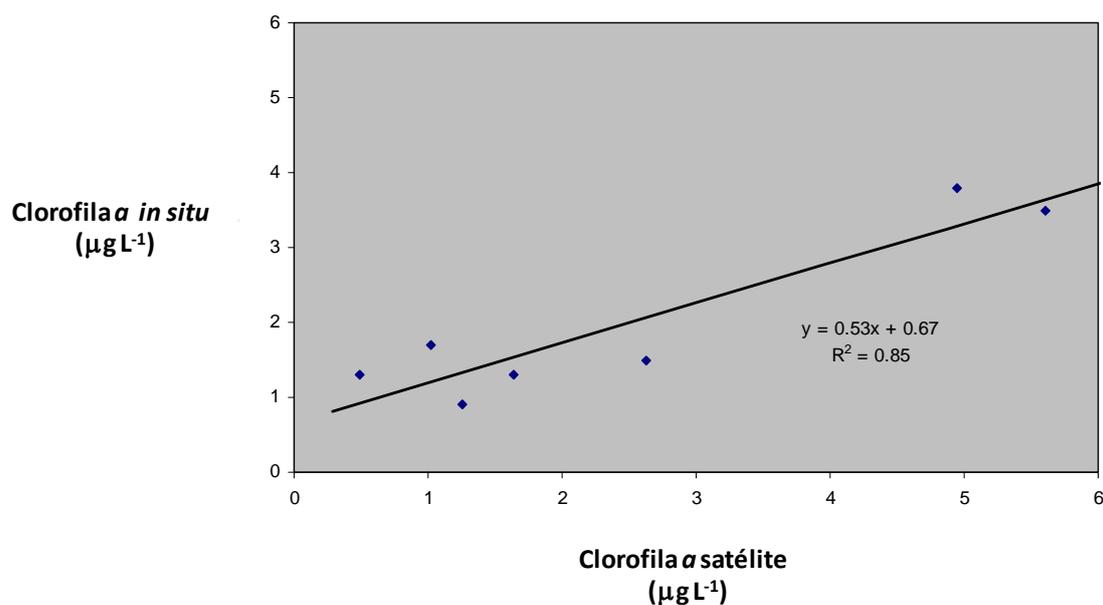


Figura 5.40. Comparación entre los valores medios de clorofila *in situ* y de satélite calculados para las diferentes áreas de productividad contrastante (se incluyen los valores obtenidos para el periodo más productivo y para el resto del ciclo anual). Nótese que no se incluyen datos para el área NorO1 y para el período más productivo en el área NorC3 ya que no se dispone de datos *in situ*

Descripción estadística de las series temporales

Para cada una de las zonas de productividad contrastante identificadas en la Demarcación se ha realizado una recopilación de datos de los indicadores del Descriptor 5. De esta forma se han construidos series temporales de valores de los indicadores para cada zona. La descripción estadística de cada serie temporal para cada uno de los indicadores que han sido analizados cuantitativamente se presenta a continuación. Debe notarse que el percentil 90 es el estadístico utilizado para el cálculo de los valores de base presentados en este Informe de Evaluación Inicial. En



cada tabla n representa el número de observaciones, max los valores máximos en toda la serie, $perct90$ el percentil 90 y DE la desviación estándar. Se presenta el análisis conjunto de todos los datos (Total) así como un análisis separado para el período más productivo del ciclo anual (marzo, abril y mayo) y para el resto del año.

Tabla III. 1. Descripción estadística de la serie temporal de datos de nitrato ($\mu\text{mol L}^{-1}$)

| Total | | | | | | | |
|------------|------|------|-------|---------|------|---------|-----|
| | n | Max | Media | mediana | moda | perct90 | DE |
| NorO1 | 378 | 19,0 | 0,3 | 0,04 | 0,04 | 0,5 | 0,9 |
| Plataforma | 2173 | 10,0 | 1,4 | 0,4 | 0,04 | 4,1 | 1,9 |
| NorP2 | 1539 | 19,0 | 2,3 | 1,5 | 0,04 | 5,5 | 2,4 |
| NorC3 | 697 | 9,9 | 2,7 | 1,9 | 0,04 | 6,3 | 2,5 |
| NorC2 | 3712 | 10,0 | 3,1 | 2,5 | 0,04 | 7,1 | 2,7 |

| Periodo más productivo | | | | | | | |
|------------------------|------|------|-------|---------|------|---------|------|
| | n | Max | Media | mediana | moda | perct90 | De |
| NorO1 | 75 | 9,6 | 0,8 | 0,05 | 0,04 | 2,1 | 1,9 |
| Plataforma | 674 | 9,9 | 2,2 | 1,9 | 0,04 | 4,8 | 2,03 |
| NorP2 | 433 | 19,0 | 2,9 | 2,2 | 0,04 | 5,7 | 2,3 |
| NorC3 | 227 | 7,0 | 2,4 | 1,7 | 0,06 | 5,8 | 2,1 |
| NorC2 | 1294 | 9,9 | 2,8 | 2,2 | 0,04 | 6,2 | 2,5 |

| Resto del ciclo anual | | | | | | | |
|-----------------------|------|------|-------|---------|------|---------|-----|
| | n | Max | Media | mediana | moda | perct90 | DE |
| NorO1 | 303 | 1,8 | 0,1 | 0,04 | 0,04 | 0,4 | 0,3 |
| Plataforma | 1499 | 10,0 | 1,0 | 0,2 | 0,04 | 3,4 | 1,6 |
| NorP2 | 926 | 9,6 | 2,1 | 1,1 | 0,04 | 5,3 | 2,4 |
| NorC3 | 470 | 9,9 | 2,9 | 2,0 | 0,04 | 6,9 | 2,7 |
| NorC2 | 2418 | 10,0 | 3,3 | 2,7 | 0,04 | 7,5 | 2,8 |



Tabla III. 2. Descripción estadística de la serie temporal de datos de **nitrito** ($\mu\text{mol L}^{-1}$)

| Total | | | | | | | |
|-------------------|----------|------------|--------------|----------------|-------------|----------------|-----------|
| | n | max | Media | mediana | moda | perct90 | DE |
| NorO1 | 291 | 0,2 | 0,06 | 0,04 | 0,04 | 0,09 | 0,03 |
| Plataforma | 2224 | 1,3 | 0,1 | 0,07 | 0,04 | 0,3 | 0,1 |
| NorP2 | 1332 | 4,2 | 0,2 | 0,1 | 0,04 | 0,4 | 0,2 |
| NorC3 | 681 | 1,6 | 0,3 | 0,2 | 0,04 | 0,5 | 0,2 |
| NorC2 | 3912 | 2,7 | 0,3 | 0,3 | 0,04 | 0,7 | 0,3 |

| Período más productivo | | | | | | | |
|-------------------------------|----------|------------|--------------|----------------|-------------|----------------|-----------|
| | n | max | Media | mediana | moda | perct90 | DE |
| NorO1 | 40 | 0,2 | 0,07 | 0,04 | 0,04 | 0,15 | 0,05 |
| Plataforma | 673 | 0,9 | 0,2 | 0,1 | 0,04 | 0,4 | 0,1 |
| NorP2 | 432 | 1,3 | 0,2 | 0,2 | 0,04 | 0,4 | 0,1 |
| NorC3 | 224 | 1,3 | 0,2 | 0,2 | 0,04 | 0,4 | 0,2 |
| NorC2 | 1306 | 0,9 | 0,2 | 0,2 | 0,04 | 0,5 | 0,2 |

| Resto del ciclo anual | | | | | | | |
|------------------------------|----------|------------|--------------|----------------|-------------|----------------|-----------|
| | n | max | Media | mediana | moda | perct90 | DE |
| NorO1 | 251 | 0,2 | 0,05 | 0,04 | 0,04 | 0,07 | 0,03 |
| Plataforma | 1551 | 1,3 | 0,1 | 0,06 | 0,04 | 0,29 | 0,1 |
| NorP2 | 900 | 4,2 | 0,2 | 0,1 | 0,04 | 0,4 | 0,3 |
| NorC3 | 457 | 1,6 | 0,3 | 0,2 | 0,04 | 0,6 | 0,2 |
| NorC2 | 2606 | 2,7 | 0,3 | 0,3 | 0,04 | 0,7 | 0,3 |



Tabla III. 3. Descripción estadística de la serie temporal de datos de **amonio** ($\mu\text{mol L}^{-1}$)

| Total | | | | | | | |
|-------------------|----------|------------|--------------|----------------|-------------|----------------|-----------|
| | n | Max | Media | mediana | moda | perct90 | DE |
| NorO1 | | | | | | | |
| Plataforma | 1290 | 10 | 1,1 | 0,7 | 0,4 | 2,3 | 1,2 |
| NorP2 | 923 | 14,9 | 2,1 | 1,5 | 0,5 | 4,6 | 2,0 |
| NorC3 | 414 | 9,7 | 1,3 | 0,95 | 0,04 | 2,9 | 1,4 |
| NorC2 | 3750 | 10,0 | 1,01 | 0,8 | 1,0 | 2,04 | 0,9 |

| Período más productivo | | | | | | | |
|-------------------------------|----------|------------|--------------|----------------|-------------|----------------|-----------|
| | n | Max | Media | mediana | moda | perct90 | DE |
| NorO1 | | | | | | | |
| Plataforma | 462 | 10,0 | 1,1 | 0,9 | 0,04 | 2,2 | 1,1 |
| NorP2 | 319 | 14,9 | 2,1 | 1,5 | 0,5 | 4,6 | 2,0 |
| NorC3 | 144 | 6,2 | 1,3 | 1,0 | 0,7 | 2,7 | 1,1 |
| NorC2 | 1269 | 6,4 | 0,9 | 0,7 | 1,0 | 1,8 | 0,7 |

| Resto del ciclo anual | | | | | | | |
|------------------------------|----------|------------|--------------|----------------|-------------|----------------|-----------|
| | n | max | media | mediana | moda | perct90 | DE |
| NorO1 | | | | | | | |
| Plataforma | 828 | 10,0 | 1,09 | 0,7 | 0,4 | 2,4 | 1,2 |
| NorP2 | 604 | 14,4 | 2,1 | 1,3 | 0,6 | 4,4 | 2,0 |
| NorC3 | 270 | 9,7 | 1,4 | 0,9 | 0,04 | 3,0 | 1,5 |
| NorC2 | 2481 | 10,0 | 1,09 | 0,8 | 1,0 | 2,2 | 0,9 |

Las celdas en rojo indican que no se dispone de datos



Tabla III. 4. Descripción estadística de la serie temporal de datos de **fosfato** ($\mu\text{mol L}^{-1}$)

| Total | | | | | | | |
|-------------------|-------------|-------------|--------------|----------------|-------------|----------------|------------|
| | n | max | Media | mediana | moda | perct90 | DE |
| NorO1 | 305 | 1,2 | 0,1 | 0,04 | 0,04 | 0,1 | 0,2 |
| Plataforma | 2209 | 1,9 | 0,2 | 0,1 | 0,04 | 0,4 | 0,2 |
| NorP2 | 1408 | 13,1 | 0,2 | 0,2 | 0,04 | 0,4 | 0,4 |
| NorC3 | 717 | 2,9 | 0,3 | 0,2 | 0,04 | 0,5 | 0,2 |
| NorC2 | 3943 | 1,4 | 0,3 | 0,3 | 0,1 | 0,6 | 0,2 |

| Periodo más productivo | | | | | | | |
|-------------------------------|-------------|-------------|--------------|----------------|-------------|----------------|------------|
| | n | max | Media | mediana | moda | perct90 | DE |
| NorO1 | 45 | 1,2 | 0,4 | 0,2 | 0,04 | 1,03 | 0,4 |
| Plataforma | 673 | 1,03 | 0,2 | 0,2 | 0,04 | 0,4 | 0,1 |
| NorP2 | 444 | 1,5 | 0,3 | 0,2 | 0,04 | 0,4 | 0,2 |
| NorC3 | 231 | 0,6 | 0,2 | 0,2 | 0,04 | 0,4 | 0,1 |
| NorC2 | 1316 | 1,2 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,5 | 0,2 |

| Resto del ciclo anual | | | | | | | |
|------------------------------|-------------|-------------|--------------|----------------|-------------|----------------|-------------|
| | n | max | Media | mediana | moda | perct90 | DE |
| NorO1 | 260 | 0,2 | 0,05 | 0,04 | 0,04 | 0,06 | 0,02 |
| Plataforma | 1536 | 1,9 | 0,1 | 0,09 | 0,04 | 0,3 | 0,2 |
| NorP2 | 964 | 13,1 | 0,2 | 0,2 | 0,04 | 0,4 | 0,4 |
| NorC3 | 486 | 2,9 | 0,3 | 0,2 | 0,04 | 0,5 | 0,3 |
| NorC2 | 2627 | 1,4 | 0,4 | 0,3 | 0,1 | 0,7 | 0,2 |



Tabla III. 5. Descripción estadística de la serie temporal de datos de **silicato** ($\mu\text{mol L}^{-1}$)

| Total | | | | | | | |
|-------------------|-------------|-------------|--------------|----------------|-------------|----------------|------------|
| | n | max | Media | mediana | moda | perct90 | DE |
| NorO1 | 382 | 10,0 | 0,7 | 0,4 | 0,04 | 1,07 | 1,3 |
| Plataforma | 2182 | 9,9 | 1,3 | 0,8 | 0,04 | 3,08 | 1,5 |
| NorP2 | 1461 | 22,7 | 1,8 | 1,4 | 0,04 | 3,3 | 1,8 |
| NorC3 | 716 | 9,7 | 2,08 | 1,8 | 0,04 | 4,2 | 1,6 |
| NorC2 | 3858 | 10,0 | 2,5 | 1,8 | 0,1 | 5,8 | 2,1 |

| Periodo más productivo | | | | | | | |
|-------------------------------|-------------|-------------|--------------|----------------|-------------|----------------|------------|
| | n | max | Media | mediana | moda | perct90 | DE |
| NorO1 | 90 | 10,0 | 1,7 | 0,9 | 0,9 | 3,8 | 2,4 |
| Plataforma | 696 | 9,7 | 1,5 | 1,2 | 0,04 | 2,9 | 1,3 |
| NorP2 | 473 | 12,5 | 1,9 | 1,5 | 0,04 | 3,3 | 1,5 |
| NorC3 | 232 | 6,6 | 1,7 | 1,4 | 0,04 | 3,5 | 1,3 |
| NorC2 | 1287 | 9,9 | 2,0 | 1,4 | 0,1 | 4,5 | 1,9 |

| Resto del ciclo anual | | | | | | | |
|------------------------------|-------------|-------------|--------------|----------------|-------------|----------------|------------|
| | n | max | Media | mediana | moda | perct90 | DE |
| NorO1 | 292 | 7,1 | 0,4 | 0,3 | 0,04 | 0,7 | 0,5 |
| Plataforma | 1486 | 9,9 | 1,2 | 0,6 | 0,04 | 3,2 | 1,5 |
| NorP2 | 989 | 22,7 | 1,7 | 1,3 | 0,04 | 3,3 | 2,0 |
| NorC3 | 484 | 9,7 | 2,2 | 1,9 | 0,04 | 4,5 | 1,7 |
| NorC2 | 2571 | 10,0 | 2,7 | 2,03 | 1,0 | 6,02 | 2,2 |



Tabla III. 6. Descripción estadística de la serie temporal de datos de **clorofila a *in situ*** ($\mu\text{g L}^{-1}$)

| Total | | | | | | | |
|-------------------|----------|------------|--------------|----------------|-------------|----------------|-----------|
| | n | max | Media | Mediana | moda | perct90 | DE |
| NorO1 | | | | | | | |
| Plataforma | 863 | 9,9 | 1,4 | 0,6 | 0,3 | 4,5 | 2,0 |
| NorP2 | 1378 | 39,8 | 0,9 | 0,6 | 0,2 | 1,6 | 1,5 |
| NorC3 | 37 | 5,5 | 1,3 | 1,0 | 0,6 | 3,2 | 1,2 |
| NorC2 | 2990 | 10,0 | 3,7 | 3,0 | 3,0 | 7,5 | 2,3 |

| Periodo más productivo | | | | | | | |
|-------------------------------|----------|------------|--------------|----------------|-------------|----------------|-----------|
| | n | max | Media | Mediana | moda | perct90 | DE |
| NorO1 | | | | | | | |
| Plataforma | 279 | 9,8 | 1,7 | 0,8 | 0,3 | 4,9 | 2,1 |
| NorP2 | 469 | 10,6 | 1,1 | 0,6 | 0,3 | 2,3 | 1,4 |
| NorC3 | | | | | | | |
| NorC2 | 1080 | 10,0 | 3,4 | 2,8 | 2,4 | 7,3 | 2,3 |

| Resto del ciclo anual | | | | | | | |
|------------------------------|----------|------------|--------------|----------------|-------------|----------------|-----------|
| | n | max | media | mediana | moda | perct90 | DE |
| NorO1 | | | | | | | |
| Plataforma | 584 | 9,9 | 1,3 | 0,4 | 0,3 | 4,2 | 1,9 |
| NorP2 | 909 | 39,8 | 0,9 | 0,6 | 0,2 | 1,4 | 1,6 |
| NorC3 | 25 | 5,5 | 1,5 | 1,0 | 1,0 | 3,6 | 1,4 |
| NorC2 | 1910 | 10,0 | 3,8 | 3,07 | 3,0 | 7,6 | 2,3 |

Las celdas en rojo indican que no se dispone de datos

Análisis estadístico de los valores de base. Validación de la zonación



Con el fin de comprobar la validez estadística del procedimiento de zonación de la Demarcación (basado en datos de satélite), se han realizado análisis de varianza no paramétrico (Kruskal-Wallis ANOVA) con todos los datos de las series temporales de clorofila *a in situ* y nutrientes. En la Tabla II-7 se muestran los resultados de las comparaciones entre las áreas de productividad contrastante de las que se dispone datos). Así mismo, se presentan los resultados de estos análisis para nitrato y fosfato (Tabla II-8).

Tabla II.7. Resultados del test de Kruskal-Wallis llevado a cabo con las series temporales de clorofila *a in situ*. Debe notarse que no se dispone de datos para el área NorO1. ns: diferencias no significativas ($p > 0,05$); ***: $p < 0,001$

| Clorofila a | | | | |
|-------------|------------|-------|-------|-------|
| | Plataforma | NorP2 | NorC3 | NorC2 |
| Plataforma | | *** | Ns | *** |
| NorP2 | | | Ns | *** |
| NorC3 | | | | *** |



Tabla II.8. Resultados de los test de Kluskal-Wallis llevados a cabo con las series temporales de nitrato, fosfato y silicato. ns: diferencias no significativas ($p > 0,05$); **: $p < 0,01$; ***: $p < 0,001$.

| Nitrato | | | | | |
|----------------|-------|------------|-------|-------|-------|
| | NorO1 | Plataforma | NorP2 | NorC3 | NorC2 |
| NorO1 | | *** | *** | *** | *** |
| Plataforma | | | *** | *** | *** |
| NorP2 | | | | *** | *** |
| NorC3 | | | | | *** |

| Fosfato | | | | | |
|----------------|-------|------------|-------|-------|-------|
| | NorO1 | Plataforma | NorP2 | NorC3 | NorC2 |
| NorO1 | | *** | *** | *** | ** |
| Plataforma | | | *** | *** | ** |
| NorP2 | | | | *** | ** |
| NorC3 | | | | | ** |

| Silicato | | | | | |
|-----------------|-------|------------|-------|-------|-------|
| | NorO1 | Plataforma | NorP2 | NorC3 | NorC2 |
| NorO1 | | *** | *** | *** | *** |
| Plataforma | | | *** | *** | *** |
| NorP2 | | | | *** | *** |
| NorC3 | | | | | *** |



Análisis de tendencias temporales

Para la determinación de tendencias temporales de las series temporales de nutrientes y clorofila *a* se calcularon valores anuales promediados para todo el período del que se dispuso de datos. Las tendencias temporales de los promedios anuales para ese periodo fueron calculadas mediante el test no paramétrico de Mann-Kendall basado en el cálculo del coeficiente de correlación de Kendall (Helsel and Hirsch, 1992). Adicionalmente, para todas las series temporales disponibles se calculó el percentil 90 del período actual (2005-2010) y se comparó con el percentil 90 de toda la serie. El nivel de probabilidad escogido para determinar la significancia estadística fue $p = 0,05$.